

Perancangan Antena MIMO 2x2 dengan Penambahan Struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) pada Frekuensi 2.1 GHz

1st Amalia Azizah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

amaliaaaa@student.telkomuniversity.ac
.id

2nd Levy Olivia Nur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Harfan Hian Ryanu
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

harfanhr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Teknologi seluler harus terus diperbaharui untuk menyediakan kecepatan internet yang lebih baik. Terdapat metode untuk memberikan peningkatan laju data dan kapasitas saluran yaitu antena MIMO. Pada penelitian ini, akan dilakukan perancangan antena MIMO 2x2 yang terdiri dari dua buah antena pemancar dan dua buah antena penerima. Perancangan antena MIMO 2x2 dengan penambahan struktur EBG ini bertujuan untuk mengurangi nilai *mutual coupling*. Struktur EBG yang digunakan yaitu jenis *mushroom-like*. Antena MIMO akan dirancang dengan frekuensi kerja 2.1 GHz. Antena yang dirancang akan dioptimasi hingga mencapai spesifikasi yang ditentukan dan selanjutnya akan dilakukan fabrikasi dan pengukuran parameter di Laboratorium Antena Telkom University. Penambahan struktur EBG ini berhasil mengurangi nilai *mutual coupling* sebesar 0,36 dB. Selain itu dengan struktur EBG dapat menaikkan performansi antena diantaranya menurunkan nilai *return loss*, dan mendapatkan nilai VSWR yang sesuai.

Kata kunci— Antena MIMO, EBG, *mutual coupling*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi semakin hari semakin pesat sehingga kecepatan akses internet juga harus terus ditingkatkan. Untuk dapat memenuhi hal tersebut, teknologi seluler harus terus diperbaharui untuk menyediakan kecepatan internet yang lebih baik. Oleh karena itu, teknologi terus dikembangkan dari 2G, 3G, 3.5G, hingga teknologi seluler yang terbaru yaitu 4G LTE. Teknologi LTE adalah pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Sistem*) untuk layanan data seluler berkecepatan tinggi yang dikembangkan oleh 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). Kecepatan transfer data pada jaringan LTE mencapai 100 Mbps pada *downlink* dan 50 Mbps pada *uplink*. Terdapat metode untuk memberikan peningkatan laju data dan kapasitas saluran yaitu antena MIMO [1].

Pada penyusunan tugas akhir ini, akan dilakukan perancangan antena MIMO 2x2 pada frekuensi 2.1 GHz yang terdiri dari dua buah antena pemancar dan dua buah antena penerima. Dalam perancangan antena MIMO, antena satu dengan antena lainnya bisa saja menginterferensi satu sama lain dikarenakan adanya efek *mutual coupling*. *Mutual coupling* diartikan sebagai bagian dari energi yang datang pada suatu atau kedua elemen

antena yang dapat disebarkan kembali pada arah yang berbeda. Dalam sistem antena MIMO, sinyal yang ditransmisikan oleh beberapa elemen antena seharusnya independen atau tidak berkorelasi, namun arus induksi pada suatu antena menghasilkan tegangan tertentu pada antena yang menyebabkan penurunan kinerja dari antena itu sendiri sehingga diperlukan nilai *mutual coupling* yang rendah. Karena efek dari *mutual coupling* dapat mempengaruhi kinerja dari sistem MIMO, oleh karena itu diperlukan teknik untuk mengatur *mutual coupling* dengan cara mengatur jarak antar antena atau dengan menambahkan struktur tambahan seperti *Electromagnetic Band Gap* (EBG) [2].

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan antena MIMO 2x2 pada frekuensi kerja 2.1 GHz dengan penambahan struktur EBG serta menganalisa penurunan nilai *mutual coupling* dengan adanya penambahan EBG.

II. KAJIAN TEORI

A. 4G (*fourth generation technology*)

4G adalah generasi ke empat layanan telekomunikasi. Dibanding pendahulunya, 4G memungkinkan pengguna dapat menerima data, suara, maupun multimedia kapan saja dan di mana saja. Selain 4G ada juga teknologi dengan nama 3GPP *Long Term Evolution* (LTE) atau biasa juga disebut 4G LTE. 4G LTE merupakan sebuah layanan telekomunikasi dengan kualitas tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA. Pada jaringan LTE terdapat frekuensi kerja yang berbeda-beda, seperti 700 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 2600 MHz. Dalam perancangan antena ini akan menggunakan frekuensi kerja 2.1 GHz.[1]

B. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah antena yang memiliki dimensi kecil yang desainnya sederhana dan biaya fabrikasi yang rendah. Antena mikrostrip terdiri dari komponen *patch*, *substrate*, *feedline* dan *groundplane*. *Patch* dari mikrostrip antena terbuat dari bahan logam dengan ketebalan tertentu yang dicetak diatas media dielektrik (*substrate*) yang berfungsi sebagai pemancar. *Substrate* berfungsi untuk menyalurkan gelombang elektromagnetik dari *patch* pada antena. *Groundplane* atau bagian bawah antena mikrostrip berfungsi sebagai pemantul gelombang

elektromagnetik ke udara bebas. Parameter dimensi antenna didapatkan dari perhitungan rumus dasar mikrostrip antenna [3].

C. Parameter Antena Mikrostrip

Dalam proses perancangan antenna mikrostrip, diperlukan parameter yang menjadi acuan agar antenna mikrostrip dapat memiliki performa yang baik. Adapun parameter antenna mikrostrip yaitu, sebagai berikut:

1. Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita kanal adalah rentang frekuensi yang berfungsi untuk memastikan antenna dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang ditentukan. Bandwidth dapat dihitung dari frekuensi atas (f_h) dikurangi dengan frekuensi bawah (f_l).

2. Returnloss

Return loss adalah perbandingan amplitudo gelombang yang dipancarkan terhadap amplitudo gelombang yang dipantulkan. Nilai *return loss* yang baik adalah $\leq -10\text{dB}$.

3. VSWR

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya gelombang yang memantul disebabkan tidak matching nya impedansi input antenna dengan saluran feeder.

4. Pola Radiasi

Pola radiasi adalah variasi daya dari radiasi antenna sebagai fungsi arah. Pola radiasi digambarkan dalam bentuk dua dimensi untuk azimuth dan sudut elevasi yang berbeda (polar dan rectangular).

5. Polarisasi

Polarisasi antenna adalah arah vector medan listrik yang diradiasikan oleh antenna yang bersifat *time-varying*. Polarisasi terbagi menjadi polarisasi elips, sirkuler dan linier.

6. Gain

Gain adalah jumlah energi yang diradiasikan antenna ke udara. Gain merupakan penguatan antenna terhadap sinyal yang diterima maupun sinyal yang dipancarkan

D. Antena MIMO

MIMO adalah singkatan dari *Multiple-Input Multiple-Output* yang memiliki arti antenna MIMO menggunakan lebih dari satu antenna transmisi (Tx) untuk mengirim sinyal dengan frekuensi yang sama kepada lebih dari satu antenna penerima (Rx). MIMO berperan penting untuk jaringan LTE untuk meningkatkan kecepatan transfer data dan kapasitas sistem [4].

E. Mutual Coupling

Dalam merancang sebuah antenna MIMO terdapat sedikit kesulitan yaitu harus mencari nilai *mutual coupling* yang kecil. *Mutual coupling* dapat terjadi ketika ada lebih dari satu antenna yang diletakkan secara berdekatan [5]. Efek dari *mutual coupling* berpengaruh pada performa antenna MIMO, maka dari itu diperlukan sebuah cara untuk mengurangi nilai *mutual coupling* salah satunya dengan cara mengatur jarak antar antenna atau dengan penambahan struktur seperti *Electromagnetic Band Gap* (EBG). Nilai *mutual coupling* yang baik diharapkan bernilai $\leq -20\text{dB}$. [5]

F. Electromagnetic Band Gap (EBG)

Electromagnetic Band Gap (EBG) adalah suatu inovasi dalam bentuk struktur dari metamaterial yang berfungsi dalam sistem komunikasi RF dan gelombang mikro yang memiliki karakteristik berupa celah pita yang unik dalam rentang frekuensi tertentu. Struktur EBG yang digunakan adalah jenis *Mushroom-like* yang memiliki lubang tembaga (via) ditengahnya yang berfungsi sebagai impedansi [6].

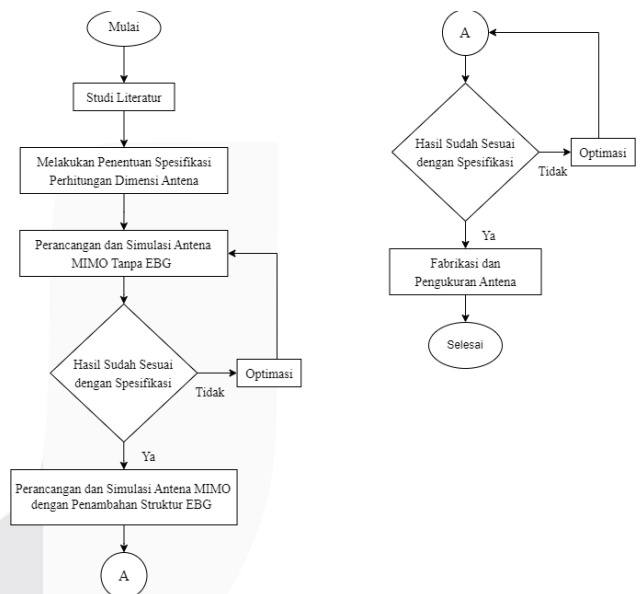
G. Teknik Pencatutan

Antena MIMO ini menggunakan teknik pencatutan *direct feed* atau *microstrip line* yaitu dilakukan pencatutan dengan cara menghubungkan *patch* dengan *port* dan konektor yang kemudian dihubungkan dengan kabel *coaxial*. Teknik pencatutan ini menjadi pilihan karena metodenya yang cukup mudah dan umum.

III. METODE

A. Diagram Alir Perancangan

Berikut merupakan metode perancangan antenna yang tertera pada gambar 1 dalam bentuk diagram alir.



GAMBAR 1 Diagram Alir

B. Desain dan Spesifikasi Antena

TABEL 1 Spesifikasi Antena

Parameter	Nilai
Frekuensi	2.1 GHz
VSWR	1 – 2
Return Loss	$\leq -10\text{ dB}$
Mutual Coupling	$\leq -20\text{ dB}$
Bandwidth	$\geq 5\text{ MHz}$
Gain	$\geq 1\text{ dBi}$
Bahan Substrat	FR-4
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4.3
Ketebalan substrat (h)	1.6 mm
Ketebalan Patch (t)	0.035 mm
Bahan Patch	Copper

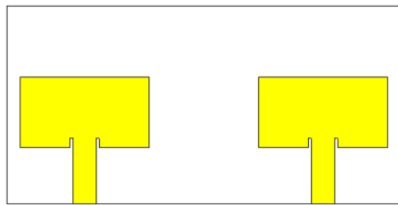
Pada perancangan antenna ini akan menggunakan bahan FR-4 untuk bagian substrat. Kemudian bahan untuk *groundplane*, *feedline* dan *patch* yang digunakan adalah tembaga atau copper.

C. Perancangan Antena

Berikut ini adalah hasil perhitungan awal antenna.

TABEL 2
Hasil Perhitungan Dimensi Awal Antena

Parameter Antena	Variabel	Nilai
Lebar <i>patch</i>	Wp	43.8782 mm
Panjang <i>patch</i>	Lp	23.74718 mm
Lebar <i>ground plane</i>	Wg	53.4782 mm
Panjang <i>ground plane</i>	Lg	33.34718 mm
Lebar <i>feeder</i>	Wf	7.93587 mm
Panjang <i>feeder</i>	Lf	18.975775 mm
Panjang gelombang	λ	142.85714
Ketebalan <i>patch</i>	t	0.035 mm
Ketebalan substrat	h	1.6 mm

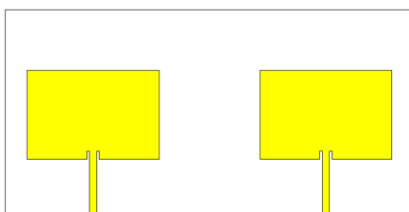


GAMBAR 2
Antena Dimensi Awal

Dari hasil perhitungan awal antenna pada tabel 1 didapatkan bentuk antenna MIMO seperti diatas. Hasil dari simulasi desain awal ini belum mencapai spesifikasi yang diinginkan. Oleh karena itu antenna selanjutnya dioptimasi hingga optimal untuk mendapatkan spesifikasi yang diharapkan. Berikut ini adalah parameter hasil optimasi antenna.

TABEL 3.
Hasil Optimasi

Parameter Antena	Variabel	Nilai
Lebar <i>patch</i>	Wp	48.5 mm
Panjang <i>patch</i>	Lp	32.5 mm
Lebar <i>ground plane</i>	Wg	150 mm
Panjang <i>ground plane</i>	Lg	74.5 mm
Lebar <i>feeder</i>	Wf	2.59 mm
Panjang <i>feeder</i>	Lf	19.90 mm
Panjang gelombang	λ	130
Ketebalan <i>patch</i>	t	0.035 mm
Ketebalan substrat	h	1.6 mm



GAMBAR 3

Antena Dimensi Detelah Optimasi

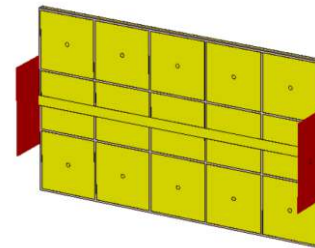
Setelah dilakukan optimasi, maka desain antenna berbentuk seperti pada gambar 3. Pada proses optimasi, dimensi yang diubah adalah dimensi *groundplane*, *patch*,

λ dan *feedline*. Dengan dimensi tersebut antenna telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Setelah dilakukan optimasi dan didapatkan antenna MIMO yang optimal, maka selanjutnya yaitu percobaan dengan menambah struktur EBG diantara dua antenna. Hal ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh EBG terhadap nilai *mutual coupling* antenna. Sebelum dilakukan penambahan struktur EBG pada antenna MIMO, EBG akan dirancang terlebih dahulu pada antenna *suspended stripline*. *Suspended Stripline* merupakan metode validasi untuk memastikan kinerja dari unitcell EBG dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Perancangan *suspended line* dilakukan dengan cara membuat beberapa unitcell EBG yang disusun berdampingan. Lalu di atas unitcell EBG diletakkan *feedline* atau tembaga yang membentang sepanjang barisan unitcell EBG [7]. Pada perancangan *suspended line* ini diharapkan gelombang elektromagnetik yang mengalir sepanjang kawat/tembaga akan diredam oleh unitcell EBG pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2.1 GHz.

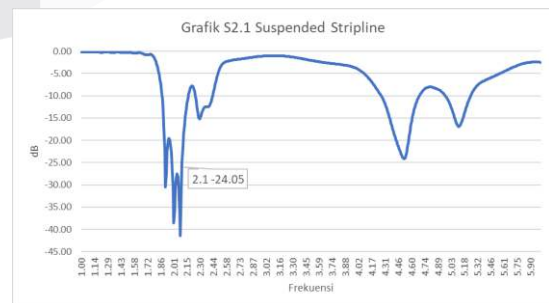
TABEL 4
Ukuran Unit Cell EBG

Dimensi	Ukuran
EBG	18 mm
Gap EBG	0.5 mm
Via	0.5 mm



GAMBAR 4
Antena *Suspended Stripline*

Adapun struktur EBG yang digunakan yaitu EBG jenis *Mushroom-like*. Setelah dilakukan perancangan dan simulasi, maka selanjutnya akan dilihat apakah parameter sudah sesuai atau belum. Jika belum sesuai, maka akan dilakukan optimasi dengan cara memodifikasi jumlah EBG, dimensi EBG dan jarak antar EBG. Kinerja dari *unit cell* EBG dapat diamati dari grafik S 2.1. Berikut adalah hasil simulasi *suspended stripline*.

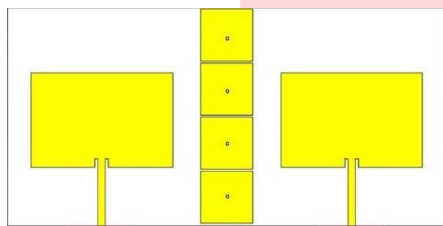


GAMBAR 5
Grafik S2.1 *Suspended Stripline*

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa pada frekuensi 2.1 GHz, terjadi penurunan mencapai sebesar -

24.05 dB. Hal ini menunjukkan bahwa perancangan *suspended line* berhasil meredam gelombang elektromagnetik pada frekuensi yang diinginkan. Selanjutnya yaitu mengintegrasikan hasil perancangan *unit cell* EBG pada antenna MIMO yang telah dirancang.

Antena dengan penambahan struktur EBG ini dirancang mengikuti parameter atau dimensi *unit cell* yang dirancang sebelumnya yaitu setiap *unit cell* memiliki ukuran 18 mm dan jarak antar *unit cell* yaitu sebesar 0.5 mm. Penambahan struktur EBG juga disesuaikan dengan dimensi lebar *groundplane* dari antenna MIMO yaitu 74.5 mm. Oleh karena itu, jumlah EBG sebanyak 4 *unit cell* adalah yang paling proporsional. Berikut ini adalah desain dari perancangan antenna dengan penambahan struktur EBG *unit cell* 1x4.



GAMBAR 6
Antena dengan Struktur EBG

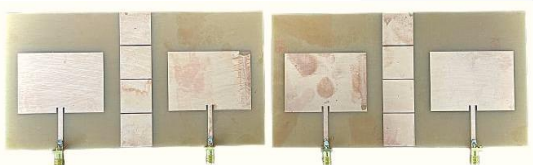
Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa antenna sudah mencapai spesifikasi yang diinginkan. Adapun hasil *mutual coupling* setelah dilakukan penambahan struktur EBG didapatkan penurunan dari -29.22 menjadi -29.58.

Tabel 5 Perbandingan Parameter Antena tanpa EBG dan dengan EBG

Parameter	Tanpa EBG	Dengan EBG
<i>Return Loss</i>	-16.23 dB	-19.23 dB
<i>Mutual Coupling</i>	-29.22	-29.58 dB
VSWR	1.36	1.24

D. Realisasi Antena

Hasil desain akhir antenna selanjutnya akan difabrikasi. Antena difabrikasi dengan bahan copper dan FR-4 dengan dimensi 150 mm x 74.5 mm yang terdiri dari dua buah antenna, dua buah port kanan dan kiri serta terdapat struktur EBG diantara keduanya seperti pada gambar di bawah ini.



GAMBAR 7
Antena Tampak Depan



GAMBA 8
Antena Tampak Belakang

Antena yang telah difabrikasi akan dilakukan pengukuran nilai parameter terlebih dahulu. Dibutuhkan

beberapa alat ukur untuk mendapatkan hasil pengukuran antenna. Alat ukur antenna yang digunakan sebagai berikut.

1. Vector Network Analyzer

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur nilai *Return Loss* dan VSWR pada sebuah antenna

2. Konektor dan Kabel Coaxial

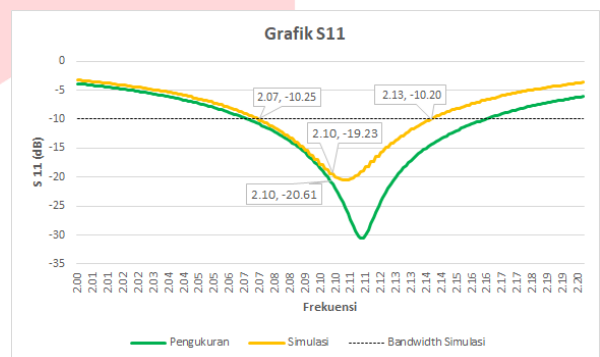
Konektor dan kabel coaxial jenis N to N dan N to SMA yang digunakan berfungsi sebagai penghubung antenna yang akan diukur dengan perangkat VNA.

3. Antena Horn

Antena Horn digunakan sebagai antenna acuan untuk pengukuran pola radiasi, gain, dan polarisasi.

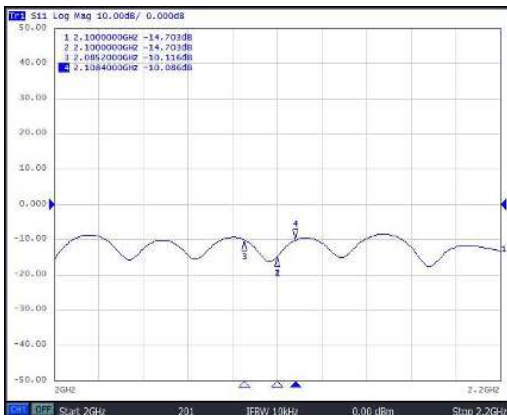
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Return Loss* dan VSWR Port Kiri

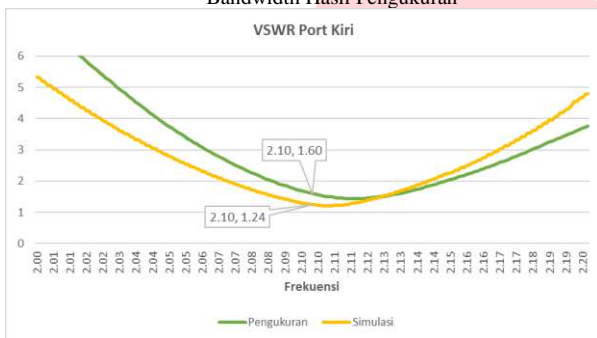


GAMBAR 9
Perbandingan *Return Loss* port kiri

Dapat dilihat pada Gambar 8, hasil dari pengukuran antenna port kiri didapatkan nilai S11 pada frekuensi 2.1 GHz sebesar -20.61 dB, sedangkan nilai pada hasil simulasi didapatkan sebesar -19.23 dB. Nilai S11 telah memenuhi parameter *return loss* yang ditetapkan yaitu ≤ -10 dB. Pada grafik S11 juga dapat diketahui nilai bandwidth dengan cara mengurangi frekuensi atas dan frekuensi bawah yang terdapat pada grafik. Batas nilai yang digunakan untuk mencari bandwidth yaitu ≤ -10 dB. Bandwidth hasil simulasi yaitu sebesar 60 MHz. Sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan nilai bandwidth sebesar 20 MHz. Dari hasil pengukuran dan simulasi dapat disimpulkan bahwa antenna mampu bekerja sesuai dengan karakteristik bandwidth 4G yang dibutuhkan yaitu minimal 5MHz.



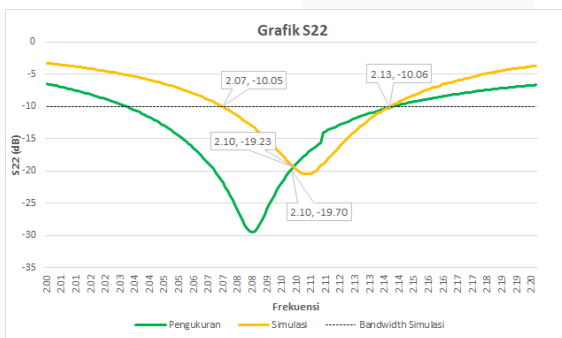
GAMBAR 10
Bandwidth Hasil Pengukuran



GAMBAR 11
Perbandingan VSWR Port Kiri

Dapat dilihat pada Gambar 10, hasil dari pengukuran antenna port kiri didapatkan nilai VSWR sebesar 1.60, sedangkan nilai VSWR pada hasil simulasi didapatkan sebesar 1.24. Nilai VSWR telah memenuhi parameter yang ditetapkan yaitu sebesar 1-2.

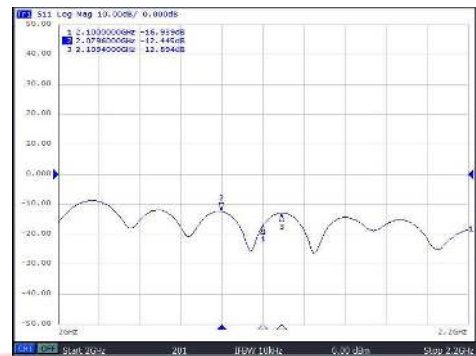
B. Return Loss dan VSWR Port Kanan



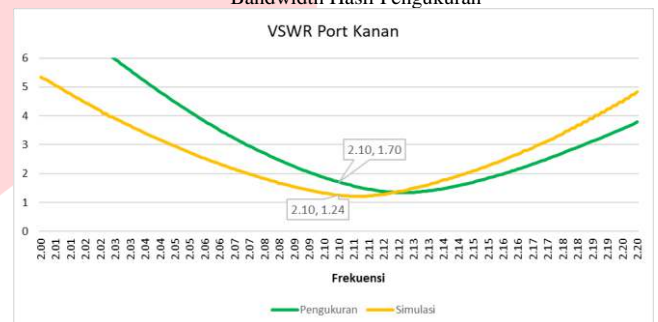
GAMBAR 12
Perbandingan Return Loss Port Kanan

Dapat dilihat pada Gambar 11, hasil dari pengukuran antenna port kanan didapatkan nilai S22 pada frekuensi 2.1 GHz sebesar -19.70 dB, sedangkan nilai pada hasil simulasi didapatkan sebesar -19.23 dB. Nilai S22 telah memenuhi parameter *return loss* yang ditetapkan yaitu ≤ -10 dB. Pada grafik S22 juga dapat diketahui nilai bandwidth dengan cara mengurangi frekuensi atas dan frekuensi bawah yang terdapat pada grafik. Batas nilai yang digunakan untuk mencari bandwidth yaitu ≤ -10 dB. Bandwidth hasil simulasi yaitu sebesar 60 MHz. Sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan nilai bandwidth sebesar 30 MHz.

Dari hasil pengukuran dan simulasi dapat disimpulkan bahwa antenna mampu bekerja sesuai dengan karakteristik bandwidth 4G yang dibutuhkan yaitu minimal 5 MHz.



GAMBAR 13
Bandwidth Hasil Pengukuran

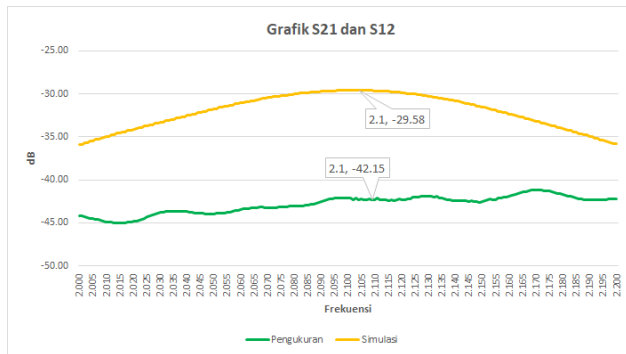


GAMBAR 14
Perbandingan VSWR Port Kanan

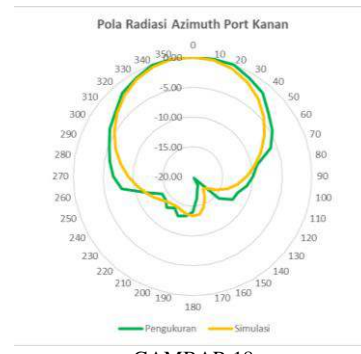
Dapat dilihat pada Gambar 13, hasil dari pengukuran antenna port kanan didapatkan nilai VSWR sebesar 1.70, sedangkan nilai VSWR pada hasil simulasi didapatkan sebesar 1.24. Nilai VSWR telah memenuhi parameter yang ditetapkan yaitu 1-2.

C. Hasil Pengukuran Mutual Coupling

Besarnya nilai *mutual coupling* dipengaruhi oleh jarak antar elemen antenna. Pada antenna dengan penambahan EBG ini diatur jarak antar antenna yaitu sebesar 42.75 mm. Nilai *mutual coupling* diambil dari S21 dan S12. Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa pada hasil simulasi antenna didapatkan nilai S21 dan S12 yang sama dari port kiri dan kanan yaitu sebesar -29.58 dB pada frekuensi 2.1 GHz dan pada hasil pengukuran antenna didapatkan nilai S21 dan S12 yang sama dari port kiri dan kanan yaitu sebesar -42.15 dB pada frekuensi 2.1 GHz. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *mutual coupling* yang lebih baik karena terjadi penurunan sebesar 12.57 dB. Hasil yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan



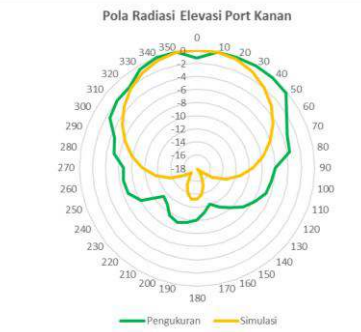
GAMBAR 15
Grafik *Mutual Coupling*



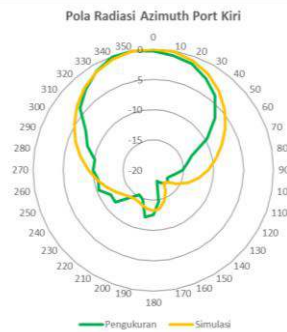
GAMBAR 18
Perbandingan Pola Radiasi Azimuth Port Kanan

D. Hasil Pengukuran Pola Radiasi

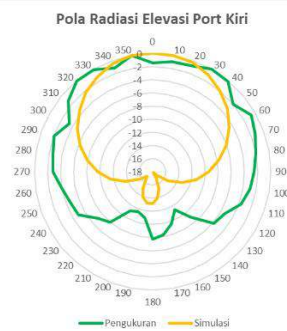
Dapat dilihat pada Gambar 3.5, Gambar 3.7, Gambar 3.6 dan Gambar 3.8 bahwa hasil pengukuran dan simulasi pada sudut *azimuth* dan elevasi di frekuensi 2.1 GHz memiliki pola radiasi yang sama yaitu pola radiasi *unidirectional*. Terdapat sedikit perbedaan bentuk pola pada grafik hasil pengukuran dan simulasi. Hal ini bisa terjadi dikarenakan pada proses pengukuran, data diambil setiap 10° yang menyebabkan bentuk yang kurang simetris dibandingkan dari simulasi. Anomali pada grafik pengukuran juga bisa terjadi karena fluktuasi daya yang kurang baik pada lingkungan yang tidak relevan karena proses pengukuran antenna dilakukan pada Laboratorium Antena bukan di Chamber.



GAMBAR 19
Perbandingan Pola Radiasi Elevasi Port Kanan



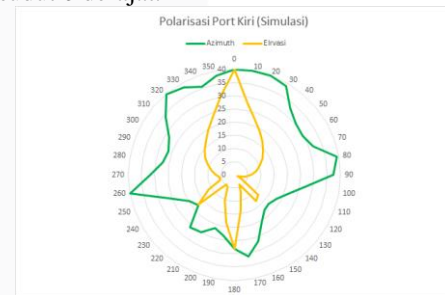
GAMBAR 16
Perbandingan Pola Radiasi Azimuth Port Kiri



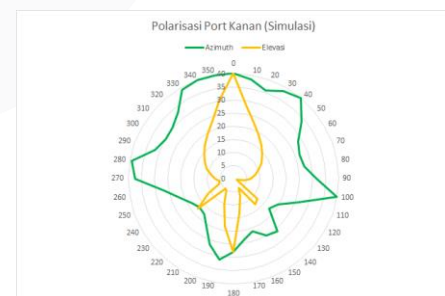
GAMBAR 17
Perbandingan Pola Radiasi Elevasi Port Kiri

E. Hasil Pengukuran Polarisisasi

Pada hasil simulasi, polarisasi yang terbentuk adalah linear karena memiliki nilai *Axial Ratio* sebesar 40 dB pada sudut 0 derajat.

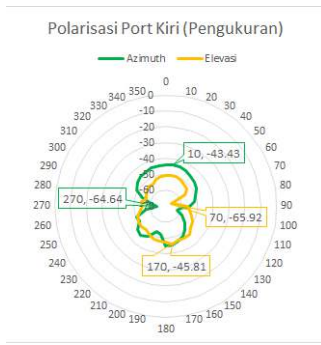


GAMBAR 20
Perbandingan Polarisisasi Azimuth dan Elevasi Port Kiri

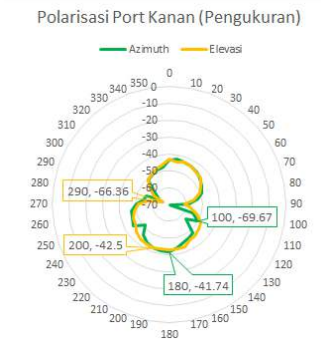


GAMBAR 21
Perbandingan Polarisisasi Azimuth dan Elevasi Port Kanan

Setelah melakukan proses pengukuran, maka akan didapatkan grafik yang didalamnya terdapat nilai daya terima maksimum (sumbu mayor) dan nilai daya terima minimum (sumbu minor). Berikut ini adalah grafik polarisasi pengukuran.



GAMBAR 22 Perbandingan Polarisasi Pengukuran



GAMBAR 23 Perbandingan Polarisasi Pengukuran

Cara menentukan nilai *axial ratio* yaitu dengan menentukan nilai *major* (daya terima maksimum) dan *minor* (daya terima minimum) pada data hasil pengukuran. Sebelumnya, nilai *major* dan *minor* diubah terlebih dahulu dari dB menjadi Watt. Nilai tersebut akan digunakan dalam perhitungan nilai *axial ratio* untuk mengetahui polarisasi yang terbentuk pada antenna saat pengukuran. Setelah itu dapat dihitung menggunakan persamaan *axial ratio* seperti di bawah ini.

1. Polarisasi Sudut Azimuth Port Kiri

$$\begin{aligned} \text{Axial Ratio} &= \sqrt{\frac{P \text{ watt major } \times 377}{P \text{ watt minor } \times 377}} \\ &= \sqrt{\frac{4.54 \times 10^{-8} \times 377}{3.44 \times 10^{-10} \times 377}} = 11.44 = 10.60 \text{ dB} \\ 3 \text{ dB} \leq |AR| < 40 \text{ dB} &\rightarrow 3 \text{ dB} \leq 10.60 < 40 \text{ dB} = \text{Elips} \end{aligned}$$

2. Polarisasi Sudut Elevasi Port Kiri

$$\begin{aligned} \text{Axial Ratio} &= \sqrt{\frac{P \text{ watt major } \times 377}{P \text{ watt minor } \times 377}} \\ &= \sqrt{\frac{2.62 \times 10^{-8} \times 377}{2.56 \times 10^{-10} \times 377}} = 10.11 = 10.05 \text{ dB} \\ 3 \text{ dB} \leq |AR| < 40 \text{ dB} &\rightarrow 3 \text{ dB} \leq 10.05 < 40 \text{ dB} = \text{Elips} \end{aligned}$$

3. Polarisasi Sudut Azimuth Port Kanan

$$\begin{aligned} \text{Axial Ratio} &= \sqrt{\frac{P \text{ watt major } \times 377}{P \text{ watt minor } \times 377}} \\ &= \sqrt{\frac{6.7 \times 10^{-8} \times 377}{1.08 \times 10^{-10} \times 377}} = 24.90 = 13.96 \text{ dB} \\ 3 \text{ dB} \leq |AR| < 40 \text{ dB} &\rightarrow 3 \text{ dB} \leq 13.96 < 40 \text{ dB} = \text{Elips} \end{aligned}$$

4. Polarisasi Sudut Elevasi Port Kanan

$$\begin{aligned} \text{Axial Ratio} &= \sqrt{\frac{P \text{ watt major } \times 377}{P \text{ watt minor } \times 377}} \\ &= \sqrt{\frac{5.62 \times 10^{-8} \times 377}{2.31 \times 10^{-10} \times 377}} = 15.59 = 11.93 \text{ dB} \\ 3 \text{ dB} \leq |AR| < 40 \text{ dB} &\rightarrow 3 \text{ dB} \leq 11.93 < 40 \text{ dB} = \text{Elips} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *axial ratio* port kiri dan port kanan didapatkan polarisasi *elips* pada sudut *azimuth* maupun *elevasi*. Sedangkan pada simulasi didapatkan polarisasi linear. Adanya perubahan jenis polarisasi pada simulasi dan pengukuran bisa diakibatkan oleh keterbatasan manusia / *human error* dan keterbatasan alat saat proses pengukuran berlangsung.

F. Hasil Pengukuran Gain

Berikut merupakan perbandingan nilai gain pada simulasi dan data pengukuran.

$$\begin{aligned} Grx &= Prx + Ltx + Lrx + FSL \\ Grx &= -57.115 + 15 + 6 + 38.89438589 \\ Grx &= 2.779385895 \text{ dBi} \end{aligned}$$

TABEL 6 Perbandingan Nilai Gain Simulasi & Pengukuran

Gain Simulasi	Gain Pengukuran
2.989 dBi	2.779 dBi

Dapat dilihat pada Tabel 5, setelah melakukan pengukuran didapatkan nilai *gain* yang dibandingkan dengan nilai *gain* dari hasil simulasi. Dari hasil pengukuran, nilai *gain* pada frekuensi 2.1 GHz adalah sebesar 2.779 dBi sedangkan nilai *gain* dari hasil simulasi pada frekuensi 2.1 GHz adalah sebesar 2.989 dBi. Nilai *gain* telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu ≥ 1 dBi. Terdapat perbedaan nilai *gain* dari hasil simulasi dan pengukuran. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor seperti keterbatasan manusia dan keterbatasan pada alat pengukuran. Seperti pada proses pengukuran yaitu pemutar sudut horizontal setiap 10° sampai 350° tidak akurat dikarenakan pengukuran dilakukan secara manual dan posisi yang tidak stabil untuk jarak ukur antenna referensi dan antenna yang diuji.

Berikut merupakan tabel hasil perbandingan antara pengukuran dan simulasi antenna MIMO 2x2 menggunakan EBG.

TABEL 7 Perbandingan Nilai Parameter Port Kiri

Parameter	Nilai	
	Pengukuran	Simulasi
Return Loss	-20.61 dB	-19.23 dB
VSWR	1.6	1.24
Bandwidth	20 MHz	60 MHz
Mutual Coupling	-42.15 dB	-29.58 dB
Polarisasi	Elips	Linear
Pola Radiasi Azimuth	Unidirectional	Unidirectional
Pola Radiasi Elevasi	Undirectional	Unidirectional
Gain	2.779 dBi	2.989 dBi

TABEL 8
Perbandingan Nilai Parameter Port Kanan

Parameter	Nilai	
	Pengukuran	Simulasi
Return Loss	-19.70 dB	-19.23 dB
VSWR	1.7	1.24
Bandwidth	30 MHz	60 MHz
Mutual Coupling	-42.15 dB	-29.58 dB
Polarisasi	Elips	Linear
Pola Radiasi Azimuth	Unidirectional	Unidirectional
Pola Radiasi Elevasi	Unidirectional	Unidirectional
Gain	2.779 dBi	2.989 dBi

V. KESIMPULAN

Penambahan struktur EBG pada penelitian ini berhasil mengurangi *mutual coupling* sebesar 0.36 dB dari -29.22 dB menjadi -29.58 dB. Hal tersebut menunjukkan bahwa EBG yang ditambahkan terbukti menurunkan nilai *mutual coupling* dan juga parameter lainnya. *Return loss* menunjukkan penurunan sebesar 3 dB dari -16.23 dB menjadi -19.23 dB dan VSWR menurun sebesar 0,12 dari 1.36 menjadi 1.24. Penurunan nilai *mutual coupling* juga dapat dipengaruhi oleh jarak antar antenna. Pada antenna dengan penambahan EBG ini diatur jarak antar antenna yaitu sebesar 42.75 mm. Semakin jauh jarak antar antenna maka semakin rendah nilai *mutual coupling*. Penambahan struktur EBG ini diharapkan dapat mencegah antenna satu dan lainnya saling menginterferensi sehingga sinyal yang ditransmisikan oleh antenna tetap independen atau tidak berkorelasi.

REFERENSI

- [1] Y. I. Shiddiqah, M. S. Muntini, R. Prasetyanto, and Y. H. Pramono, "Analisis Pengaruh Antena MIMO 2Tx2Rx Terhadap Kecepatan Akses 4G LTE," vol. 5, no. 2, pp. 2337–3520, 2016, Accessed: Jan. 04, 2023. [Online]. Available: http://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/viewFile/17090/2846
- [2] D. H. Margaret, M. R. Subasree, S. Susithra, S. S. Keerthika, and B. Manimegalai, "Mutual coupling reduction in MIMO antenna system using EBG structures," 2012 *International Conference on Signal Processing and Communications, SPCOM 2012*, 2012, doi: 10.1109/SPCOM.2012.6290217.
- [3] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas," *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79–91, 1992, doi: 10.1109/5.119568.
- [4] E. Roza, M. Mujirudin, K. Kunci, K. Tinggi, and K. Kanal, "Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya," vol. 6, no. 2, 2013, Accessed: Jan. 05, 2023. [Online]. Available: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1482474&val=11423&title=Sistem%20Mimo%20dan%20Aplikasi%20Penggunaannya>
- [5] R. Kurnia, E. Sandi, and D. Wisnu, "PENGEMBANGAN ANTENA ARRAY DENGAN STRUKTUR MEBG UNTUK MENGURANGI EFEK MUTUAL COUPLING," *JVoTE (Jurnal Pendidikan Vokasional Elektronika)*, vol. 2 No 1, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [6] Z. Liu, Y. Shi, D. Shi, and Y. Gao, "Mutual coupling reduction of a 2.6 GHz Dual-Element MIMO Antenna System with EBG structures," 2014 *31th URSI General Assembly and Scientific Symposium, URSI GASS 2014*, pp. 3–6, 2014, doi: 10.1109/URSIGASS.2014.6929527.
- [7] I. A. A. Qhalbina, L. O. Nur, and H. H. Ryanu, "ANALISIS DAN PERANCANGAN STRUKTUR METAMATERIAL UNTUK MENGURANGI SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) PADA ANTENA MIKROSTRIP DI FREKUENSI 5G," 2023.
- [8] P. Uetomo, B. Sumajudin, T. Yunita, U. Telkom, and A. Mikrostrip, "Analisis Antena Mimo 2X2 Berdasarkan Diversitas Polarisasi Analysis of Antenna Mimo 2X2 Mimo Based on Polarization," vol. 8, no. 6, pp. 11492–11501, 2021.
- [9] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*. 1996. Accessed: Jan. 04, 2023. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/525047>
- [10] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, *Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering (The Cambridge RF and Microwave Engineering Series)*. United States of America by Cambridge University Press, New York, 2009. Accessed: Jan. 04, 2023. [Online]. Available: www.cambridge.org/9780521889919