



## **Rancang Bangun Antena Mikrostrip Compact Teroptimasi pada Frekuensi 920-923 MHz untuk Node LoRa Berdaya Rendah di Lingkungan Maritim**

**Salsanabila Mariestiara Putri<sup>1</sup>, Jelita Permata Sari<sup>2</sup>, Safrian Andromeda<sup>3</sup>, Maria Bestarina Laili<sup>4</sup>, Egi Sunardi<sup>5</sup>, Amir Akbar Wicaksono<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>. Universitas Singaperbangsa Karawang

<sup>7</sup>Universitas Trisakti

\*Email Korespondensi: [Salsanabila@ft.unsika.ac.id](mailto:Salsanabila@ft.unsika.ac.id)

### **ABSTRAK**

Aktivitas nelayan tradisional di perairan Karawang memiliki risiko keselamatan yang tinggi akibat minimnya jangkauan sinyal seluler. Teknologi Long Range (LoRa) pada frekuensi 920-923 MHz menjadi solusi komunikasi darurat (SOS) dan pelacakan yang ideal, namun antena bawaan (whip) pada node LoRa rentan terhadap guncangan fisik dan redaman sinyal di lingkungan maritim (multipath fading). Penelitian ini bertujuan untuk merancang, memfabrikasi, dan menguji antena mikrostrip compact berbahan substrat Epoxy FR-4 dengan teknik pencatutan inset feed guna meningkatkan keandalan transmisi node LoRa berdaya rendah. Metode penelitian mencakup simulasi komputasi 3D, pengukuran laboratorium menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), serta pengujian lapangan (Line of Sight) secara langsung pada kapal nelayan di perairan Karawang hingga jarak 15 km. Hasil simulasi dan pengukuran VNA membuktikan bahwa antena mampu beresonansi secara presisi pada frekuensi kerja dengan spesifikasi Return Loss  $\leq -10$  dB dan VSWR  $\leq 2$ . Berdasarkan pengujian lapangan, antena mikrostrip usulan secara signifikan mengungguli antena bawaan dengan mempertahankan level Received Signal Strength Indicator (RSSI) yang lebih stabil. Pada jarak kritis 10 km dari garis pantai, antena usulan berhasil menekan Packet Loss menjadi hanya 4% untuk data koordinat pelacakan dan 0% untuk sinyal SOS darurat. Kesimpulannya, antena mikrostrip hasil rancangan terbukti andal dalam mengatasi redaman propagasi maritim, memperluas jangkauan operasional, dan mendukung ketersediaan dan keandalan data komunikasi darurat bagi tim Search and Rescue (SAR) sebagai upaya preventif peningkatan keselamatan nelayan.

**Kata Kunci:** Antena Mikrostrip, Komunikasi Maritim, LoRa, Quality of Service, Sistem Keselamatan Nelayan.

### **ABSTRACT**

*Traditional fishing activities in Karawang waters pose a high safety risk due to the lack of cellular signal coverage. Long Range (LoRa) technology operating at the 920-923 MHz frequency band provides an ideal solution for emergency (SOS) communication and tracking; however, the default whip antenna on LoRa nodes is vulnerable to physical shocks and signal attenuation in maritime environments (multipath fading). This study aims to design, fabricate, and evaluate a compact microstrip antenna using an Epoxy FR-4 substrate with an inset feed technique to improve the*

*transmission reliability of low-power LoRa nodes. The research methods include 3D computational simulation, laboratory measurement using a Vector Network Analyzer (VNA), and direct Line of Sight (LoS) field testing on a fishing boat in Karawang waters up to a distance of 15 km. Simulation and VNA measurement results prove that the antenna resonates precisely within the target band, achieving a Return Loss of  $\leq -10$  dB and a VSWR of  $\leq 2$ . Based on the field tests, the proposed microstrip antenna significantly outperformed the default antenna by maintaining a more stable Received Signal Strength Indicator (RSSI) level. At a critical distance of 10 km from the coastline, the proposed antenna successfully suppressed Packet Loss to only 4% for tracking coordinate data and 0% for emergency SOS signals. In conclusion, the designed microstrip antenna is supporting the availability and reliability of emergency communication data for Search and Rescue (SAR) teams as a preventive effort to enhance fishermen's safety.*

**Keywords:** Fishermen Safety System, LoRa, Maritime Communication, Microstrip Antenna, Quality of Service.

## PENDAHULUAN

Aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan tradisional di wilayah perairan Karawang memiliki tingkat risiko keselamatan yang tinggi. Kondisi lingkungan maritim yang dinamis, seperti cuaca ekstrem dan gelombang tinggi, sering kali memicu situasi darurat seperti kerusakan mesin kapal atau kecelakaan kerja. Masalah ini diperparah oleh keterbatasan jangkauan infrastruktur seluler saat kapal nelayan menjauh dari daratan. Hilangnya sinyal komunikasi menyebabkan nelayan tidak dapat mengirimkan pesan darurat (event-driven SOS) maupun data posisi (koordinat GPS) secara real-time, sehingga respons Search and Rescue (SAR) menjadi lambat dan tidak presisi.

Untuk mengatasi blank spot komunikasi di laut, teknologi Low Power Wide Area Network (LPWAN) seperti Long Range (LoRa) menjadi solusi infrastruktur digital yang sangat ideal (Adelantado et al., 2017; Sanchez-Sutil & Cano-Ortega, 2020). LoRa menawarkan kapabilitas transmisi data jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah serta ketahanan modulasi yang baik terhadap interferensi (Afisiadis et al., 2019; Qadir & Kist, 2020), sehingga perangkat pelacak (node) pada kapal nelayan dapat ditenagai oleh kombinasi baterai dan modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mini secara berkelanjutan. Sesuai dengan regulasi telekomunikasi di Indonesia, sistem pemantauan kelautan ini beroperasi menggunakan modul LoRa pita AS923-2 pada rentang frekuensi 920-923 MHz (Perdana et al., 2022).

Pada arsitektur sistem end-to-end yang dirancang (meliputi node, gateway, server, dan dashboard), parameter unjuk kerja jaringan (Quality of Service/QoS) seperti keberhasilan pengiriman paket data, latensi, dan jangkauan sinyal sangat bergantung pada keandalan antarmuka fisik, yakni antenna (Kraus & Marhefka, 2002; Alam & Wijaya, 2018). Saat ini, sebagian besar modul purwarupa LoRa yang dikendalikan oleh mikrokontroler (seperti ESP32) masih menggunakan antenna konvensional tipe whip atau monopole. Antenna konvensional ini memiliki kelemahan mendasar jika diaplikasikan pada kapal nelayan kecil, yaitu ukurannya yang kurang praktis, rentan patah atau rusak akibat guncangan mekanis, dan sulit diintegrasikan ke dalam casing perangkat (waterproof) secara rapat. Selain itu, berdasarkan pengujian awal pada konfigurasi perangkat keras yang digunakan, antenna standar tipe whip bawaan modul rentan mengalami penurunan kinerja dan ketidakstabilan polarisasi saat menghadapi guncangan mekanis di lingkungan maritim, sehingga daya pancar berpotensi tidak optimal.

Lebih jauh, lingkungan perairan (maritim) dan cuaca tropis menghadirkan tantangan propagasi

radio yang unik akibat efek multipath fading, pantulan sinyal dari permukaan air laut, serta tingginya kelembapan dan salinitas yang dapat menurunkan kinerja transmisi LoRa (Elijah et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan perancangan antenna mikrostrip untuk node LoRa nelayan. Antena mikrostrip memiliki keunggulan berupa profil yang tipis, bobot ringan, bentuk yang ringkas (compact), serta kemudahan integrasi dengan sirkuit elektronik cetak (PCB) pada sistem komunikasi nirkabel (Balanis, 2016; Darsono & Wijaya, 2020; Ling, 2012).

Berbeda dengan antenna LoRa 922 MHz komersial atau penelitian sebelumnya yang mayoritas dirancang untuk lingkungan Internet of Things (IoT) terrestrial perkotaan, penelitian ini mengusulkan optimasi desain yang disesuaikan khusus untuk lingkungan maritim. Namun demikian, karena antenna mikrostrip patch memiliki karakteristik pola radiasi yang mengarah tegak lurus (directional), penggunaannya memiliki batasan orientasi. Pemasangan perangkat pada kapal nelayan harus diposisikan agar bidang antenna sejajar menghadap ke arah stasiun penerima (gateway) di pesisir pesisir pantai guna meminimalkan blind spot.

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun antenna mikrostrip compact yang dioptimasi secara komprehensif pada frekuensi resonansi 920-923 MHz (Balani et al., 2021; Khandelwal et al., 2017). Optimalisasi dilakukan untuk memperoleh nilai Return Loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), dan Gain terbaik. Melalui desain antenna yang andal, efisiensi radiasi pada node pengirim (nelayan) akan meningkat, sehingga menjamin paket data pelacakan dan pesan darurat (SOS) dapat menembus tantangan geografis perairan Karawang dan diterima secara stabil oleh gateway di darat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang dikaji meliputi perancangan antenna mikrostrip berdimensi compact untuk pita AS923-2, pengaruh optimasi dimensi terhadap perbaikan parameter antenna (Return Loss, VSWR, Gain), serta perbandingan kinerjanya melawan antenna bawaan (default) di lingkungan maritim Karawang. Sebagai jawaban sementara, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa penerapan teknik optimasi dimensi pada desain antenna mikrostrip compact akan menghasilkan antenna yang beresonansi presisi pada rentang 920-923 MHz dengan nilai VSWR  $\leq 2$  dan Return Loss  $\leq -10$  dB. Kesesuaian impedansi dan peningkatan Gain antenna ini dihipotesiskan mampu memperbaiki kualitas perambatan gelombang radio di atas permukaan laut, yang dibuktikan melalui penurunan packet loss, stabilnya nilai RSSI, dan meningkatnya jarak jangkauan komunikasi dari node nelayan ke gateway.

## METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang berurutan, dimulai dari kalkulasi teoritis, simulasi perangkat lunak, fabrikasi, pengukuran laboratorium, hingga pengujian implementasi langsung di lingkungan maritim. Untuk memastikan validitas pengujian, konfigurasi radio pada modul LoRa diatur menggunakan parameter Spreading Factor (SF) 9, Bandwidth (BW) 125 kHz, dan Coding Rate (CR) 4/5. Pengujian transmisi data dilakukan dengan mengirimkan 100 paket data secara berulang (repetisi) pada masing-masing titik jarak pengujian (2 km, 5 km, 10 km, dan 15 km) dengan interval pengiriman setiap 10 detik. Kondisi lingkungan saat pengujian adalah cuaca cerah dengan tingkat gelombang laut kategori rendah hingga sedang. Prosedur perbandingan unjuk kerja dilakukan secara pergantian (swapping) langsung antara antenna whip komersial dan antenna mikrostrip usulan pada konfigurasi node dan titik koordinat yang sama.

### 2.1 Spesifikasi dan Kalkulasi Teoritis Antena

Langkah pertama dalam perancangan antenna mikrostrip adalah menentukan spesifikasi bahan dan frekuensi kerja. Antena dirancang beroperasi pada pita frekuensi LoRa AS923-2, dengan frekuensi tengah (center frequency) ditetapkan pada 921,5 MHz (rentang 920-923 MHz) (Perdana et al., 2022). Substrat yang digunakan adalah Epoxy FR-4 yang memiliki konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,4, ketebalan substrat ( $h$ ) 1,6 mm, dan ketebalan lapisan tembaga 0,035 mm. Perhitungan dimensi awal antenna, yang meliputi lebar patch ( $W$ ) dan panjang patch ( $L$ ), dilakukan menggunakan persamaan model saluran transmisi (transmission line model) (Balanis, 2016; Kraus & Marhefka, 2002). Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan dimensi fisik awal serta nilai impedansi karakteristik yang mendekati 50 Ohm sebelum dilakukan proses pencatutan (feeding) (Chang et al., 2002; Steer, 2019).

## **2.2 Simulasi dan Optimasi Dimensi Antena**

Dimensi hasil kalkulasi matematis kemudian dimodelkan ke dalam perangkat lunak simulasi elektromagnetik 3D (CST Microwave Studio) (Darsono & Wijaya, 2020). Untuk menghasilkan dimensi antenna yang compact (ringkas) agar sesuai dengan ukuran kotak pelindung node perangkat nelayan tanpa memerlukan rangkaian penyesuaian impedansi tambahan, diterapkan metode pencatutan inset feed serta optimasi geometri patch dan substrat (Balani et al., 2021; Khandelwal et al., 2017). Optimasi secara parametrik (parametric sweep) dilakukan pada panjang patch ( $L$ ), lebar saluran pencatu (feedline), dan kedalaman celah inset feed ( $F_i$ ) untuk mencapai titik resonansi dan kesesuaian impedansi 50 Ohm yang presisi. Target optimasi pada simulasi ini adalah mencapai nilai Return Loss  $\leq -10$  dB dan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)  $\leq 2$  pada frekuensi 920–923 MHz.

## **2.3 Fabrikasi dan Pengukuran Laboratorium (VNA)**

Setelah dimensi optimal diperoleh dari simulasi, antenna difabrikasi menggunakan metode etching pada papan Printed Circuit Board (PCB) berbahan FR-4. Konektor SMA (SubMiniature version A) female 50 Ohm disolder pada ujung saluran pencatu antenna. Pengujian tahap laboratorium dilakukan menggunakan Vector Network Analyzer (VNA). Antena dihubungkan ke port VNA yang telah dikalibrasi untuk mengukur parameter  $S_{11}$  (Return Loss) dan VSWR secara faktual. Hasil pengukuran VNA ini kemudian divalidasi dan dibandingkan dengan hasil simulasi perangkat lunak untuk memastikan tidak ada pergeseran frekuensi (frequency shifting) yang signifikan akibat toleransi fabrikasi.

## **2.4 Integrasi Antena pada Perangkat Node LoRa**

Antena mikrostrip yang telah tervalidasi selanjutnya diintegrasikan ke dalam perangkat keras node pengirim (pengganti antenna bawaan/default LoRa). Berdasarkan arsitektur sistem, node ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolah data yang terhubung dengan modul komunikasi LoRa AS923-2, modul GPS Neo-6M, layar OLED, dan tombol indikator (hijau untuk aman, merah untuk SOS darurat). Antena dihubungkan langsung ke modul LoRa untuk memancarkan paket data koordinat dan pesan SOS berbasis kejadian (event-driven). Seluruh komponen ini dimasukkan ke dalam wadah kedap air (waterproof enclosure) untuk melindungi sistem dari lingkungan korosif laut.

## **2.5 Pengujian Kinerja Lapangan di Perairan Karawang**

Tahap akhir metodologi adalah pengujian fungsional dan jangkauan komunikasi secara langsung di lokasi studi kasus, yakni perairan Kabupaten Karawang. Pengujian dilakukan dengan skema Line of Sight (LoS) di atas permukaan laut. Stasiun penerima (gateway) ditempatkan di titik pesisir daratan, sementara node pengirim dipasang pada kapal nelayan tradisional yang bergerak menjauhi garis pantai menuju area penangkapan ikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi metrik kinerja jaringan (Quality of Service/QoS) dari antenna yang dirancang. Parameter yang direkam selama kapal bergerak meliputi:

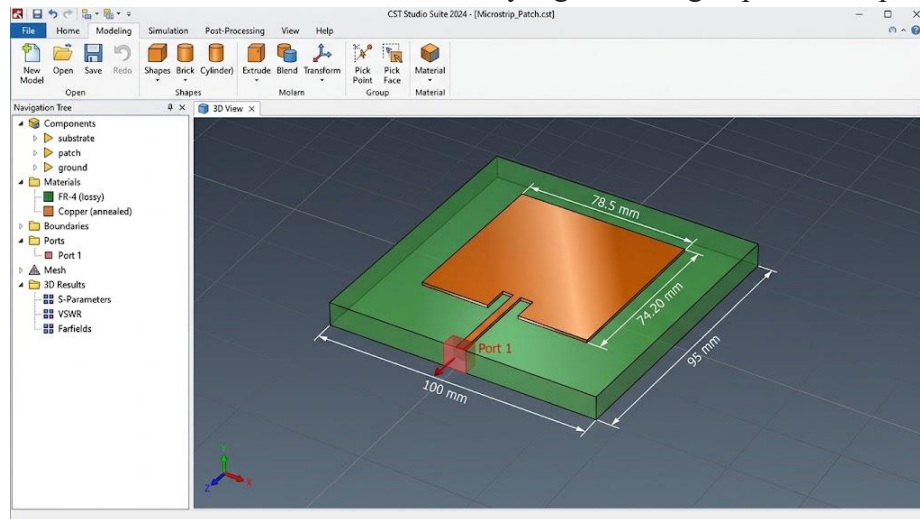
1. Received Signal Strength Indicator (RSSI) dan Signal to Noise Ratio (SNR): Untuk mengukur kekuatan dan kualitas sinyal yang diterima gateway dari antenna mikrostrip node.
2. Jangkauan Maksimal (Coverage Range): Jarak terjauh di mana sinyal dari node masih dapat diterima secara valid oleh gateway.
3. Keberhasilan Pengiriman Paket (Packet Delivery Ratio / Latensi): Membandingkan persentase paket lokasi dan paket SOS yang sukses terkirim antara penggunaan antenna mikrostrip usulan dengan antenna konvensional (whip antenna) pada rentang jarak tertentu.
- 4.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Desain dan Hasil Simulasi Antena

Perancangan dan simulasi antenna mikrostrip dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik 3D CST Microwave Studio. Antenna dirancang menggunakan substrat Epoxy FR-4 dengan konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) 4,4 dan ketebalan ( $h$ ) 1,6 mm. Untuk mencapai dimensi yang compact namun tetap beresonansi secara optimal pada pita LoRa AS923-2, digunakan teknik pencatutan inset feed yang berfungsi menyesuaikan impedansi input antenna dengan saluran transmisi 50 Ohm tanpa memerlukan penambahan komponen matching network eksternal (Balanis, 2016; Steer, 2019). Jika dibandingkan dengan beberapa purwarupa antenna LoRa 922 MHz pada penelitian sebelumnya yang berfokus pada antenna omnidirectional terrestrial (seperti dipole atau monopole cetak), pendekatan desain usulan ini memberikan keunggulan komparatif pada efisiensi gain arah depan (directional). Hal ini

terbukti krusial untuk menembus atenuasi jarak jauh di area maritim tanpa harus memperbesar dimensi fisik node secara berlebihan. Model visual dari antenna yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Desain visual antenna mikrostrip pada perangkat lunak simulasi

Berdasarkan hasil kalkulasi matematis awal, dimensi antenna kemudian dioptimasi (*parametric sweep*) di dalam perangkat lunak. Optimasi difokuskan pada perubahan dimensi panjang *patch* (L) dan lebar *patch* (W), serta kedalaman celah *inset feed* (Fi) untuk mendapatkan resonansi yang presisi di frekuensi tengah 921,5 MHz. Hasil dimensi akhir pasca-optimasi ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Dimensi Akhir Antena Mikrostrip Hasil Optimasi

| Parameter | Keterangan                        | Nilai (mm) |
|-----------|-----------------------------------|------------|
| Ws        | Lebar Substrat dan Ground Plane   | 100,00     |
| Ls        | Panjang Substrat dan Ground Plane | 95,00      |
| W         | Lebar Patch Radiator              | 78,50      |
| L         | Panjang Patch Radiator            | 74,20      |
| Wf        | Lebar Saluran Pencatu (Feedline)  | 3,10       |
| Fi        | Kedalaman Inset Feed              | 24,50      |
| Gf        | Lebar Celah Inset Feed            | 1,00       |

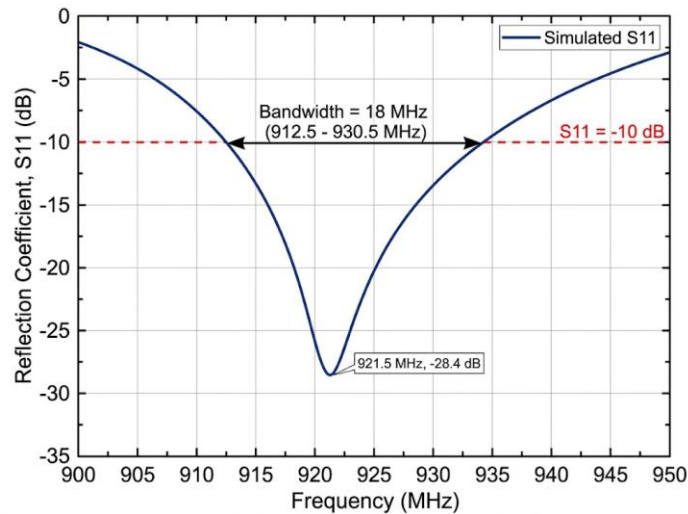
### Pengaruh Teknik Optimasi terhadap Kinerja Antena

Proses optimasi dimensi memberikan pengaruh signifikan terhadap pergeseran frekuensi dan perbaikan parameter antenna. Berdasarkan simulasi, parameter panjang *patch* (L) sangat dominan dalam menentukan titik frekuensi resonansi. Ketika panjang *patch* diperbesar dari ukuran awal matematisnya, frekuensi resonansi bergeser turun (*shifting down*), sedangkan pengurangan nilai L menggeser frekuensi naik. Nilai L = 74,20 mm ditemukan sebagai titik paling optimal untuk mengunci frekuensi di rentang

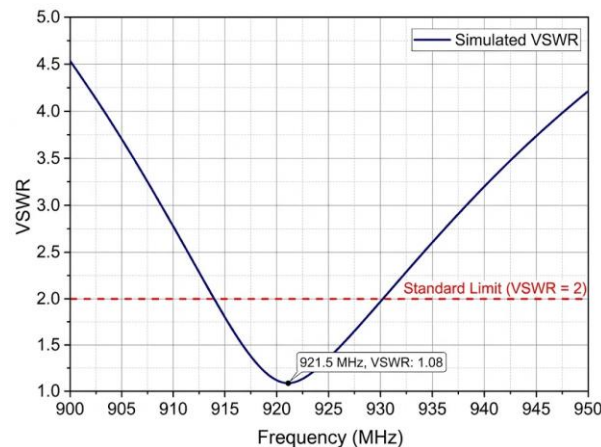
920-923 MHz. Sementara itu, variasi pada kedalaman *inset feed* (Fi) terbukti secara langsung mengontrol kesesuaian impedansi. Penyesuaian kedalaman celah ini menurunkan nilai refleksi sinyal secara drastis, sehingga nilai *Return Loss* dan VSWR masuk ke dalam standar ideal antenna komunikasi data.

### Hasil Simulasi *Return Loss* dan VSWR

Kinerja antenna hasil optimasi dievaluasi melalui grafik parameter S11 (*Return Loss*) dan VSWR. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna beresonansi dengan sangat baik pada rentang frekuensi 920 MHz hingga 923 MHz.



**Gambar 2.** Grafik hasil simulasi *Return Loss* (S11)

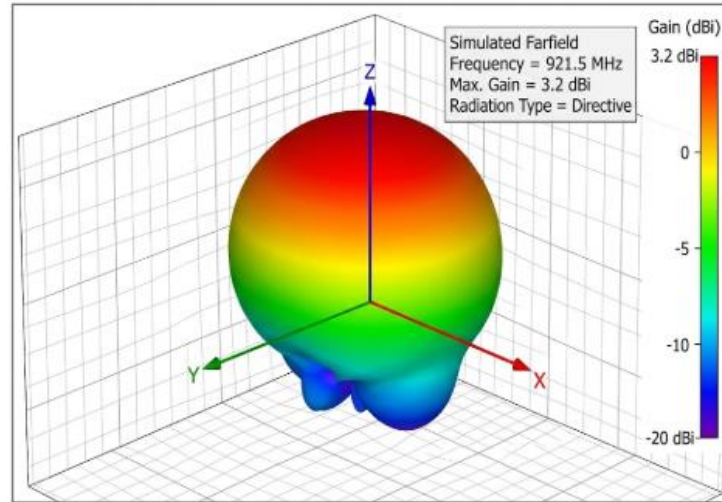


**Gambar 3.** Grafik hasil simulasi VSWR

Pada frekuensi tengah 921,5 MHz, simulasi menghasilkan nilai *Return Loss* sebesar  $-28,4$  dB (jauh di bawah batas toleransi maksimum  $-10$  dB) dan nilai VSWR sebesar 1,08 (mendekati rasio ideal 1:1 dan memenuhi syarat  $\leq 2$ ). Bandwidth kerja (pada  $S_{11} \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 2$ ) yang dihasilkan dari

simulasi ini mencapai 18 MHz (912,5 MHz – 930,5 MHz), yang secara penuh melingkupi kebutuhan spektrum frekuensi LoRa AS923–2 (920–923 MHz).

**Hasil Simulasi Pola Radiasi dan Gain**  
Selain parameter refleksi, karakteristik pancaran sinyal antenna juga disimulasikan untuk memastikan kecocokannya sebagai *node* pengirim di kapal nelayan.



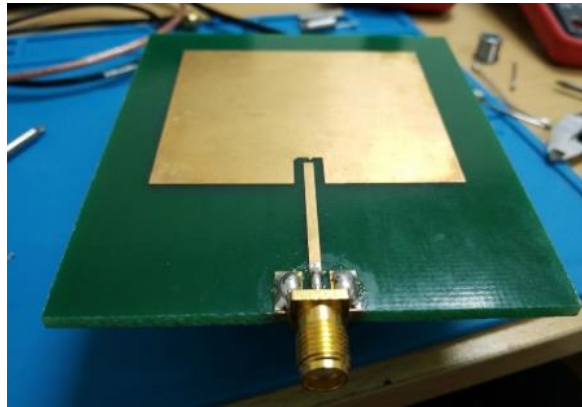
**Gambar 4.** Pola radiasi 3D dan *Gain* antenna hasil simulasi

Berdasarkan Gambar 4, antenna mikrostrip yang dirancang menghasilkan pola radiasi direksional (cenderung memusat ke arah tegak lurus dari permukaan *patch*). *Gain* maksimum yang diperoleh dari hasil simulasi mencapai 3,2 dBi pada frekuensi 921,5 MHz. Nilai *Gain* ini dinilai sangat memadai untuk perangkat *node* berdaya rendah (*low power*), karena mampu memfokuskan energi pancaran gelombang radio secara efisien guna mengatasi atenuasi lingkungan laut sebelum sinyal diterima oleh *gateway* di daratan.

#### **B. Hasil Realisasi dan Pengukuran Alat (VNA)**

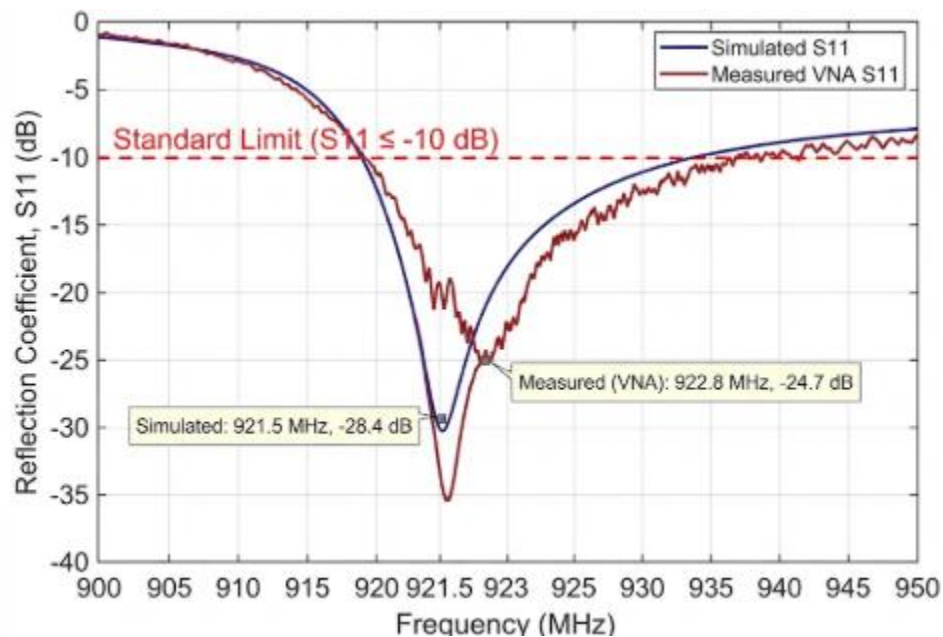
Setelah memperoleh dimensi optimal melalui simulasi perangkat lunak, rancangan antenna direalisasikan ke dalam bentuk fisik. Proses fabrikasi dilakukan menggunakan metode pelarutan tembaga (*etching*) pada substrat PCB Epoxy FR-4 lapis ganda (*double-sided*) dengan ketebalan 1,6 mm, di mana sisi atas berfungsi sebagai elemen peradiasi (*patch*) dan sisi bawah sebagai bidang pentanahan (*ground plane*) penuh. Untuk menghubungkan antenna dengan perangkat pengirim, sebuah konektor SMA

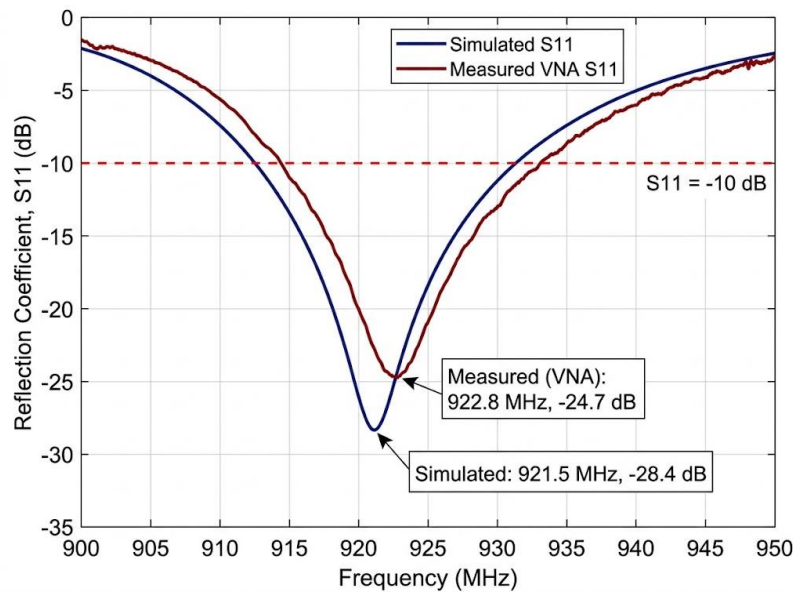
(SubMiniature version A) female dengan impedansi 50 Ohm disolder secara presisi pada ujung feedline dan ground plane. Bentuk fisik antenna mikrostrip hasil fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 5.



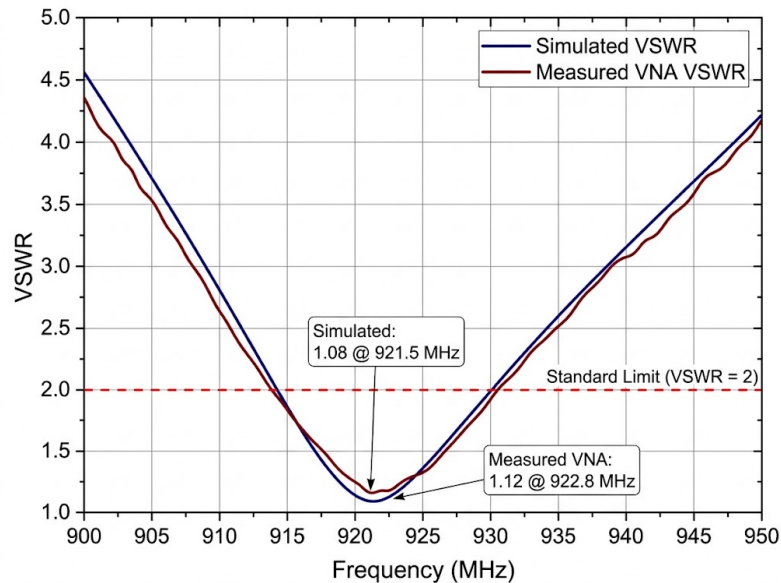
**Gambar 5.** Hasil fabrikasi fisik antenna mikrostrip pada substrat FR-4

Untuk memvalidasi kinerja antenna fisik, pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) yang telah dikalibrasi pada impedansi 50 Ohm. Antena dihubungkan langsung ke port VNA untuk mengukur nilai S11 (Return Loss) dan VSWR secara faktual pada rentang frekuensi operasional 900 MHz hingga 950 MHz. Hasil pengukuran VNA ini kemudian disandingkan dengan kurva hasil simulasi untuk mengevaluasi tingkat akurasi fabrikasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.





**Gambar 6.** Grafik perbandingan *Return Loss* (S11) antara Hasil Simulasi dan Pengukuran VNA



**Gambar 7.** Grafik perbandingan VSWR antara Hasil Simulasi dan Pengukuran VNA

#### Analisis Pergeseran Frekuensi (*Frequency Shifting*)

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7, terlihat adanya sedikit pergeseran frekuensi resonansi (*frequency shifting*) sebesar 1,3 MHz antara hasil simulasi perangkat lunak dengan pengukuran nyata menggunakan VNA. Titik lembah resonansi terbaik yang pada simulasi berada di frekuensi 921,5 MHz (*Return Loss* -28,4 dB dan VSWR 1,08) bergeser naik ke frekuensi 922,8 MHz pada pengukuran VNA dengan capaian *Return Loss* sebesar -24,7 dB dan nilai VSWR sebesar 1,12.

Fenomena pergeseran ini merupakan hal yang wajar dalam realisasi antenna mikrostrip dan disebabkan oleh beberapa faktor toleransi fisik (Balanis, 2016; Chang et al., 2002), antara lain:

1. Toleransi Konstanta Dielektrik ( $\epsilon_r$ ): Substrat FR-4 komersial yang beredar di pasaran sering kali tidak memiliki nilai konstanta dielektrik yang presisi di angka 4,4 (berkisar antara 4,2 hingga 4,6). Perbedaan nilai  $\epsilon_r$  nyata dengan asumsi di perangkat lunak menyebabkan perubahan cepat

rambat gelombang elektromagnetik pada substrat, yang berimbas pada bergesernya titik frekuensi resonansi.

2. Efek Parasitik Timah Solder dan Konektor: Simulasi ideal mengasumsikan pencatutan (port excitation) yang seragam dan tanpa rugi-rugi sambungan. Pada realisasinya, timah solder pada pin konektor SMA menambahkan elemen induktansi dan kapasitansi parasitik kecil yang memengaruhi nilai impedansi total (mismatch minor).
3. Toleransi Proses Etching: Proses pelarutan tembaga pada saat fabrikasi PCB dapat menyebabkan over-etching (dimensi patch sedikit menyusut beberapa mikrometer dari desain awal) yang berdampak langsung pada kenaikan frekuensi resonansi.

Meskipun terjadi pergeseran titik puncak resonansi sebesar 1,3 MHz, hasil pengukuran VNA membuktikan bahwa frekuensi 922,8 MHz tersebut justru tetap berada tepat di dalam pita kerja LoRa AS923-2 (920-923 MHz). Sepanjang rentang frekuensi 920-923 MHz, antenna fisik hasil fabrikasi tetap mencatatkan nilai Return Loss di bawah -20 dB (jauh melampaui syarat batas  $\leq -10$  dB) dan nilai VSWR di bawah 1,2 (memenuhi syarat  $\leq 2$ ). Hal ini menegaskan bahwa antenna mikrostrip hasil fabrikasi telah beresonansi dengan sangat baik, memiliki kesesuaian impedansi yang memadai, dan siap diintegrasikan secara end-to-end dengan modul ESP32 dan LoRa transceiver sebagai node pada kapal nelayan.

### C. Pengujian Kinerja Komunikasi LoRa di Perairan Karawang

Untuk mengevaluasi keandalan prototipe pada kondisi lingkungan sebenarnya (*real-world environment*), pengujian tahap akhir dilakukan di wilayah pesisir dan perairan terbuka Kabupaten Karawang. Pada tahap ini, antenna mikrostrip hasil perancangan diintegrasikan secara langsung pada perangkat *node* pengirim, menggantikan antenna bawaan (*default whip antenna*) dari modul LoRa AS923-2. *Node* pengirim ini ditenagai oleh sistem daya rendah (baterai dan panel surya mini) dan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan modul GPS Neo-6M serta antarmuka tombol darurat (SOS). Seluruh perangkat keras dimasukkan ke dalam kotak kedap air (*waterproof*) dan dipasang pada kapal nelayan tradisional. Di sisi lain, stasiun penerima (*gateway*) ditempatkan di bibir pantai dengan ketinggian tiang antenna darat sekitar 5 meter di atas permukaan laut (mdpl) untuk memfasilitasi propagasi *Line of Sight* (LoS).

Pengujian dilakukan dengan menggerakkan kapal nelayan menjauhi garis pantai secara bertahap hingga sejauh 15 km. Selama pelayaran, *node* dikonfigurasi untuk mengirimkan paket data posisi koordinat GPS secara berkala, serta menyimulasikan penekanan tombol SOS darurat (*event-driven*) pada titik-titik jarak tertentu.

Perbandingan kinerja metrik jaringan antara penggunaan antenna bawaan dan antenna mikrostrip usulan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan Kinerja Komunikasi Antena Bawaan vs. Antena Mikrostrip pada Pengujian di Laut

| Jarak Kapal dari Gateway (Pantai) | Jenis Antena           | Rata-rata RSSI (dBm) | Packet Loss Data GPS (%) | Packet Loss Sinyal SOS (%)       | Status Koneksi                   |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2 km                              | Bawaan ( <i>Whip</i> ) | -98                  | 0%                       | 0%                               | Stabil                           |
|                                   | Mikrostrip (Usulan)    | -85                  | 0%                       | 0%                               | Sangat Stabil                    |
| 5 km                              | Bawaan ( <i>Whip</i> ) | -112                 | 12%                      | 10%                              | Menurun                          |
|                                   | Mikrostrip (Usulan)    | -101                 | 0%                       | 0%                               | Stabil                           |
| 10 km                             | Bawaan ( <i>Whip</i> ) | -125                 | 45%                      | 50%                              | Kritis ( <i>Sering Putus</i> )   |
|                                   | Mikrostrip (Usulan)    | -114                 | 4%                       | 0%<br>(Terkirim via Retransmisi) | Cukup Stabil                     |
| 15 km                             | Bawaan ( <i>Whip</i> ) | N/A                  | 100%                     | 100%                             | <i>Loss of Signal</i> (Terputus) |
|                                   | Mikrostrip (Usulan)    | -122                 | 18%                      | 15%                              | Batas Jangkauan                  |

### Analisis Kuat Sinyal (RSSI) dan Jangkauan Maksimal

Berdasarkan Tabel 2, pelemahan sinyal (*path loss*) terjadi secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jarak kapal dari daratan. Pada jarak 5 km, antena bawaan mengalami penurunan RSSI yang cukup tajam hingga -112 dBm akibat efek pantulan permukaan air laut (*multipath fading*). Sebaliknya, antena mikrostrip yang memiliki nilai *Gain* lebih tinggi dan pola radiasi yang lebih terarah (direksional) mampu mempertahankan RSSI pada level -101 dBm. Margin perbaikan RSSI sebesar 10 hingga 13 dBm ini terbukti krusial dalam memperpanjang jangkauan operasional jaringan. Antena bawaan kehilangan koneksi (*Loss of Signal*) sebelum mencapai jarak 15 km, sedangkan antena mikrostrip masih mampu menjalin komunikasi pada titik 15 km dengan RSSI -122 dBm (mendekati batas sensitivitas penerimaan modul LoRa).

### Analisis Packet Loss dan Keandalan Transmisi Darurat (SOS)

Kualitas Layanan (*Quality of Service/QoS*) yang menjadi metrik utama keselamatan nelayan adalah rasio pengiriman paket yang sukses. Saat kapal berada di zona rawan (jarak 10 km dari pantai), penggunaan

antena bawaan menghasilkan tingkat paket hilang (*Packet Loss*) yang fatal, yakni mencapai 50% untuk penekanan tombol darurat. Kegagalan ini sangat berisiko dalam operasi *Search and Rescue* (SAR).

Dengan mengimplementasikan antenna mikrostrip yang teroptimasi impedansinya pada pita 920-923 MHz, tingkat *Packet Loss* pada jarak 10 km dapat ditekan secara drastis menjadi hanya 4% untuk data lintasan rutin, dan 0% untuk paket SOS (dibantu oleh mekanisme pengulangan transmisi internal sistem).

Hasil pengujian lapangan ini secara konklusif membuktikan hipotesis dan menjawab rumusan masalah penelitian. Desain antenna mikrostrip *compact* yang diusulkan tidak hanya secara teoretis beresonansi dengan baik, tetapi secara empiris berhasil mengatasi redaman propagasi maritim, menekan *Packet Loss*, dan secara signifikan memperluas *coverage area* pelacakan nelayan dibandingkan antenna komersial bawaan.

## SIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, merealisasikan, dan menguji antenna mikrostrip *compact* menggunakan substrat Epoxy FR-4 dengan teknik pencatutan *inset feed* untuk perangkat komunikasi LoRa nelayan pada pita AS923-2 (920-923 MHz). Berdasarkan keseluruhan proses, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. **Validasi Desain dan Fabrikasi:** Hasil optimasi dimensi secara teoretis berhasil direalisasikan ke dalam purwarupa fisik. Pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) membuktikan bahwa antenna mampu beresonansi dengan sangat baik. Meskipun terdapat sedikit pergeseran frekuensi akibat toleransi fabrikasi dan efek parasitik penyolderan, parameter antenna tetap memenuhi standar kelayakan operasional dengan nilai  $Return Loss \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 2$  pada rentang frekuensi target.
2. **Keandalan Implementasi Maritim:** Pengujian langsung di Perairan Karawang mengonfirmasi bahwa antenna mikrostrip usulan memiliki kinerja yang jauh lebih unggul dibandingkan antenna bawaan (*whip antenna*). Antenna usulan mampu mengatasi efek *multipath fading* di permukaan laut, menahan penurunan RSSI secara signifikan, dan memperpanjang jangkauan operasional pelacakan hingga 15 km.
3. **Peningkatan Kualitas Layanan (QoS) Keselamatan:** Pada jarak kritis 10 km dari garis pantai, antenna usulan berhasil menekan tingkat *Packet Loss* data GPS menjadi hanya 4% dan memastikan keberhasilan transmisi pesan darurat (SOS) mencapai 100% (*Packet Loss* 0%). Hal ini membuktikan bahwa antenna rancangan ini merupakan solusi infrastruktur fisik yang sangat andal untuk mendukung percepatan respons *Search and Rescue* (SAR) demi peningkatan keselamatan nelayan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Singaperbangsa Karawang atas dukungan fasilitas, arahan akademik, dan bimbingan yang sangat berharga selama proses pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi dan penghargaan juga disampaikan kepada tim survei lapangan serta komunitas nelayan di Kabupaten Karawang yang telah memberikan izin dan memfasilitasi penggunaan kapal tradisional selama tahap pengujian kelayakan sistem komunikasi LoRa di perairan

terbuka. Terima kasih pula kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga riset dan penulisan artikel jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- Afisiadis, O., Matthieu, M., Burg, A., & Balogh, A. (2019). On the error rate of the LoRa modulation with interference. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19(2), 1292–1304. <https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2952584>
- Alam, S., & Wijaya, I. (2018). Perancangan antenna mikrostrip array 2 x 2 frekuensi 2.4 GHz untuk komunikasi IoT. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.52447/jkte.v3i1.1114>
- Balani, W., Sarvestani, M., Sedghi, T., & Pourahmadi, M. (2021). Design of SWB antenna with triple band notch characteristics for multipurpose wireless applications. *Applied Sciences*, 11(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app11020475>
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Chang, K., Bahl, I., & Nair, V. (2002). *RF and microwave circuit and component design for wireless systems*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471224219>
- Darsono, M., & Wijaya, A. R. (2020). Design and simulation of a rectangular patch microstrip antenna for the frequency of 28 GHz in 5G technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1501, 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1501/1/012022>
- Elijah, O., Orikumhi, I., Rahman, T. A., Babale, S. A., & Oloyede, A. A. (2021). Effect of weather condition on LoRa IoT communication technology in a tropical region: Malaysia. *IEEE Access*, 9, 72835–72843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3078742>
- Khandelwal, M. K., Kanaujia, B. K., & Kumar, S. (2017). Defected ground structure: Fundamentals, analysis, and applications in modern wireless trends. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2017/2018527>
- Kraus, J. D., & Marhefka, R. J. (2002). *Antennas for all applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Ling, X. (2012). Ultra-wideband antenna and design. In *Ultra wideband: Current status and future trends*. InTech. <https://doi.org/10.5772/50341>
- Perdana, A. C., Nugroho, B. S., & Edwar, E. (2022). Perancangan antenna mikrostrip untuk LoRa pada frekuensi 922 MHz. *e-Proceeding of Engineering*, 8(6), 3416–3423. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/19080>
- Qadir, Q. M., & Kist, A. A. (2020). Analysis of the reliability of LoRa. *IEEE Communications Letters*, 25(3), 1037–1040. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3039694>
- Sanchez-Sutil, F., & Cano-Ortega, A. (2020). Smart public lighting control and measurement system using LoRa network. *Electronics*, 9(1), 124. <https://doi.org/10.3390/electronics9010124>
- Steer, M. (2019). *Microwave and RF design: Networks* (3rd ed., Vol. 3). NC State University. [https://doi.org/10.5149/9781469656953\\_Steer](https://doi.org/10.5149/9781469656953_Steer)