

Analisis Dan Perancangan Struktur Metamaterial Untuk Mengurangi *Specific Absorption Rate* (Sar) Pada Antena Mikrostrip Di Frekuensi 5g

1st Ikhwanul Arif Qhalbina A

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

ikhwanularif@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— Antena jenis mikrostrip merupakan suatu perangkat komunikasi *wireless* yang memiliki dimensi kecil namun memiliki performa yang dapat mendukung pengimplementasian teknologi 5G. Antena mikrostrip memiliki bentuk berupa lempengan tipis yang frekuensi kerjanya dapat ditentukan berdasarkan dimensi atau ukuran antena tersebut. Namun antena mikrostrip yang bekerja dengan frekuensi 5G atau frekuensi 3,5 GHz memiliki pancaran radiasi yang berbahaya bagi tubuh.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka diberikanlah solusi berupa penambahan suatu struktur metamaterial yaitu struktur *electromagnetic band gap* (EBG) dengan bentuk *mushroom-like*. Penggunaan struktur ini dapat meningkatkan efisiensi, pola radiasi yang baik, dan juga mengurangi efek radiasi pada tubuh. Untuk mengurangi efek radiasi pada tubuh, antena harus memiliki nilai SAR <1,6.

Pengujian dilakukan dengan dua kondisi yaitu simulasi antena konvensional terhadap phantom tangan dan simulasi antena dengan penambahan struktur EBG terhadap phantom tangan. Hasil Simulasi dengan adanya penambahan struktur EBG pada antenna konvensional dapat mengurangi nilai SAR sebesar 46,7% dari 1,9484 W/kg menjadi 0,9059 W/kg.

Kata kunci : antena mikrostrip, 5G, *electromagnetic band gap* (EBG), *mushroom-like*, *Specific Absorption Rate* (SAR).

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Teknologi saat ini berkembang dengan pesat khususnya pada sektor telekomunikasi. Komunikasi *wireless* menjadi sistem yang paling banyak digunakan saat ini, karena sistem ini menggunakan udara sebagai media transmisinya sehingga perkembangan sistem komunikasi *wireless* juga sangat pesat, contohnya Antena. Antena adalah perangkat yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima informasi dengan cara mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik lalu mengirimkan informasi tersebut ke antena penerima, lalu antena penerima mengubah kembali menjadi sinyal listrik.

Antena memiliki banyak jenis, salah satunya antena mikrostrip. Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *groundplane* yang terbuat dari bahan

dielektrik. Antena *microstrip* sangat cocok digunakan dalam pengaplikasian 5G. Hal ini disebabkan karena antena ini memiliki massa yang ringan dan juga fabrikasinya yang cenderung mudah serta sangat cocok buat jaringan 5G saat ini[1]. Saat ini pengembangan jaringan 5G masih terus dilakukan. Untuk di Indonesia sendiri jaringan 5G juga telah diterapkan oleh beberapa operator dan telah diterapkan di Sembilan kota di-Indonesia dengan frekuensi kerja mulai dari 3,4–3,6 GHz[2]. Frekuensi kerja 5G ini cenderung besar, sehingga secara tidak langsung akan berdampak pada kehidupan sehari-hari.

Oleh karena itu standar internasional ANSI/IEEE (Amerika) telah menetapkan bahwa nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) yang aman bagi tubuh manusia adalah 1,6 W/Kg[3].Oleh karena itu penulis mengusulkan agar didalam antena ini ditambahkan metamaterial dengan jenis *Electromagnetic Band Gap* (EBG) dengan tujuan untuk meningkatkan *gain* serta menghasilkan nilai SAR yang kurang dari 1,6 W/Kg.

Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa besaran radiasi antara antena sebelum ditambahkan struktur metamaterial EBG dan sesudah ditambahkan metamaterial EBG. Selain itu focus dari tugas akhir ini yaitu agar antena yang dirancang ini menghasilkan besaran radiasi yang lebih kecil sehingga mengurangi dampak radiasi yang berlebihan pada manusia.

II. KAJIAN TEORI

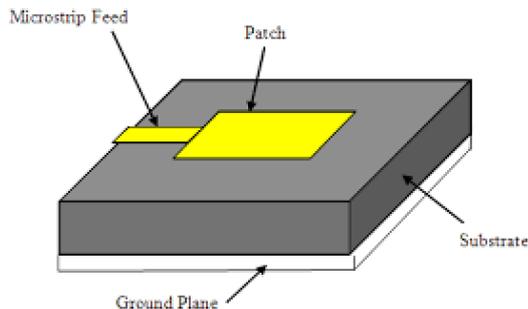
A. *Fifth-Generetaion* (5G)

Teknologi 5G merupakan suatu inovasi dalam dunia telekomunikasi. Teknologi 5G merupakan suatu jaringan *mobile* yang telah mengalami peningkatan dari generasi sebelumnya yaitu 4G. Teknologi 5G tidak hanya membawa dampak pada sector telekomunikasi saja, 5G saat ini telah menjadi salah satu penunjang dalam era *industry 4.0*, yaitu suatu era baru dunia dimana berbagai aspek telah bertransformasi menjadi digital. 5G memiliki beberapa fitur yang tidak dimiliki pendahulunya (4G) untuk mendukung revolusi *industry 4.0*, fitur fitur ini meliputi adanya

sinkronisasi antar mesin yang diintegrasikan dengan IoT, 5G juga memiliki fitur utama seperti data rate yang tinggi, latency yang rendah, reliabilitas tinggi, dan cakupan yang luas.

B. Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah suatu antena yang memiliki dimensi kecil namun memiliki performa yang dapat mendukung pengimplementasian teknologi 5G. Antena mikrostrip memiliki bentuk berupa lempengan tipis yang frekuensi kerjanya dapat ditentukan berdasarkan dimensi atau ukuran antena tersebut. Adapun struktur dari antena mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.1 yaitu terdiri dari *patch*, *dielectric substrate*, dan *groundplane*.



GAMBAR 1
Struktur Antena Mikrostrip.

C. Parameter Antena Mikrostrip

Dalam proses merancang dan membuat antena mikrostrip, diperlukan parameter parameter yang menjadi acuan agar antena mikrostrip yang dibuat memiliki performa yang baik. Adapun parameter antena dari mikrostrip yaitu, sebagai berikut:

1. Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita kanal merupakan rentang frekuensi yang berfungsi untuk memastikan antena dapat beroperasi secara baik pada frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya sebelumnya. Bandwidth sendiri merupakan selisih dari frekuensi atas (f_h) dan frekuensi bawah (f_l) atau dapat didefinisikan seperti rumus dibawah ini

$$\text{Bandwidth} = f_h - f_l$$

2. Returnloss

Return Loss merupakan ukuran efektifitas daya yang disalurkan dari saluran transmisi ke antena. *Return Loss* disebabkan karena adanya *mismatch*, besarnya *mismatch* merupakan perbandingan daya yang masuk P_{in} dengan daya yang dipantulkan $P_{ref} \left(\frac{P_{in}}{P_{ref}} \right)$.

3. Pola Radiasi

Pola radiasi dapat diartikan sebagai variasi daya yang berasal dari radiasi antena sebagai fungsi arah yang jauh dari jangkauan antena dan juga berada pada lokasi yang berbeda di udara. Pola radiasi digambarkan dalam bentuk dua dimensi untuk *azimuth* dan sudut elevasi yang berbeda (polar dan *rectangular*).

4. Gain

Gain merupakan jumlah energi yang diradiasikan antena ke udara, karena antena tidak sepenuhnya efisien. *Internal loss* juga merupakan bagian dari gain antena, dengan memerhatikan faktor tersebut maka *gain* antena dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{\text{Radiasi intensity}}{\text{Total power}}$$

D. Desain Antena Mikrostrip

1. Patch

Untuk menghitung panjang *patch* (L_p) menggunakan persamaan

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta l$$

Dimana L_p adalah panjang patch (mm), c adalah kecepatan cahaya (m/s), L_{eff} adalah panjang efektif (mm), Δl selisih panjang (mm). Sedangkan untuk menghitung lebar *patch* (W_p) menggunakan persamaan

$$W_p = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

Dimana c merupakan kecepatan cahaya dan ϵ_r yang merupakan konstanta bahan dielektrik.

2. Groundplane

Untuk menghitung panjang dan lebar ground plane (L_g dan W_g) menggunakan persamaan di bawah ini.

$$L_g = 6h + L_p$$

$$W_g = 6h + W_p$$

3. Feedline

Untuk menghitung dimensi *feedline* menggunakan persamaan berikut

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \times \left\{ B - 1 - \ln(2b - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \times \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

E. Metamaterial dan Elektromagnetik Band Gap

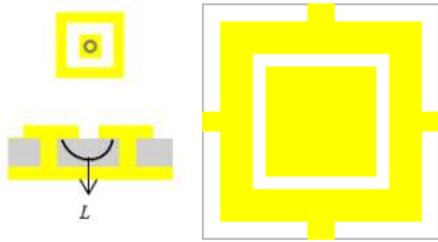
Metamaterial adalah sebuah struktur material buatan yang tidak ada di alam dan dibuat melalui rekayasa teknologi dengan bentuk susunan periodic (*array*). Struktur material yang tidak dapat ditemukan di alam ini disebabkan karena adanya persamaan antara permitivitas dan permeabilitas yang negatif, hal tersebut menyebabkan bagaimana sebuah material bereaksi dengan gelombang elektromagnetik[4].

Sedangkan *Electromagnetic Band Gap* (EBG) dapat diartikan sebagai 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.

Pada penelitian ini, penggunaan struktur EBG ini bertujuan untuk mengurangi radiasi dari frekuensi kerja 5G dengan cara menghasilkan nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) kurang dari 1,6. SAR adalah suatu standar yang ditetapkan oleh ANSI/IEE (Amerika) yang mengatur terkait paparan gelombang elektromagnetik pada tubuh. Ketentuan ANSI/IEE ini menyatakan bahwa nilai SAR yang aman bagi tubuh adalah 1,6 W/Kg.

Pada tugas akhir ini, struktur EBG yang digunakan adalah struktur jenis *Mushroom-like* dan UC EBG. Perbedaan dari kedua struktur ini terdapat pada bentuknya, dimana *Mushroom-like EBG* memiliki lubang tembaga yang berfungsi sebagai impedansi sedangkan pada UC EBG memiliki bentuk tanpa lubang namun terdapat jembatan penghubung antar setiap *unitcell* yang berfungsi sebagai impedansi. Tujuan dari penggunaan struktur EBG ini adalah untuk membandingkan struktur mana yang lebih bagus dalam

meredam daya pada frekuensi yang ditentukan yaitu frekuensi 3.5 GHz. Berikut adalah desain dari kedua EBG ini



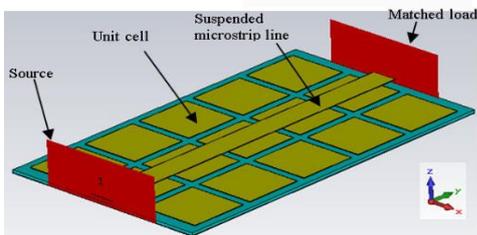
GAMBAR 2

Mushroom-like EBG (kiri) & UC EBG (kanan).

F. Suspended Stripline

Suspended Stripline merupakan metode validasi yang digunakan untuk memastikan kinerja dari unitcell EBG bekerja dengan frekuensi yang diinginkan. Metode ini dilakukan dengan cara memanfaatkan unitcell EBG sebagai bidang dasar pada antena mikrostrip yang di atasnya diberikan kawat sebagai media tempat mengalir nya arus gelombang elektromagnetik. Metode ini bekerja dengan cara menghalang arus elektromagnetik pada band pita tertentu. Teknik penggunaan metode suspended stripline ini dilakukan dengan cara menempelkan unitcell EBG ini dibawah groundplane antena mikrostrip dengan sehingga tampaknya menyerupai sandwich.

Daya transmisi yang teredam adalah harus dibawah -10dB. Tingkat atenuasi nya tergantung dari jumlah unitcell EBG yang digunakan. Semakin banyak unitcell EBG yang digunakan maka kedalaman (atenuasi) frekuensi yang diredam semakin dalam, sehingga hal ini dapat menyebabkan reduksi transfer daya menjadi lebih jelas[5]. Berikut adalah gambar perancangan suspended stripline.



GAMBAR 3

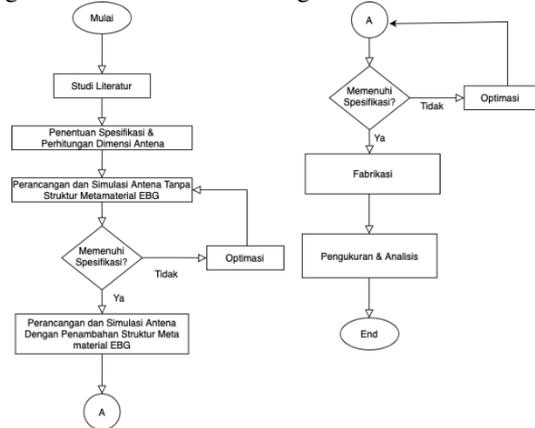
Suspended Stripline [6]

III. METODE

A. Diagram Alir

Perancangan antena mikrostrip berbasis metamaterial untuk aplikasi 5G. Antena ini dirancang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz yang dimana dipasang struktur metamaterial EBG.

Berikut merupakan metode perancangan antena yang tertera pada gambar 4 dalam bentuk diagram alir.



GAMBAR 4

Diagram Alir.

B. Spesifikasi Antena dan Phantom Tangan

Spesifikasi antena pada tugas akhir ini sedikit berbeda dari spesifikasi antena yang lain dikarenakan adanya penambahan nilai SAR sebagai acuan dari tugas akhir ini[7]. Nilai dari SAR ini digunakan untuk memastikan efek radiasi gelombang yang berasal dari antena agar tidak berbahaya pada tubuh. Berikut spesifikasi antena pada table 3.1 dengan nilai impedansi $z_0 = 50 \Omega$.

TABEL 1
Spesifikasi Antena.

| Parameter | Spesifikasi |
|-----------------|-----------------|
| Frekuensi kerja | 3,5 GHz 5G band |
| Gain | > 1dB |
| VSWR | < 2 |
| Pola Radiasi | Unidirectional |
| Return Loss | <-10 dB |
| SAR | ≤ 1,6 W/kg |

TABEL 2
Karakteristik Bahan.

| Komponen | Bahan | Permitivitas Relatif (ϵ_r) | Ketebalan (h) |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|---------------|
| Patch dan Groundplane | Copper | - | 0,035 |
| Substrate | FR-4 | 4,4 | 1,6 |

TABEL 3
Dimensi Phantom Tangan

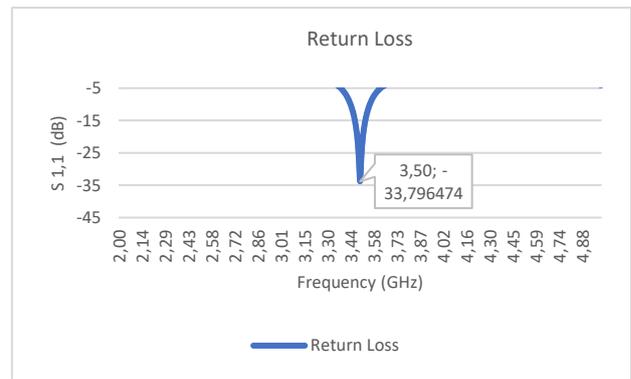
| Jaringan | Permitivitas | Konduktivitas (S/m) | Density (km/m ³) |
|----------|--------------|---------------------|------------------------------|
| Kulit | 5,2853 | 0,10235 | 930 |
| Lemak | 52,791 | 1,705 | 1050 |
| Otot | 38,063 | 1,4407 | 1090 |
| Tulang | 18,606 | 0,78 | 1920 |

C. Perancangan Dimensi Antena

Perhitungan dimensi antenna dilakukan dengan cara menggunakan persamaan yang terdapat pada bab 2 dengan memasukkan nilai nilai parameter yang ada. Berikut adalah desain perancangan antenna.

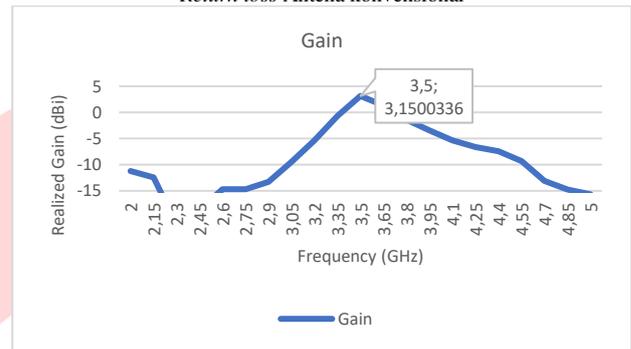
TABEL 4
Dimensi Antena Konvensional

| | | |
|-----------|---------------------|----------------------------------|
| Parameter | Antena Konvensional | Keterangan |
| Wp | 26.02 mm | Lebar patch |
| Lp | 20.02 mm | Panjang Patch |
| Wg | 75 mm | Lebar Substrat dan groundplane |
| Lg | 75 mm | Panjang Substrat dan groundplane |
| Wf | 2.2 mm | Lebar Feedline |
| Lf | 28 mm | Panjang Feedline |
| t | 0.035 mm | Ketebalan Patch dan Groundplane |
| h | 1.6 mm | Ketebalan Substrat |
| Xo | 2 mm | Lebar insert feed |
| Yo | 5 mm | Panjang insert feed |



GAMBAR 7

Return loss Antena konvensional



GAMBAR 8

Gain Antena konvensional

Tabel 5

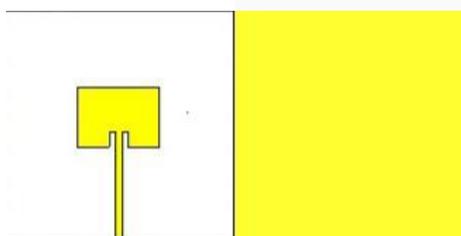
Hasil Simulasi Antena Konvensional Dengan Phantom Tangan

| Parameter | Hasil |
|------------|--------|
| SAR (W/Kg) | 1,9484 |

Berdasarkan hasil simulasi diatas, nilai *return loss* dan *gain* telah memenuhi parameter yang telah ditetapkan yaitu nilai *return loss* <-10 dB dan nilai *gain* >1dBi. Namun pada simulasi ini dapat dilihat bahwa nilai SAR yang dihasilkan sebesar 1,9484 W/Kg yang menandakan bahwa SAR yang dihasilkan antena konvensional ini masih besar (diatas parameter yang telah ditetapkan). Oleh karena itu dilakukan perancangan struktur EBG untuk mengurangi nilai SAR yang berlebih.

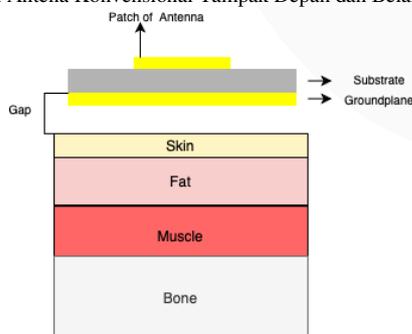
E. Perancangan dan Simulasi *Unitcell* EBG

Perancangan *suspended line* dilakukan dengan cara membuat beberapa *unitcell* dari EBG yang disusun secara rapi. Lalu di atas *unitcell* EBG diletakkan kawat/ tembaga yang membentang sepanjang barisan *unitcell* EBG. Pada perancangan *suspended line* ini diharapkan gelombang elektromagnetik yang mengalir sepanjang kawat/tembaga ketika berada di area area dari *unitcell* EBG, maka gelombang elektromagnetik yang terpancar akan diredam oleh *unitcell* EBG itu sendiri pada frekuensi yang telah ditentukan (frekuensi 3,5 GHz). Hal ini dapat dilihat pada hasil simulasi dimana pada frekuensi 3.5 GHz, nilai *return loss* (S 2,1) yang dihasilkan harus teredam atau bernilai <-10 dB. Perancangan *unitcell* EBG ini menggunakan dua model EBG yaitu UC EBG dan *mushroom-like* EBG. Berikut adalah desain perancangan *unitcell* EBG dengan menggunakan metode *suspended line*.



GAMBAR 5

Desain Antena Konvensional Tampak Depan dan Belakang.

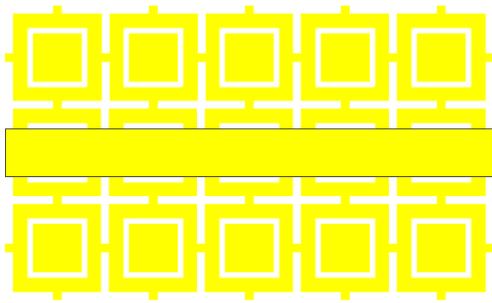


GAMBAR 6

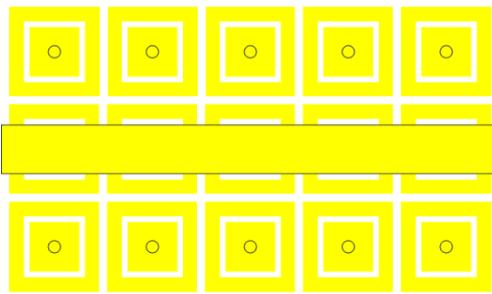
Desain Antena Konvensional Dengan Phantom Tangan

D. Hasil Simulasi Antena Konvensional

Setelah merancang antena, maka selanjutnya adalah dilakukan simulasi berdasarkan desain diatas. Berikut adalah hasil simulasi nya

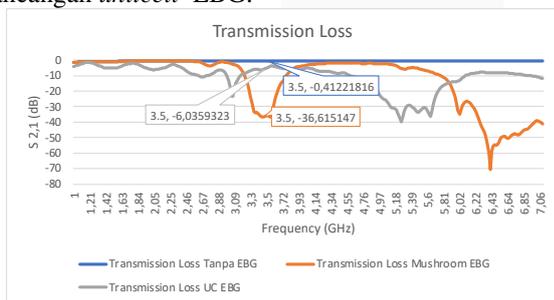


GAMBAR 9
Desain UC EBG



GAMBAR 10
Desain UC EBG

Perbedaan dari kedua struktur ini terdapat pada bentuknya, dimana *Mushroom-like EBG* memiliki lubang tembaga yang berfungsi sebagai impedansi sedangkan pada UC EBG memiliki bentuk tanpa lubang namun terdapat jembatan penghubung antar setiap *unitcell* yang berfungsi sebagai impedansi. Berikut adalah hasil simulasi dari perancangan *unitcell* EBG.

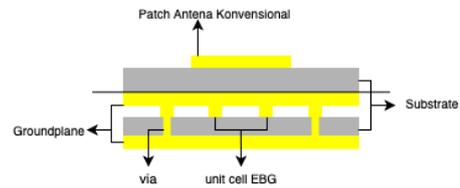


GAMBAR 11
Desain UC EBG

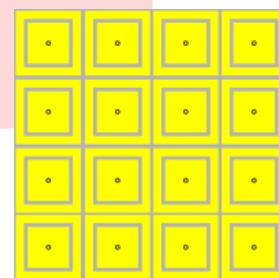
Pada gambar diatas grafik *transmission loss* atau *S 2,1* menunjukkan bahwa pada frekuensi 3,5 GHz, nilai *transmission loss* tanpa sebesar -0,41 dB. Sedangkan nilai *transmission loss* dengan adanya UC EBG terjadi penolakan medan atau penurunan grafik di -6,03 dB. Sedangkan nilai *transmission loss* dengan adanya *mushroom like* EBG terjadi penolakan medan atau penurunan grafik hingga mencapai -36,61dB. Berdasarkan perbandingan diatas, maka terdapat fenomena dimana ketika dilakukan penambahan struktur *mushroom like* EBG fenomena yang terjadi adalah terdapat penolakan medan yang melewati frekuensi 3,5 GHz, sehingga transfer daya dari *strip line* ke frekuensi 3,5 GHz tidak maksimum atau teredam atau dapat dikatakan dengan adanya penolakan medan, maka arus yang dihasilkan tidak menghasilkan medan. Hal ini menandakan bahwa perancangan *suspended line* berhasil meredam gelombang elektromagnetik pada frekuensi yang telah di inginkan, yaitu frekuensi 3,5 GHz. Sehingga langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan hasil perancangan *unitcell mushroom like* EBG, kedalam antenna konvensional yang telah di optimasi selanjutnya.

F. Perancangan Antena Dengan Penambahan Struktur EBG

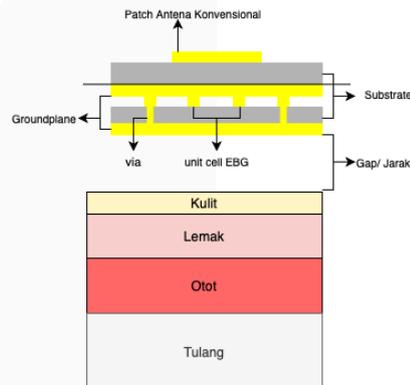
Perancangan antenna dengan struktur EBG ini dibuat dengan cara *parasitic* bertumpuk. Penyusunan secara *parasitic* bertumpuk yaitu menumpuk Antena konvensional (yang terdiri dari *patch*, *substrate*, dan *groundplane*) dengan antenna EBG (yang terdiri dari struktur EBG, *substrate*, dan *groundplane*) tanpa celah, sehingga antenna konvensional akan berada diatas dan antenna EBG berada dibawah antenna konvensional. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



GAMBAR 12 A
Antena Dengan Struktur EBG Tampak Samping



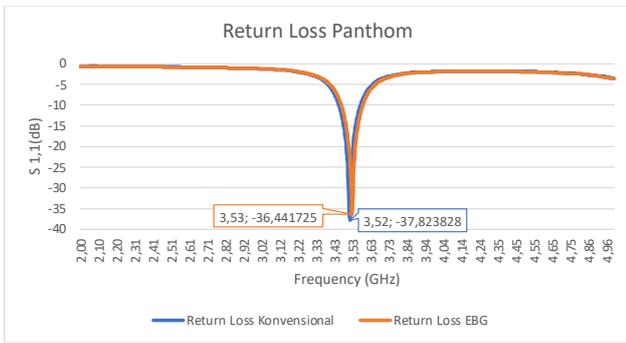
GAMBAR 13
Desain EBG Tampak Depan



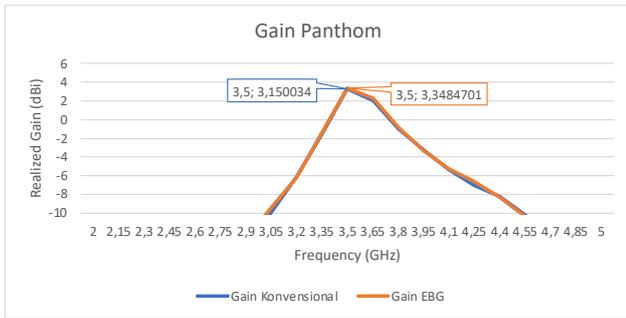
GAMBAR 14
Desain Antena dan EBG dengan *phantom*

Perancangan antenna dengan penambahan struktur EBG *unitcell* 4x4 ini dipilih karena mengikuti parameter atau dimensi *unitcell* yang dirancang sebelumnya, yaitu setiap *unitcell* memiliki ukuran 17,5 mm, dan jarak antara *unitcell* yaitu sebesar 1 mm. Selain itu, penambahan struktur EBG juga disesuaikan dengan dimensi *groundplane* dari antenna konvensional yaitu 75mm. Oleh karena itu pemilihan desain EBG *Unitcell* 4x4 paling proporsional dengan antenna konvensional yang telah dioptimasi sebelumnya. Setelah merancang Antena dengan penambahan struktur EBG 4x4, maka dilakukan perancangan dengan kondisi terdapat *phantom* tangan. Berikut adalah desain nya.

Analisis dari simulasi *phantom* dapat dilihat dari hasil *Return Loss*, *Gain*, dan juga SAR (*Specific Absorption Rate*). Berikut adalah hasil simulasinya.



GAMBAR 15 Returnloss Antena dan EBG dengan Phantom



GAMBAR 16 Gain Antena dan EBG dengan Phantom

TABEL 6

Hasil Simulasi Antena Konvensional Dengan Phantom Tangan

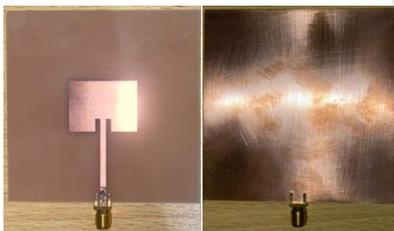
| Parameter | Hasil |
|------------|--------|
| SAR (W/Kg) | 0,9509 |

Berdasarkan simulasi diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan struktur EBG 4x4 dapat meningkatkan parameter antena dan juga dapat menurunkan nilai SAR dari 1,9484 W/kg menjadi 0,9509 W/kg dan telah dibawah ketentuan bahwa nilai SAR yang baik bagi tubuh yaitu kurang dari 1,6 W/kg.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Antena

Antena yang di fabrikasi terdiri dari *copper* (tembaga) sebagai bahan pembuatan *patch* dan *groundplane*, sedangkan untuk *substrate* nya terbuat dari bahan FR-4. Dimensi antena yang akan di fabrikasi berukuran 75 mm x 75 mm yang terdiri dari dua antena yaitu antena konvensional dan antena EBG yang disusun secara bertumpuk atau barasitic seperti pada gambar berikut



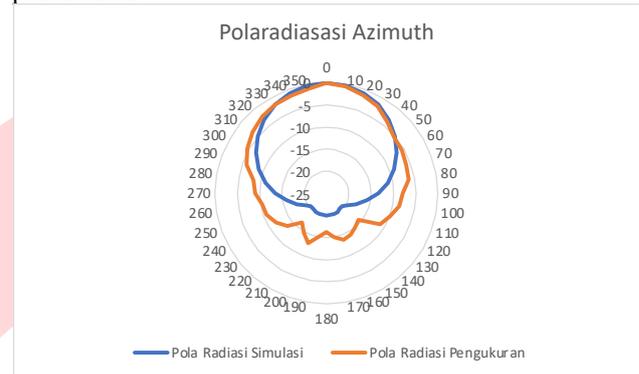
Gambar 17 Antena Mikrostrip Tampak Depan dan Belakang



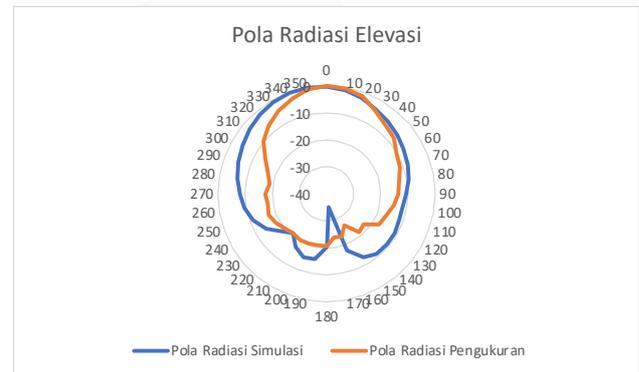
Gambar 18 Struktur EBG 4x4 Tampak Depan dan Belakang

B. Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada proyeksi azimuth dan juga proyeksi elevasi. Berikut adalah hasil pengukuran pola radiasi.



GAMBAR 19 Perbandingan Pola Radiasi Azimuth Simulasi dengan Pengukuran



GAMBAR 20 Perbandingan Pola Radiasi Elevasi Simulasi dengan Pengukuran

Hasil pengukuran antena fabrikasi menunjukkan bahwa pola radiasi yang dihasilkan adalah pola radiasi *unidirectional* atau dapat dikatakan pola radiasi yang dihasilkan serupa dengan pola radiasi simulasi.

C. Hasil Pengukuran Polarisasi

Polarisasi antena yang dihasilkan pada saat simulasi yaitu polarisasi linear. Sedangkan pada saat pengukuran, polarisasi yang dihasilkan antena fabrikasi adalah polarisasi elips dengan nilai *Axial Ratio* $0 < AR < 40$.

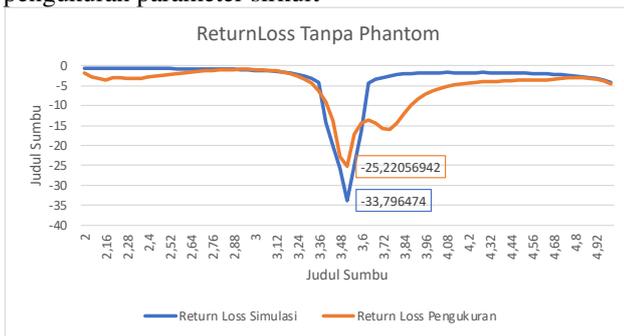
D. Hasil Pengukuran Polarisasi

Setelah melakukan proses pengukuran, hasil dari pengukuran pola radiasi akan diambil sebanyak 10 sampel untuk dan diambil rata ratanya. Selanjutnya dilakukanlah perhitungan untuk mencari nilai *gain* pada antena pengukuran. Nilai *gain* yang dihasilkan antena pada saat proses pengukuran sebesar 3,174 dBi. Sedangkan gain yang dihasilkan pada antena simulasi sebesar 3,274 dBi

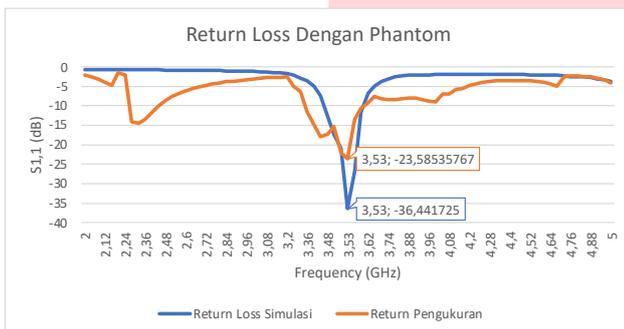
V. KESIMPULAN

D. Hasil Pengukuran Parameter Sirkuit

Pengukuran parameter sirkuit dilakukan dengan cara mencari nilai *return loss* dan *bandwidth*. Berikut adalah hasil pengukuran parameter sirkuit



Gambar 21 Perbandingan Return Loss Tanpa Phantom Antena Simulasi Dan Antena Pengukuran



Gambar 22 Perbandingan Return Loss Dengan Phantom Antena Simulasi Dan Antena Pengukuran

Pada gambar diatas nilai *return loss* pada setiap percobaan yaitu percobaan pada simulasi maupun pada pengukuran, baik dalam kondisi *on body phantom* maupun *off body phantom* memiliki hasil yang berbeda. Pada percobaan dengan kondisi *off body phantom* nilai *return loss* pada simulasi sebesar -33,79 dB dengan *bandwidth* sebesar 193 MHz, pada saat pengukuran nilai *return loss* sebesar -23,58 dB dengan *bandwidth* sebesar 393 MHz.

Pada percobaan dengan kondisi *on body phantom* nilai *return loss* pada simulasi sebesar -36,44 dB dengan *bandwidth* sebesar 122 MHz. Sedangkan pada saat pengukuran nilai *return loss* sebesar -23,58 dB dengan *bandwidth* sebesar 216 MHz

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses mulai dari proses perancangan, simulasi, hingga pengukuran antena mikrostrip dengan bentuk *patch rectangular* yang ditambahkan struktur metamaterial EBG 4x4 yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz (5G band) adalah sebagai berikut.

1. Hasil simulasi maupun pengukuran dari antena yang telah dirancang sebelumnya telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan yaitu nilai *return loss* yang kurang dari -10 dB, nilai VSWR yang kurang dari 2, nilai *gain* lebih dari 1 dB, hingga pola radiasi yang berbentuk *unidirectional*.
2. Perbedaan hasil polarisasi dimana pada saat simulasi, polarisasi yang dihasilkan antena adalah linear namun

pada saat pengukuran, polarisasi yang dihasilkan adalah elips.

3. Antena dengan penambahan struktur metamaterial EBG 4x4 terbukti dapat menurunkan nilai SAR sebesar 50% yaitu nilai SAR yang dihasilkan sebelum penambahan struktur metamaterial EBG 4x4 pada jarak 0mm sebesar 1,9484 W/kg, namun setelah ditambahkan struktur metamaterial EBG 4x4, nilai SAR yang dihasilkan turun menjadi 0,9059 W/kg dimana nilai SAR yang baik terhadap tubuh manusia yaitu kurang dari 1,6 W/kg.
4. Objek yang dijadikan untuk pengukuran SAR adalah tangan manusia yang terdiri dari susunan kulit, lemak, otot, dan tulang yang memiliki nilai permitivitas, konduktivitas, dan density yang berbeda-beda.

REFERENSI

- [1] D. M. Pozar, "Mikrostrip Antenas," *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79-91, 1992.
- [2] Menkominfo, "Pemerintah siapkan tkdn," Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, 2021. [Online]. Available: www.menkominfo.go.id. [Diakses 2 2022].
- [3] G. Mu dan P. Ren, "A Compact Dual-Band Metasurface-Based Antena for Wearable Medical Body-Area Network Devices," *Hindawi Journal of Electrical and Computing Engineering*, 2020.
- [4] S. A. Wicaksono, L. O. Nur dan E. , *MINIATURISASI ANTENA MIKROSTRIP PATCH DENGAN STRUKTUR METAMATERIAL UNTUK PENGAPLIKASIAN KOMUNIKASI 5G*, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2021.
- [5] F. Yang dan R. Samii, *Electromagnetic Band Gap Structures in Antena Engineering*, New York: Cambridge University, 2009.
- [6] A. Y. Ashyap, S. H. B. Dahlan dan Z. Z. Abidin, "An Overview of Electromagnetic Band-Gap Integrated Wearable Antenas," *IEEE Access*, vol. 8, 2020.
- [7] S. Salsabila, L. O. Nur dan H. H. Ryanu, *ANALISIS KINERJA WEARABLE ANTENA JENIS MIKROSTRIP DENGAN STRUKTUR ELECTROMAGNETIC BAND GAP UNTUK KOMUNIKASI WIRELESS PADA TUBUH*, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2022.