



**PERANCANGAN ANTENA TRANSMITARRAY METASURFACE  
DUA LAPIS UNTUK KONVERSI POLARISASI DUAL BAND PADA  
APLIKASI V-BAND**

**LAPORAN TESIS**

**DEFI LESTARI  
55422110008**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2026**



**PERANCANGAN ANTENA TRANSMITARRAY METASURFACE  
DUA LAPIS UNTUK KONVERSI POLARISASI DUAL BAND PADA  
APLIKASI V-BAND**

**LAPORAN TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister**

**DEFI LESTARI  
55422110008**

**UNIVERSITAS  
MERCU BUANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2026**

## HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Defi Lestari

NIM : 55422110008

Fakultas/Program Studi : Teknik / Magister Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis berjudul:

“Perancangan Antena Transmitarray Metasurface Dua Lapis untuk Konversi Polarisasi Dual Band pada Aplikasi V-Band”

adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 22 Agustus 2026



Defi Lestari

|                                                                                   |                                                      |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>BIRO PERPUSTAKAAN<br/>UNIVERSITAS MERCU BUANA</b> |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

|              |                   |            |  |  |  |  |  |
|--------------|-------------------|------------|--|--|--|--|--|
| No.Dokumen   | 1-1-3.4.11.00     | Distribusi |  |  |  |  |  |
| Tgl. Efektif | 25 September 2024 |            |  |  |  |  |  |

### SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN

**Nama** : DEFI LESTARI  
**NIM** : 55422110008  
**Fakultas / Program Studi** : PASCA / Magister Teknik Elektro  
**Jenis** : Tesis  
**Judul Tugas Akhir** : PERANCANGAN ANTENA TRANSMITARRAY METASURFACE DUA LAPIS  
UNTUK KONVERSI POLARISASI DUAL BAND PADA APLIKASI V-BAND  
**Hasil Pengecekan Turnitin** : 15%

Telah dilakukan pengecekan Similarity menggunakan aplikasi **Turnitin** dengan hasil presentase kemiripan sebesar **15%** dan dinyatakan memenuhi syarat untuk penyerahan tugas akhir sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Mercu Buana. Hasil uji Turnitin terlampir.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 03 October 2026

**Kepala Biro Perpustakaan**



Muhammad Arif Budiyanto, M.Hum

**Ket:** Surat keterangan ini sebagai salah satu syarat untuk penyerahan tugas akhir.

2026/Oktober/03/0000001637/Muhammad Arif Budiyanto, M.Hum

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Defi Lestari

NIM : 55422110008

Fakultas/Program Studi : Teknik / Magister Teknik Elektro

Judul Tesis : Perancangan Antena Transmitarray Metasurface  
Dua Lapis untuk Konversi Polarisasi Dual Band pada Aplikasi V-Band

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 22 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



Prof. Dr.-Ing. Mudrik Alaydrus

NIDN/NUPTK: 0311057101

Jakarta, 22 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN/NUPTK: 030703702

Ketua Program Studi

Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, ST.,

MT., IPU, ASEN Eng., APEC Eng.,

ACPE, SMIEEE

NIDN/NUPTK: 0312118206

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Laporan Tesis ini. Penulisan Laporan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Laporan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana;
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Program Pascasarjana;
3. Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro;
4. Prof. Dr.-Ing. Mudrik Alaydrus selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
5. Dr. Ir. Dian Widi Astuti, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1 atas koreksi, arahan, serta masukannya;
6. Dr. Umaisaroh selaku Dosen Penguji 2 atas koreksi, arahan, serta masukannya; serta kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan setiap langkah yang saya jalani.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 22 Agustus 2026

Penulis

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Defi Lestari

NIM : 55422110008

Fakultas/Program Studi : Teknik / Magister Teknik Elektro

Judul Tesis : Perancangan Antena Transmitarray Metasurface  
Dua Lapis untuk Konversi Polarisasi Dual Band  
pada Aplikasi V-Band

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 22 Agustus 2026

Yang menyatakan,

  
Defi Lestari

# PERANCANGAN ANTENA TRANSMITARRAY METASURFACE DUA LAPIS UNTUK KONVERSI POLARISASI DUAL BAND PADA APLIKASI V-BAND DEFI LESTARI

## ABSTRAK

Komunikasi nirkabel 5G dan Beyond-5G menuntut antenna dengan gain tinggi pada spektrum gelombang milimeter, khususnya pita V-Band yang menawarkan bandwidth sangat lebar. Dibandingkan antenna lensa dielektrik yang berukuran besar dan mahal, antenna transmitarray (TA) menggabungkan keunggulan antenna lensa dan antenna patch: gain tinggi, bebas feed blockage, ringan, murah, dan mudah difabrikasi. Pada penelitian ini kemampuan konversi polarisasi menjadi fungsi inti antenna yang dirancang. Sel satuan metasurface anisotropik disusun untuk memutar polarisasi gelombang linier sebesar  $90^\circ$ , sehingga permukaan transmitarray sekaligus bekerja sebagai konverter polarisasi yang berguna untuk mengatasi ketidaksesuaian polarisasi (polarization mismatch) dan meningkatkan isolasi antar-kanal; kemampuan tersebut pada studi terdahulu umumnya baru tersedia di pita X dan Ka, sehingga realisasinya pada pita V menjadi celah penelitian. Sel satuan dirancang dengan pendekatan multi-layer frequency selective surface (M-FSS) berbentuk U-slot double layer dengan via penghubung pada substrat Rogers RO4003C (ketebalan 0,51 mm;  $\epsilon_r = 3,55$ ;  $\tan \delta = 0,0027$ ). Tiga varian desain dengan jarak slot S berbeda disimulasikan menggunakan Ansys HFSS v19.0 dengan Floquet Port pada 40–65 GHz, kemudian difabrikasi dan diukur menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) pada polarisasi HH (co-polarization) dan HV (cross-polarization). Hasil simulasi menunjukkan Desain Antena 1 bekerja sebagai konverter polarisasi  $90^\circ$  paling efisien pada 42,78 GHz dengan transmisi terkonversi 86,49% ( $S_{21} = -0,63$  dB) dan rugi-rugi terkecil 12,39%; Desain Antena 2 mencapai karakteristik dual band pada 46,83 GHz dan 55,00 GHz dengan efisiensi 78,48% dan 73,53%; Desain Antena 3 menghasilkan konversi polarisasi mendekati  $45^\circ$  pada 47,67 GHz. Desain Antena 1 disusun menjadi array  $10 \times 10$  elemen berapertur  $39 \times 39$  mm dengan estimasi gain teoritis 23,3 dBi. Pengukuran VNA mengindikasikan terjadinya konversi polarisasi: magnitudo HH turun hingga 27,06 dB terhadap referensi ruang bebas disertai menguatnya komponen silang HV hingga berselisih hanya 5,44 dB dari referensi, paling signifikan pada Desain Antena 2.

**Kata kunci:** transmitarray, metasurface, konverter polarisasi, dual band, V-Band

**DESIGN OF A DOUBLE-LAYER METASURFACE TRANSMITARRAY  
ANTENNA FOR DUAL-BAND POLARIZATION CONVERSION IN V-BAND  
APPLICATIONS  
DEFI LESTARI**

**ABSTRACT**

*5G and Beyond-5G wireless communications demand high-gain antennas in the millimeter-wave spectrum, particularly the V-Band, which offers very wide bandwidth. Compared with dielectric lens antennas, which are bulky and expensive, transmitarray (TA) antennas combine the advantages of lens and patch antennas: high gain, freedom from feed blockage, light weight, low cost, and ease of fabrication. In this research, polarization conversion is made the core function of the designed antenna. Anisotropic metasurface unit cells are arranged to rotate the polarization of a linearly polarized wave by 90°, so that the transmitarray surface simultaneously acts as a polarization converter, which is useful for overcoming polarization mismatch and improving inter-channel isolation; in previous studies this capability has generally been available only in the X and Ka bands, so its realization in the V-Band constitutes a research gap. The unit cell is designed using a multi-layer frequency selective surface (M-FSS) approach in the form of a double-layer U-slot with a connecting via on a Rogers RO4003C substrate (thickness 0.51 mm;  $\epsilon_r = 3.55$ ;  $\tan \delta = 0.0027$ ). Three design variants with different slot spacings  $S$  were simulated using Ansys HFSS v19.0 with Floquet Ports over 40–65 GHz, then fabricated and measured using a Vector Network Analyzer (VNA) in HH (co-polarization) and HV (cross-polarization) configurations. Simulation results show that Antenna Design 1 works as the most efficient 90° polarization converter at 42.78 GHz with a converted transmission of 86.49% ( $S_{21} = -0.63$  dB) and the smallest loss of 12.39%; Antenna Design 2 achieves dual-band characteristics at 46.83 GHz and 55.00 GHz with efficiencies of 78.48% and 73.53%; and Antenna Design 3 produces polarization conversion close to 45° at 47.67 GHz. Antenna Design 1 is arranged into a 10×10-element array with a 39×39 mm aperture and an estimated theoretical gain of 23.3 dBi. VNA measurements indicate the occurrence of polarization conversion: the HH magnitude drops by up to 27.06 dB relative to the free-space reference, accompanied by a strengthening of the HV cross-polarized component to within only 5.44 dB of the reference, most significantly for Antenna Design 2.*

**Keywords:** *transmitarray, metasurface, polarization converter, dual band, V-Band*

## DAFTAR ISI

|                                                                                |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL.....</b>                                                      | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....</b>                                   | <b>ii</b>   |
| <b>SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN .....</b>                               | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                                                | <b>iv</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                                    | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>                           | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRAK.....</b>                                                            | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                          | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                                        | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                      | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                     | <b>xiv</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                                                 | <b>1</b>    |
| 1.1    Pendahuluan.....                                                        | 1           |
| 1.2    Rumusan Masalah.....                                                    | 4           |
| 1.3    Tujuan Penelitian.....                                                  | 4           |
| 1.4    Manfaat Penelitian.....                                                 | 4           |
| 1.5    Batasan Masalah .....                                                   | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                           | <b>6</b>    |
| 2.1    Studi Literatur.....                                                    | 6           |
| 2.1.1    A Wideband Metal-Only Transmitarray With Two-Layer Configuration .    | 6           |
| 2.1.2    A Low-Cost Ultrathin Metal-Only Transmitarray Antenna at X-Band ..... | 7           |
| 2.1.3    A Double-Layer Metal-Only Transmitarray for Beam Scanning.....        | 8           |
| 2.1.4    Low-Cost Metal-Only Transmitarray Antennas at Ka-Band .....           | 10          |

|        |                                                                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.5  | A Double-Layer Metal-Only Huygens Metasurface Transmitarray.....                                               | 11 |
| 2.1.6  | A Low-Profile Metal-Only Folded Transmitarray Antenna Based on Asymmetric Transmission Chiral Metasurface..... | 12 |
| 2.1.7  | A Metal-Only Reflect-Transmit-Array Antenna With Polarization-Dependent Operations.....                        | 13 |
| 2.1.8  | A Millimeter-Wave Low-Profile and Metal-Only Transmitarray Antennas at 28 GHz .....                            | 15 |
| 2.1.9  | A Novel Planar Mode-Transducing Antenna Based on Metal-Only Transmitarray Surfaces .....                       | 16 |
| 2.1.10 | A Double-Layer Metasurface-Based Dual-Band Dual-Polarized Transmit-Reflect-Array Antenna .....                 | 17 |
| 2.1.11 | A Wideband Polarization Converter With High Efficiency for Millimeter-Wave 5G Applications .....               | 19 |
| 2.2    | Antena.....                                                                                                    | 24 |
| 2.3    | Microstrip .....                                                                                               | 24 |
| 2.4    | Teknik Pencatuan Antena Microstrip .....                                                                       | 26 |
| 2.5    | Antenna Transmitarray .....                                                                                    | 27 |
| 2.6    | Hubungan antara Antena Transmitarray dan Metasurface .....                                                     | 30 |
| 2.7    | Elemen U-Slot .....                                                                                            | 30 |
| 2.8    | Konversi Polarisasi .....                                                                                      | 31 |
| 2.9    | Distribusi Energi dan Hukum Kekekalan Energi .....                                                             | 32 |
| 2.10   | V-Band.....                                                                                                    | 32 |
| 2.11   | Parameter Antena .....                                                                                         | 34 |
| 2.8.1  | <i>Faktor Refleksi</i> .....                                                                                   | 34 |
| 2.8.2  | <i>Bandwidth</i> .....                                                                                         | 35 |
| 2.8.3  | <i>Pola radiasi</i> .....                                                                                      | 35 |

|                                           |                                                                            |           |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8.4                                     | <i>Gain</i> .....                                                          | 37        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b> |                                                                            | <b>38</b> |
| 3.1                                       | Diagram Alir Penelitian.....                                               | 39        |
| 3.2                                       | Perlengkapan Yang Digunakan .....                                          | 41        |
| 3.3                                       | Menentukan Karakteristik Antena.....                                       | 43        |
| 3.4                                       | Menentukan Substrat Yang Diinginkan .....                                  | 44        |
| 3.5                                       | Justifikasi Pemilihan Substrat.....                                        | 44        |
| 3.6                                       | Menentukan Dimensi Antena .....                                            | 46        |
| 3.7                                       | Desain Perancangan Unit Cell.....                                          | 46        |
| 3.8                                       | Studi Parametrik Pengaruh Parameter Jarak S .....                          | 51        |
| 3.9                                       | Metode Simulasi dan Pengukuran .....                                       | 54        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>   |                                                                            | <b>56</b> |
| 4.1                                       | Simulasi Perancangan Antena Transmitarray.....                             | 56        |
| 4.1.1                                     | Hasil simulasi Antena Transmitarray .....                                  | 56        |
| 4.1.2                                     | Perbandingan Ketiga Desain Sel Satuan .....                                | 62        |
| 4.1.3                                     | Penyusunan Transmitarray 10x10 .....                                       | 63        |
| 4.1.4                                     | Fabrikasi Antena Transmitarray .....                                       | 65        |
| 4.2                                       | Pengukuran Antenna Transmitarray menggunakan VNA.....                      | 66        |
| 4.3                                       | Antena Transmitarray 3 Desain dengan 100 Elemen pada frekuensi 40 – 65 GHz | 66        |
| 4.4                                       | Dua buah Waveguide-To-Coax Adapter WG WR19 Grooved Flange to Type N        | 67        |
| 4.5                                       | <i>Vector Network Analyzer ZVA-7</i> 10 MHz–67 GH .....                    | 68        |
| 4.6                                       | Tahap pengukuran dengan Vector Network Analyzer .....                      | 69        |
| 4.7                                       | Pengukuran Antena Transmitarray .....                                      | 73        |

|                                        |                                                          |           |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1                                  | Hasil Pengukuran Polarisasi HH (Co-Polarization) .....   | 74        |
| 4.3.2                                  | Hasil Pengukuran Polarisasi HV (Cross-Polarization)..... | 78        |
| 4.3.3                                  | Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran .....         | 85        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b> |                                                          | <b>87</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>            |                                                          | <b>90</b> |



## DAFTAR TABEL

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Parameter double-layer metal-only unit cel .....                                            | 9  |
| Tabel 2.2 Tabel parameter geometric MOUC .....                                                        | 10 |
| Tabel 2.3 Hasil untuk MOTA #1 .....                                                                   | 11 |
| Tabel 2.4 Struktur elemen Huygens doouble layer metal only .....                                      | 12 |
| Tabel 2.5 Parameter desain unit cell.....                                                             | 15 |
| Tabel 2.6 Parameter unit cell.....                                                                    | 16 |
| Tabel 2.7 Tabel parameter .....                                                                       | 17 |
| Tabel 2.8 Studi Literatur.....                                                                        | 22 |
| Tabel 2.9 Kelebihan dan Kekurangan Teknik Pencatuan.....                                              | 27 |
| Tabel 3.1 Parameter yang diinginkan .....                                                             | 43 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat .....                                                                  | 44 |
| Tabel 3.3 Tabel parameter antenna 1.....                                                              | 49 |
| Tabel 3.4 Tabel parameter antenna 2.....                                                              | 49 |
| Tabel 3.5 Tabel parameter antenna 3.....                                                              | 50 |
| Tabel 3.6 Hasil sweep parameter S: frekuensi resonansi dan kedalaman minimum $ S_{21}^{yy} $<br>..... | 53 |
| Tabel 4.1 Tabel Distribusi Energi untuk Desain Antena 1 .....                                         | 58 |
| Tabel 4.2 Tabel Distribusi Energi untuk Desain Antena 2.....                                          | 60 |
| Tabel 4.3 Tabel Distribusi Energi untuk Desain Antena 3 .....                                         | 61 |
| Tabel 4.4 Tabel Perbandingan .....                                                                    | 63 |
| Tabel 4.5 Perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran ketiga desain .....                        | 85 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Geometri sel satuan. (a) Struktur tiga dimensi (b) Tampak atas. (c) Tampak bawah. Dimensi area $P = 18$ , $H1=1$ , $H2=6$ , $W = 1.5$ , $D = 0.8$ , $S = 1.3$ , $L1 = 13.4-16.2$ , $L11 = 0.35 L1$ , $L2 = 0.79 L1$ , $L22 = 0.35 L2$ (unit: mm).....                                                                                       | 6  |
| Gambar 2.2 (a) Konfigurasi sel satuan. (b) Distribusi medan listrik pada lapisan atas dan bawah pada 10 GHz.....                                                                                                                                                                                                                                       | 8  |
| Gambar 2.3 Geometri double-layer metal-only unit cel (a) Struktur tiga dimensi (b) Tampak atas .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 9  |
| Gambar 2.4 MOUC Ka-Band dalam polarisasi linier dengan profil tereduksi (tiga metal-only). (a) Struktur CW, (b) Struktur CCW. Sudut rotasi antara dua lapisan yang berdekatan sama dengan $45^\circ$ . Vector medan $E_1$ dan vector medan $E_t$ yang ditransmisikan adalah ortogonal. (c) Parameter geometris yang mendefinisikan setiap lapisan..... | 10 |
| Gambar 2.5 Elemen yang diusulkan untuk FTA khusus logam. (a) Penyiapan port dan batas dalam tampilan 3-D. (b) Lapisan atas. (c) Lapisan bawah. ( $R1 = 5,5$ mm, $R2 = 4,2$ mm, $L = 7$ mm, $d = 2$ mm, $h = 0,8$ mm).....                                                                                                                              | 13 |
| Gambar 2.6 Tampak atas (a) lapisan logam pertama. (b) lapisan logam kedua.....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 14 |
| Gambar 2.7 Desain antenna transmitarray .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 16 |
| Gambar 2.8 Geometri elemen yang diusulkan .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 17 |
| Gambar 2.9 Konfigurasi metasurface bifungsional transmisif/reflektif: (a) tampak 3D, (b) lapisan atas, (c) lapisan bawah (Qin et al., 2026) .....                                                                                                                                                                                                      | 18 |
| Gambar 2.10 Prototipe TRA (lapisan atas dan bawah) serta lingkungan pengukuran di anechoic chamber (Qin et al., 2026).....                                                                                                                                                                                                                             | 19 |
| Gambar 2.11 Geometri sel satuan PCMS resonator U anisotropik: (a) tampak depan dan samping beserta parameternya, (b) dekomposisi sumbu u dan v (Kamal et al., 2024) ..                                                                                                                                                                                 | 20 |
| Gambar 2.12 Prototipe PCMS $60 \times 60$ sel, lingkungan pengukuran, serta perbandingan hasil simulasi dan pengukuran koefisien refleksi dan PCR (Kamal et al., 2024).....                                                                                                                                                                            | 21 |
| Gambar 2.13 Peran Antena di sistem komunikasi nirkabel.....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 24 |
| Gambar 2.14 Struktur antenna microstrip (Media Rizka, 2019) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 25 |
| Gambar 2.15 Bentuk Konduktor Microstrip (Media Rizka, 2019) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 25 |
| Gambar 2.16 Geometri antenna transmitarray .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 28 |
| Gambar 2.17 Konfigurasi FSS multi-layer (Abdelrahman et al., 2017).....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 29 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.18 Konfigurasi penerima dan pemancar (Abdelrahman et al., 2017).....                                                                      | 29 |
| Gambar 2.19 Bentuk Pola Radiasi Omnidirectional. (Firdaus, 2017).....                                                                              | 36 |
| Gambar 2.20 Bentuk Pola Radiasi Bidirectional. (Firdaus, 2017) .....                                                                               | 36 |
| Gambar 2.21 Bentuk Pola Radiasi Unidirectional (Firdaus, 2017).....                                                                                | 37 |
| Gambar 2. 22 Pola radiasi antenna (Rambe, 2012) .....                                                                                              | 37 |
| Gambar 3. 1 Prinsip kerja antenna transmitarray .....                                                                                              | 38 |
| Gambar 3. 2 Flowchart perancangan antenna transmitarray dual layer .....                                                                           | 40 |
| Gambar 3. 3 Desain Antena Transmitarray Double Layer – Desain 1 .....                                                                              | 47 |
| Gambar 3. 4 Desain Antena Transmitarray Double Layer – Desain 2.....                                                                               | 48 |
| Gambar 3. 5 Desain Antena Transmitarray Double Layer – Desain 3.....                                                                               | 48 |
| Gambar 3. 6 $ S_{21}^{yy} $ hasil sweep parameter $S = 0,28-0,55$ mm ( $D = 0,5$ mm, $L1 = 2,4$ mm, $W = 0,3$ mm) pada rentang 40–65 GHz.....      | 52 |
| Gambar 3. 7 Frekuensi resonansi band rendah $f_1$ dan band tinggi $f_2$ terhadap parameter $S$ beserta regresi linier dan rumusan empirisnya ..... | 52 |
| Gambar 4. 1 Grafik hasil simulasi S-parameter sel satuan Antena Transmitarray Metasurface Dua Lapis pada Aplikasi V-Band (Desain Antena 1).....    | 57 |
| Gambar 4. 2 Grafik hasil simulasi S-parameter sel satuan Antena Transmitarray Metasurface Dua Lapis pada Aplikasi V-Band (Desain Antena 2).....    | 59 |
| Gambar 4. 3 Grafik hasil simulasi S-parameter sel satuan Antena Transmitarray Metasurface Dua Lapis pada Aplikasi V-Band (Desain Antena 3).....    | 61 |
| Gambar 4. 4 Tata letak transmitarray $10 \times 10$ elemen hasil perancangan untuk ketiga desain (bagian atas dan bagian bawah).....               | 65 |
| Gambar 4. 5 Hasil fabrikasi antenna transmitarray 100 elemen untuk tiga desain, masing-masing bagian atas dan bagian bawah .....                   | 66 |
| Gambar 4. 6 Antena transmitarray double layer 100 elemen yang menjadi objek pengukuran .....                                                       | 67 |
| Gambar 4. 7 Waveguide-to-coax adapter WG WR-19 yang digunakan sebagai antenna pemancar (port 1) dan penerima (port 2).....                         | 68 |
| Gambar 4. 8 Vector Network Analyzer ZVA-7 10 MHz–67 GHz yang digunakan untuk mengukur parameter transmisi $S_{21}$ .....                           | 69 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 9 Pemasangan kedua waveguide-to-coax adapter pada port 1 dan port 2 VNA .....                        | 70 |
| Gambar 4. 10 Pengukuran jarak antar antenna waveguide pemancar dan penerima .....                              | 71 |
| Gambar 4. 11 Pengukuran antenna transmitarray metasurface yang terpasang di antara dua antenna waveguide ..... | 72 |
| Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 1, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 74 |
| Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 1, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 74 |
| Gambar 4. 14 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 1, Orientasi Tidur (antena diputar 90°) .....   | 75 |
| Gambar 4. 15 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 1, Orientasi Tidur (antena diputar 90°) .....   | 75 |
| Gambar 4. 16 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 2, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 76 |
| Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 2, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 77 |
| Gambar 4. 18 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 2, Orientasi Tidur (antena diputar 90°) .....   | 77 |
| Gambar 4. 19 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HH, Posisi 3, Orientasi Tidur (antena diputar 90°).....    | 78 |
| Gambar 4. 20 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 1, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 78 |
| Gambar 4. 21 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 1, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 79 |
| Gambar 4. 22 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 1, Orientasi Tidur (antena diputar 90°) .....   | 80 |
| Gambar 4. 23 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 1, Orientasi Tidur (antena diputar 90°) .....   | 80 |
| Gambar 4. 24 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 2, Orientasi Tegak (antena tidak diputar).....  | 81 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 25 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 2, Orientasi Tegak (antena tidak diputar)..... | 81 |
| Gambar 4. 26 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 2, Orientasi Tidur (antena diputar 90°).....   | 82 |
| Gambar 4. 27 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 3, Orientasi Tegak (antena tidak diputar)..... | 83 |
| Gambar 4. 28 Grafik Hasil Pengukuran VNA Polarisasi HV, Posisi 3, Orientasi Tegak (antena tidak diputar)..... | 83 |

