

## PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIMO 4×4 ARRAY RECTANGULAR PATCH DENGAN SLOT SQUARE RING UNTUK APLIKASI 15GHZ

### DESIGN AND REALIZATION MIMO 4×4 ARRAY RECTANGULAR PATCH ANTENNA WITH SQUARE RING SLOT FOR 15 GHZ APPLICATION

Muhammad Rustiyarso<sup>1</sup>, Dr. Levy Olivia Nur, S.T,M.T.<sup>2</sup>,Edwar,S.T.,M.T.<sup>3</sup>  
1,2,3 Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
[rustiyarso@telkomuniversity.ac.id](mailto:rustiyarso@telkomuniversity.ac.id), [levyolivia@telkomuniversity.ac.id](mailto:levyolivia@telkomuniversity.ac.id),  
[edwarm@telkomuniversity.ac.id](mailto:edwarm@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Pada komunikasi seluler 5G dibutuhkan frekuensi tinggi berguna untuk meningkatkan kapasitas trafik, meninjau kapasitas dan jangkauannya, salah satu kandidat frekuensi yakni pada 15 GHz. Dikarenakan bekerja pada frekuensi tinggi maka sinyal rentan terhadap pemantulan karena panjang gelombang yang semakin kecil berakibat pada timbulnya fading tinggi. Maka daripada itu digunakan sistem antenna MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) yang dapat menjadi solusi untuk permasalahan pemantulan dan scattering gelombang, yang sering terjadi untuk komunikasi pada frekuensi tinggi. Antena ini pun membutuhkan integrasi yang mudah maka mikrostrip menjadi salah satu teknologi yang cocok untuk hal ini.

Antena yang dirancang adalah antenna MIMO dengan 4 elemen, pada setiap elemennya terdapat patch segi enam dan slot *square ring* pada patchnya. Slot diberikan bertujuan untuk memperbesar *bandwidth* dari antena, sedangkan penyusunan secara array bertujuan untuk meningkatkan *gain* antena. Bahan yang digunakan sebagai substrat yaitu Duroid 5880 dengan ketebalan 1.575 mm dan *cooper* sebagai *patch* dengan ketebalan 0.035 mm

Antena yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki dua frekuensi kerja yaitu 15 GHz dan 28 GHz, pada frekuensi 15 GHz antena memiliki *return loss* -12,1803 dB dengan *bandwidth* 1,48 GHz dan *gain* 7,4741 dB pada simulasi, memiliki *return loss* -4,6548 dB dan *gain* 8,39 dBi pada pengukuran. Pada frekuensi 15 GHz antena memiliki polarisasi sirkular dengan nilai axial ratio 2,1241 dB pada simulasi, 4,15 dB pada pengukuran.

**Kata kunci : Antena, MIMO, Mikrostrip, Square Ring Slot, 15 GHz**

#### Abstract

In 5G cellular communication, high frequency is needed to increase traffic capacity, review capacity and reach, one of the candidate frequencies is at 15 GHz. Because it works at high frequencies the signal is vulnerable to reflection because the smaller the wavelength results in the emergence of high fading. So that MIMO (Multiple Input, Multiple Output) antenna system is used which can be a solution for reflecting problems and wave scattering, which often occurs for communication at high frequencies. This antenna also requires easy integration so microstrip is one of the technologies that is suitable for this.

The designed antenna is a MIMO antenna with 4 elements, in each element there is a hexagon patch and a square ring slot on the patch. The given slot aims to increase the bandwidth of the antenna, while array arrangement aims to increase antenna gain. The material used as a substrate is FR4-Epoxy with a thickness of 1.6 mm and *cooper* as a patch with a thickness of 0.035 mm.

The antennas produced in this study used a frequency of 15 GHz. at 15 GHz the antenna has a return loss of -19.0686 dB with a bandwidth of 750 MHz and a gain of 9.119 dB in the simulation, a return loss of -14,3348 dB and a gain of 9.89 dB in the measurement. At 15 GHz the antenna has a linear polarization with an axial value of 5.1356 dB in the simulation, 4.15 dB in the measurement.

**Keywords: Antenna, MIMO, Mikrostrip, Square Ring Slot, 15 GHz**

---

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan komunikasi nirkabel yang semakin meningkat pada masa ini telah memicu pengembangan komunikasi nirkabel ke arah yang lebih baik. Setelah penerapan 4G yang mulai meluas di seluruh dunia, kini pengembangan komunikasi nirkabel mulai diarahkan ke 5G. Berbagai solusi dan inovasi ditawarkan untuk menjadi teknologi utama komunikasi 5G, di mana salah satu arah pengembangannya adalah menggunakan millimeter wave atau gelombang yang berada pada rentang frekuensi di atas 6 GHz. Berbagai alokasi frekuensi kerja ditawarkan sebagai frekuensi utama komunikasi 5G, salah satunya adalah frekuensi 15 GHz.

Frekuensi kerja 15 GHz diajukan oleh NTT DoCoMo dan Ericson sebagai salah satu frekuensi dalam rancangan komunikasi 5G[1]. Beberapa keunggulan dari 15 GHz adalah redaman yang disebabkan hujan dan redaman udaranya cenderung lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi yang lebih besar. Sistem untuk komunikasi pada 15 GHz juga lebih sederhana dibandingkan sistem pada frekuensi lebih tinggi, khususnya di atas 28 GHz[4]. Dikarenakan bekerja pada frekuensi yang tinggi dan panjang gelombang yang semakin kecil, sinyal akan lebih rentan terhadap terjadinya pemantulan akibat merambat melalui objek yang berukuran lebih besar sehingga menimbulkan fading yang tinggi. Untuk itulah, diperlukan sistem antenna MIMO (Multiple Input, Multiple Output) sebagai solusi menghadapi kemungkinan terjadi pemantulan dan scattering gelombang.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan antenna MIMO 4×4 array dengan menggunakan patch rectangular dengan U-slot yang menghasilkan nilai bandwidth 1 GHz dengan gain  $\geq 9$  dB [6]. Selain itu juga telah dilakukan perancangan MIMO 8×8 array menggunakan patch circular dengan patch rectangular dengan slotted-patch untuk akses radio 5G frekuensi 15 GHz [7]. Pada penelitian kali ini akan dilakukan perancangan dan realisasi antenna mikrostrip array patch rectangular MIMO 4×4 dengan square ring slot yang berkerja pada frekuensi 15 GHz untuk pengaplikasian teknologi 5G. Penggunaan antenna dengan square ring slot dikarenakan kebutuhan bandwidth antenna MIMO sangat dibutuhkan karena kapasitas yang dibutuhkan sangat banyak. Dikarenakan bekerja pada frekuensi yang tinggi dan panjang gelombang yang dihasilkan semakin kecil, sinyal akan lebih rentan terhadap terjadinya pemantulan akibat dari gelombang yang merambat melalui objek yang berukuran lebih besar sehingga menimbulkan multipath fading yang tinggi [8]. Untuk itulah, diperlukan sistem antenna MIMO (Multiple Input, Multiple Output) baik di sisi pengirim maupun penerima sebagai solusi menghadapi kemungkinan terjadi pemantulan dan scattering gelombang [8].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Teknologi 5G

Penelitian mengenai sistem komunikasi seluler terus berkembang selayak dengan kebutuhan yang terus meningkat. Salah satu penelitian tersebut membahas mengenai jaringan seluler 5G yang memiliki tujuan yakni membesarkan volume trafik, lebih rendah latency, banyak alat yang terhubung, dll. Pertumbuhan perangkat yang terkoneksi menimbulkan tantangan untuk menambah kapasitas, efisiensi energi, dan penggunaan spektrum yang dapat memberikan skala penggunaan yang lebih baik pada teknologi sistem komunikasi bergerak 5G[1]. Penelitian 5G telah dilakukan pada beberapa frekuensi, yakni 6 GHz, 10 GHz, 15 GHz, 28 GHz, 40 GHz, 60 GHz, hingga 100 GHz. Pada penelitian akses radio 5G frekuensi 15 GHz telah dilakukan di industri Telekomunikasi Ericsson[1]. Penggunaan frekuensi tinggi 15 GHz memiliki karakteristik propagasi yang cukup menantang, seperti redaman tinggi, korelasi kanal tinggi, dan faktor *multipath* yang buruk telah uji coba dengan beberapa penelitian terkait[1]. Untuk mengatasinya diperlukan sistem dinamakan MIMO (Multiple Input, Multiple Output). Dengan sistem MIMO dapat meningkatkan *throughput* pada sistem komunikasi.

## 2.2 Antena

Antena dapat dikatakan sebagai alat yang mampu mengubah arus listrik catuan menjadi gelombang elektromagnetik yang kemudian diradiasikan ke udara, serta mampu berperan sebaliknya sebagai penerima gelombang elektromagnetik untuk kemudian ditransformasi ke arus listrik. Antena memiliki berbagai macam dan bentuk, seperti antena helix, antena YagiUda, antena horn, antena dipole hingga bentuk mikrostrip.

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang mampu bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki ukuran yang kecil dan tipis sehingga cocok diterapkan pada komunikasi nirkabel. Terdapat kelebihan dari antena mikrostrip antara lain, dimensi antena yang relatif kecil, bentuk yang sederhana sehingga mudah dirakit atau dimodifikasi, kemampuan untuk dualband atau multiband serta dapat diintegrasikan pada MIC.

Antena memiliki beberapa parameter yang menjadi parameter penilai peformanya. Terdapat 2 Jenis parameter pada antenna, yaitu parameter dalam dan parameter luar antenna. Parameter dalam merupakan parameter yang diukur sebelum antenna iitu digunakan dan untuk mengukur menggunakan NA (*Network Analyzer*), parameter luar ialah kebalikan daripada parameter dalam yaitu saat antenna setelah digunakan. Pada pengujian parameter luar menggunakan *Spectrum Analyzer* sebagai alat pengukurannya.

Dalam Tugas Akhir ini, yang menjadi focus utama ialah ketika dilakukan pengujian antenna yakni *gain*, pola radiasi, *return loss* dan *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*)

### 2.2.1 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan amplitude tegangan gelombang berdiri (*Standing Wave*) maksimum dengan amplitude tegangan gelombang berdiri minimum. Gelombang yang dipantulkan akan memiliki fasa yang berbeda dengan gelombang datang karena itulah VSWR menjadi pengukuran dasar untuk melihat apakah impedansi antenna telah match dengan impedansi catuan

Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin besar pula ketidaksepadanan impedansi saluran transmisi dengan antenna. Semakin kecil nilai VSWR, maka impedansi saluran telah sesuai dengan impedansi antenna dan gelombang yang dipantulkan semakin kecil. Range nilai VSWR adalah 1 - ∞, Nilai VSWR yang baik untuk sebuah antenna adalah 1, namun diberikan toleransi VSWR sebesar 2. Persamaan VSWR adalah sebagai berikut :

$$VSWR = \frac{V_{max} (1 + |\Gamma|)}{V_{min} (1 - |\Gamma|)} \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Gain

Gain merupakan perbandingan intensitas daya ke arah tertentu dengan intensitas daya yang didapatkan antenna diradiasi secara isotropis. Gain berhubungan erat dengan directivitas, dimana directivitas hanya memperhitungkan keterarahan radiasi antenna sementara gain melihat efisiensi dari antenna

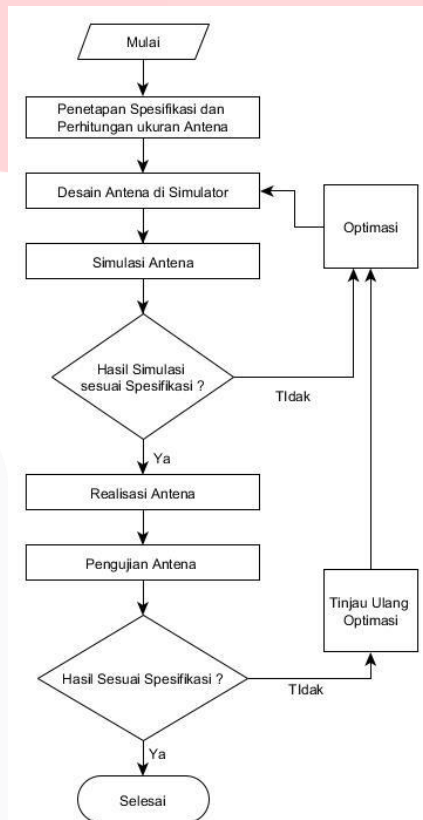
Pola radiasi dengan gain rendah bersifat melebar sehingga energi yang dipancarkan terdistribusi luas secara sectoral (sudut). Sedangkan antenna dengan gain besar memiliki pola lancer yang sempit, energy dipancarkan tidak melebar, tetapi pada arah pancaran utamanya, energy dapat menjangkau tempat yang lebih jauh.

$$Gain = 4 \pi \frac{I_r}{P_{in}} \quad (2.2)$$

### 2.2.3 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah suatu pernyataan grafis yang menggambarkan sifat radiasi antenna. Pola radiasi antenna dapat diklarifikasi menjadi beberapa seperti pada Gambar 2.2, yaitu isotropis, directional. Dan omnidirectional. Pola isotropis adalah pola radiasi yang arah radiasinya ke segala arah (elevasi dan azimuth) secara merata. Pola omnidirectional adalah pola radiasi yang arah radiasinya keseluruhan azimuth secara merata namun berbeda – beda di tiap elevasinya. Sedangkan directional merupakan pola radiasi yang mengarah hanya ke satu atau lebih arah azimuth atau elevasinya

## 3. Perancangan dan Simulasi Antena



### 3.1 Diagram Alir Perancangan

Perancangan antenna dimulai dengan menentukan bentuk antenna yang dirancang serta spesifikasi yang ingin dicapai. Setelah bentuk antenna telah ditetapkan, dilakukan studi literatur untuk menentukan persamaan yang akan digunakan untuk menghitung ukuran-ukuran antenna, mulai dari ukuran *groundplane*, *substrat* hingga *patch* maupun slot dari antenna. antenna disusun dalam 4 elemen untuk kemudian diuji parameter parameter MIMO seperti koefisien isolasi. VSWR yang akan dicapai adalah kurang dari 2, sementara *return loss* yang diinginkan kurang dari -10 dB. *Bandwidth* kerja antenna dapat ditinjau dari salah satu parameter tersebut, dimana dari 14,4 GHz hingga 15,4 GHz nilai VSWR seharusnya di bawah 2 sementara di *frekuensi* lain VSWR tinggi [1]. Antenna yang direalisasikan diuji kembali dengan *Network Analyzer* untuk mengukur parameter-parameter dalam seperti *bandwidth*, *return loss* dan VSWR, sementara *spectrum analyzer* menguji parameter luar seperti pola radiasi dan gain.

Hasil pengujian di tahap realisasi kemudian dibandingkan dengan simulasi pada HFSS. Hasil perbandingan dan pengujian akhir kemudian dianalisis dan diambil kesimpulan.

### 3.1 Perhitungan Dimensi Antena

Dimensi antena mikrostrip dapat dihitung berdasarkan frekuensi kerjanya, jenis *substrat* serta ketebalan *substratnya*. Pada perancangan antena mikrostrip, ditentukan terlebih dahulu ukuran dari *patch* dan saluran catuannya, lalu kemudian dilakukan perhitungan ukuran *substrat* dan *groundplane*. Setelah dihitung, ukuran dari masing-masing bagian dipetakan ke simulasi *software*. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijabarkan sebelumnya.

#### 1. Dimensi Patch Antena

Pada tugas akhir ini menggunakan patch segienam. Patch segienam merupakan patch modifikasi dari bentuk patch circular yang dipotong menjadi enam segmen. Dalam menghitung radius dari patch sirkular dapat menggunakan persamaan.

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) \right] + 1.7726 \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$a_e = \left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) \right] + 1.7726 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$f_r$  = frekuensi resonansi =  $15 \times 10^9$  Hz

$\epsilon_r$  = nilai epsilon bahan substrat = 2.2

h = tinggi substrat = 1.57 mm

$a_e$  = jari – jari efektif

Dengan Persamaan diatas dan nilai-nilai variabel yang diketahui, maka didapatkan hasil  $a_e = 3.58$  mm.

#### 2. Dimensi Catuan Antena

Dalam tugas akhir ini dipilih pencatuan microstrip line. Tipe catuan ini dipilih untuk mendapatkan bandwidth yang lebar karena menghasilkan radiasi baik dengan kontak langsung maupun tidak langsung ( ). Untuk menghitung lebar dan panjang feeder antenna digunakan persamaan

$$B = \frac{60\pi^2}{50 \times \sqrt{2.2}} = 7.9768$$

Hasil perhitungan menggunakan persamaan kemudia disubstitusikan ke persamaan

$$wf = \frac{2 \times 1.575}{\pi} \left\{ 7.9768 - 1 - \ln(2 \times 7.9768 - 1) + \frac{2.2-1}{2 \times 2.2} \left[ \ln(7.9768 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{22} \right] \right\}$$

$$wf = 4.8323 \text{ mm}$$

Untuk menghitung panjang feeder dibutuhkan hasil konstanta dielektrik efektif yang didapat dari persamaan serta panjang gelombang antenna menggunakan persamaan, perhitungan panjang feeder melalui persamaan

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{15 \times 10^9} = 0,02m$$

$$\lambda_d = \frac{20}{\sqrt{2,2}} = 13,4839$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{2.2 + 1}{2} + \frac{2.2 - 1}{2} \left( \frac{1 + 12 (1.575)}{7.91 \times 10^3} \right)^{-\frac{1}{2}} = 1,61$$

$$Lf = \frac{1}{4} \times 13,4839 = 3.371mm$$

### 3. Dimensi Substrat dan Groundplane

Lebar dan panjang dari substrat antenna sama dengan lebar dan panjang groundplane sehingga menggunakan perhitungan yang sama, yakni dari persamaan

$$Lg = 6 \times 1,575 + 5,6835 = 15,1036mm$$

$$Wg = 6 + 1,575 + 7,9587 = 17,478mm$$

### 3.2 Spesifikasi Perancangan

**Tabel 3.1 Spesifikasi Antena**

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Frekuensi Kerja        | 15 Ghz         |
| <i>Bandwidth</i>       | 1000 MHz       |
| Impedansi              | 50 $\Omega$    |
| <i>Gain</i>            | $\geq 9$ dB    |
| VSWR                   | $\leq 1.5$     |
| <i>Return Loss</i>     | $\leq -15$ dB  |
| Polarisasi             | Linier         |
| Pola Radiasi           | Unidireksional |
| <i>Mutual Coupling</i> | $\leq -20$ dB  |

### 3.3 Desain Antena Dengan 4 Elemen dengan square ring slot

Untuk meningkatkan *bandwidth* antenna, dapat digunakan metode pemberian slot pada patch antenna, dimana pada tugas akhir ini digunakan slot berbentuk square ring, untuk menentukan ukuran slot tersebut dapat digunakan persamaan setelah didapatkan ukuran dari masing – masing variabel slot, variabel diterapkan pada simulasi sehingga terbentuk antenna *array* pada gambar

$$F = \frac{0,020134}{60} = 0,3357mm$$

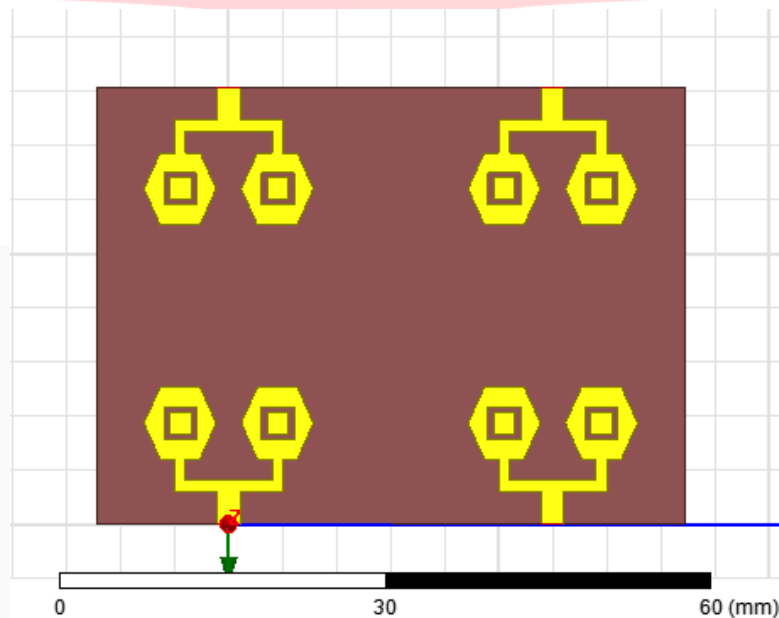
$$\frac{c}{7,96} \geq 0,3 \approx 2,387mm$$

$$D = \frac{3 \times 10^8}{14,4 \times 10^9 \sqrt{1,927}} - 295,683 + 2 \times 0,0007 - 0,3557 = 1,1747 mm$$

**Tabel 3.6 Dimensi Antena 4 Elemen**

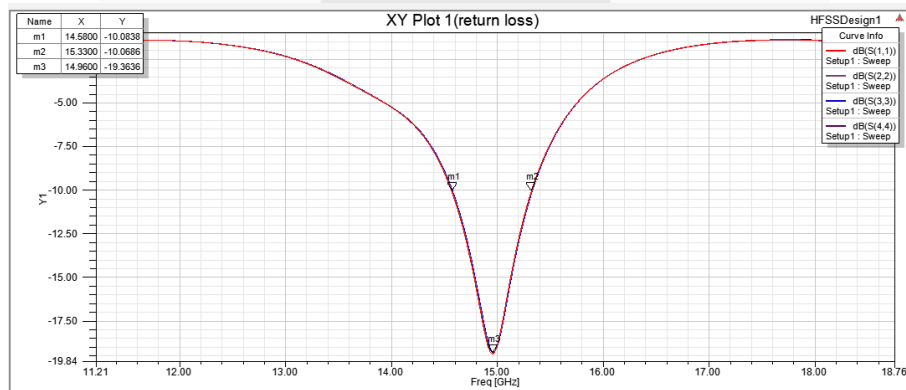
| Parameter | Dimensi(mm) | Keterangan             |
|-----------|-------------|------------------------|
| R         | 4           | Jari – jari patch      |
| Wf1       | 7.15        | Lebar feed 50 $\Omega$ |

|           |       |                            |
|-----------|-------|----------------------------|
| Lf1       | 8.75  | Panjang feed 50Ω           |
| Wf2       | 1.3   | Lebar feed 100Ω            |
| Lf2       | 2.5   | Panjang feed 100Ω          |
| Wjunction | 10.15 | Lebar T-junction           |
| Lg        | 16    | Panjang groundplane        |
| Wg        | 16    | Lebar groundplane          |
| S         | 10.06 | Jarak antar elemen antenna |
| F         | 0,35  | Lebar Slot                 |
| C         | 3     | Panjang Slot Vertikal      |
| D         | 1,17  | Panjang Slot Horizontal    |



Gambar 3.16 Desain Antena 4x4 dengan square ring slot

Berdasarkan hasil simulasi, dapat diketahui seperti pada gambar 3.16 nilai return loss minimum berada pada frekuensi 14,96GHz dengan nilai -19.325dB. Pada frekuensi tengah 15GHz nilai return loss sebesar -8.524dB. Sedangkan pada frekuensi bawah 14.8GHz sebesar -7.025 dB dan pada frekuensi atas 15.3GHz sebesar -11.529dB



Gambar 3.17 Return loss Antena 4x4 dengan square ring slot

**Daftar Pustaka:**

- [1] Tateishi, Kiichi et al, "Field Field Experiments on 5G Radio Access Using 15-GHz Band in Outdoor Small Cell Environment", IEEE PIMRC, vol. 26, hal 851-855, 2015.
- [2] Cheng, Wei-Chung, et al, "15G Hz Propagation Channel Measurement at a University Campus for the 5G Spectrum", Microwave Conference (APMIC), Dec. 2015.
- [3] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Roll, H. Mural and et al, "Experimental evaluation on 5G radio access employing multi-user MIMO at 15 GHz band," in 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, July 2017.
- [4] K. J. Sinaga, Perancangan dan Realisasi Antena MIMO 4x4 Array Rectangular Patch Dengan U-Slot Untuk Aplikasi 15 GHz, Bandung: Telkom University, 2017.
- [5] Kiclb, John A. et al. Application of A 15 GHz FMCW Radar For Industrial Control And Process Level Measurement. 1 999. Roscmount Inc, USA.
- [6] Kurowa, K. "Power Wave and Scattering Matrix". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques vol. 13, hal 194-202, Jan. 2013.
- [7] Ramachandran, Anitha, Sarin V Pushpakaran, Mohanan Pezholil, Vasudevan Kesavath "Four Port MIMO Antenna using Concentric Square Ring Patches Loaded with CSRR for High Isolation", IEEE, vol. 15, hal 1196 — 1199, 2015
- [8] Roy, Atser A, Joseph M Mom, Gabriel A Igwue, "Enchancing the Bandwidth of a Microstrip Patch Antenna using Slots Shaped Patch", American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. 02, 2013
- [9] Kevin Sinaga, Levy Olivia, dan Budi Syihabuddin. Perancangan Antena Array 1\2 Rectangular Patch dengan U-Slot Untuk Aplikasi 5G. SENIATI, 2016.
- [10] Kevin Sinaga, Levy Olivia, dan Budi Syihabuddin. Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot Untuk Aplikasi 5G. JNTET1, 2016.
- [11] Aji, Alvian Raharjo. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Array Berbentuk Patch Segienam Untuk Mimo 4x4 Pada Frekuensi 15 GHz" Bandung: Universitas Telkom, 2018.
- [12] F. K. Hadist, Antena Mikrostrip MIMO 4X4 Bowtie 2,4 GHz, Bandung: Universitas Telkom, 2017.
- [13] R. Santoso, PERANCANGAN DAN ANALISIS ANTENA MASSIVE MIMO MIKROSTRIP DENGAN PENCATUAN PROXIMITY FEED BERPOLARISASI CROSS LINIER UNTUK KOMUNIKASI 5G (28 GHz), Bandung: Universitas Telkom, 2017.
- [14] Arsyad, Muhammad. Desain dan Analisis Efek Slotted-Patch pada Antena Mikrostrip MIMO 4x4 dan 8x8 untuk Meningkatkan Bandwidth pada Frekuensi Kerja 28 GHz