

ANALISIS DAN PERANCANGAN STRUKTUR METAMATERIAL UNTUK MENGURANGI SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) PADA ANTENA MIKROSTRIP DI FREKUENSI 5G

Ikhwanul Arif¹, Shanty Ezra², Alfia Zahra³, Camilla Pradnya⁴,
Rizky Aris⁵, Imam Chairul⁶, Harfan Hian⁷, Levy Olivia⁸

1, 2,3,4,5, ⁶Faculty of Electrical Engineering, Telkom University, Indonesia

^{7,8}Basic Transmission Laboratory Research

¹ikhwanularif@student.telkomuniversity.ac.id

Diterima pada 31 Desember 2023; disetujui pada 15 Februari 2024; dan diterbitkan pada 30 Juni 2024.

Abstrak

Antena mikrostrip merupakan perangkat komunikasi *wireless* berdimensi kecil namun memiliki kinerja yang mendukung pengimplementasian teknologi 5G. Antenna mikrostrip memiliki bentuk seperti lempengan tipis dengan frekuensi kerja yang ditentukan berdasarkan dimensi antena tersebut. Namun, dibalik kelebihan yang dimiliki antena ini masih terdapat kekurangan seperti *gain* dan efisiensi yang rendah, *bandwidth* sempit, dan gelombang permukaan yang mampu merusak pola radiasi. Antena mikrostrip yang bekerja dengan frekuensi 5G atau frekuensi 3,5 GHz memiliki pancaran radiasi yang berbahaya bagi seluruh tubuh. Oleh karena itu ditambahkan struktur material *Electromagnetic Band Gap* (EBG) yang berbentuk *mushroom-like*. Penggunaan struktur ini dapat meningkatkan efisiensi, pola radiasi yang baik, dan dapat mengurangi efek radiasi pada tubuh, nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) yang harus dimiliki yaitu $< 1,6$. Pengujian dilakukan dengan dua kondisi, yang pertama yaitu simulasi antena konvensional terhadap *phantom* tangan dan yang kedua adalah simulasi antena dengan penambahan struktur EBG terhadap *phantom* tangan. Simulasi yang pertama menghasilkan nilai SAR sebesar 1,9484 W/Kg. Sedangkan simulasi yang kedua menghasilkan nilai SAR sebesar 0,9059 W/Kg. Sehingga didapat kesimpulan bahwa penambahan struktur EBG *unitcell* dapat mengurangi nilai SAR hingga mencapai 46,67%.

Kata Kunci: antenna microstrip, 5G, Electromagnetic Band Gap (EBG), mushroom-like, Specific Absorption Rate (SAR).

Abstract

Microstrip antenna is a small -dimensional wireless communication device but has a performance that supports the implementation of 5G technology. Microstrip antenna has a thin plate -like shape with a working frequency determined based on the dimensions of the antenna. However, behind the advantages possessed by this antenna there are still deficiencies such as gains and low efficiency, narrow bandwidth, and surface waves that can damage radiation patterns. Microstrip antennas that work with a 5G frequency or a frequency of 3.5 GHz have a radiation that is harmful to the whole body. In the addition of the structure of the material *Electromagnetic Band Gap* (EBG) in the form of mushroom-like. The use of this structure can increase efficiency, good radiation patterns, and can reduce the effects of radiation on the body, the specific value absorption rate (SAR) value that must be possessed is $< 1,6$. The test is carried out with two conditions, the first is the conventional antenna simulation to the hand phantom and the second is an antenna simulation with the addition of EBG structures to the hand phantom. The first simulation produces a SAR value of 1,9484 W/Kg. While the second simulation produces a SAR value of 0.9059 W/kg. So it is concluded that the addition of unitcell EBG structures can reduce the SAR value to reach 46.67%.

Key Words: antenna microstrip, 5G, Electromagnetic Band Gap (EBG), mushroom-like, Specific Absorption Rate (SAR)

1. Introduction

Teknologi 5G merupakan sebuah *platform* yang dapat mengintegrasikan berbagai teknologi nirkabel [1]. Teknologi 5G juga telah dirancang agar lebih fleksibel, hal ini didukung dengan kemungkinan 5G digunakan sebagai sentral dari HetNet (*Heterogeneous Network*) karena 5G dirancang untuk menjadi jaringan yang multi akses. HetNet sendiri adalah sebuah jaringan yang menghubungkan *computer* dengan *device* lain yang memiliki sistem operasi yang berbeda [2]. Di Indonesia sendiri teknologi 5G telah mulai diterapkan di berbagai wilayah yang telah ditentukan sebelumnya. Menurut Keputusan Dirjen 235 Tahun 2018, frekuensi 5G di Indonesia yang digunakan untuk uji coba 5G berada di frekuensi 3.5 GHz (3.3 – 4.2 GHz). Frekuensi kerja 5G ini cenderung besar, Besarnya frekuensi kerja 5G ini dapat meningkatkan radiasi, juga kurang baik bagi tubuh terutama pada kulit dan kekhawatiran kesehatan lainnya karena memiliki radiasi yang besar. Oleh karena itu ANSI/IEEE (Amerika) menetapkan bahwa nilai SAR yang aman bagi tubuh manusia adalah 1.6 W/Kg [3]. Pertimbangan utama dari pemilihan frekuensi tersebut adalah ekosistem uji coba pita frekuensi secara global dan ketersediaan perangkat yang digunakan oleh operator seluler. Salah satunya teknologi yaitu pembuatan *wearable antenna*. Umumnya jenis antena yang akan digunakan untuk menyusun *wearable antenna* adalah jenis *microstrip antenna*. Antena *wearable* memiliki beberapa keunggulan seperti ukuran yang kecil, ringan, pembuatan mudah dan murah, serta dapat bekerja pada frekuensi yang lebar [4]. Antena ini nantinya akan ditempatkan dekat pada tubuh. Antena *wearable* memiliki kemampuan untuk ditekuk atau dibengkokkan karena bahan substrat terbuat dari material yang fleksibel. Dengan kemampuan fleksibilitas tersebut, antena dapat menyesuaikan perubahan bentuk tubuh sehingga tetap dapat bekerja dengan baik [5]. Untuk frekuensi kerja dari antena *wearable* yang umumnya digunakan di dunia termasuk Indonesia adalah pada frekuensi *Industrial, Science, dan Medical (ISM-Band)* 2,4 GHz dan 5,2 GHz sebagai frekuensi kerja perangkat nirkabel dan sensor yang umumnya digunakan [6]. Oleh karena itu akan terjadi efek *mutual coupling* yang menyebabkan perubahan frekuensi kerja dan penurunan kinerja pada antena. Selain itu akan terjadi juga penyerapan radiasi oleh tubuh, penyerapan radiasi ini dianggap berbahaya bagi kesehatan jaringan tubuh.

Tantangan pada pembuatan antena ini terdapat nilai SAR yang berbahaya bagi tubuh. SAR adalah suatu standar yang ditetapkan oleh ANSI/IEE (Amerika) yang mengatur terkait paparan gelombang elektromagnetik pada tubuh, nilai SAR pada antena mikrostrip cenderung memiliki nilai yang besar sehingga menimbulkan dampak yang kurang baik bagi tubuh. Untuk mengatasi hal tersebut pada perancangan antena ini ditambahkan

Tabel 1. Spesifikasi Antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	3.5 GHz 5G band
Gain	>1 dB
VSWR	<2
Pola Radiasi	Unidirectional
Return Loss	<-10 dB
SAR	≤ 1.6 W/kg

struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG). Pada perangkat komunikasi *wireless*, penggunaan struktur EBG ini memiliki manfaat berupa mengurangi efek *mutual coupling*, mengurangi *back radiation* yang dapat meningkatkan nilai *gain* serta menghasilkan pola radiasi yang lebih baik [7]. Cara kerja dari struktur EBG ini memblokir gelombang elektromagnetik yang berguna untuk meningkatkan *gain* dan menurunkan SAR [8]. Dengan karakteristik seperti itu, maka struktur EBG ini merupakan pilihan yang sangat tepat untuk mengurangi nilai SAR pada antena dengan frekuensi kerja 5G.

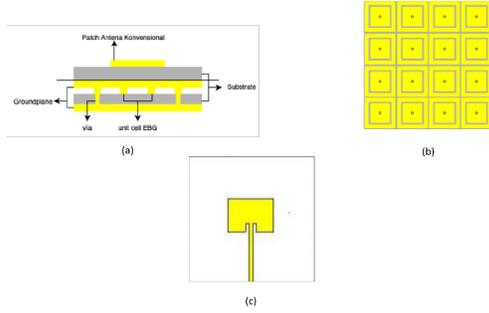
Pada jurnal ini telah dilakukan analisa besaran radiasi antara antena konvensional dengan antena penambahan struktur EBG dengan jenis *Mushroom-like*. Pada tahap ini dilakukan pengamatan mengenai seberapa berpengaruhnya struktur EBG dalam mengurangi nilai SAR dari antena mikrostrip yang bekerja dengan frekuensi 3,5 GHz. Perancangan antena dengan struktur EBG melalui penggabungan antena konvensional dengan EBG *unitcell* 3×5. Objek pengukuran nilai SAR melalui tangan manusia yang tersusun dari kulit, lemak, otot, dan tulang yang memiliki nilai permitivitas, konduktivitas, dan *density* yang berbeda-beda. Hasil dari perancangan dengan penambahan struktur metamaterial EBG 3×5 terbukti dapat menurunkan nilai SAR sebesar 50%. Nilai SAR awal yang dihasilkan 1,9484 W/Kg turun menjadi 0,9059 W/kg.

2. Metodologi

2.1 Desain Antena

Antena yang dirancang menggunakan metamaterial EBG diharapkan memiliki peningkatan *gain* dibandingkan dengan antena konvensional dan dapat mengurangi paparan radiasi yang ditimbulkan oleh antena konvensional. Spesifikasi antena dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil desain dapat dilihat pada gambar 1. (c).

Pada perancangan antena dengan struktur EBG dilakukan dengan cara menggabungkan antena konvensional dengan *unitcell* EBG yang telah dirancang sebelumnya. Perancangan antena dengan struktur EBG ini dibuat dengan cara *parasitic* bertumpuk dapat dilihat pada gambar 1 (a). Perancangan antena dengan penambahan struktur EBG *unitcell* 4×4 ini dipilih karena mengikuti parameter atau dimensi *unitcell* yang



Gambar 1. Desain Antena EBG (a) Samping (b) Belakang (c) Depan

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 antena konvensional yaitu 75 mm desain antena dapat dilihat pada gambar 1 (b). Berikut adalah desain dari perancangan antena dengan penambahan struktur EBG Unitcell 4x4.

2.2 Perhitungan Dimensi Antena

Desain antena diperlukan agar antena bekerja dengan baik dan juga sesuai spesifikasi yang ditentukan. Bagian antena mikrostrip yaitu *patch*, *substrate*, *ground plane*, dan *feed line*.

$$W_p = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0,412h \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0,3}{\epsilon_{eff} - 0,258} \right) \left(\frac{\frac{w}{h} + 0,264}{\frac{w}{h} + 0,8} \right) \quad (3)$$

$$z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right] \quad (4)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

$$L_p = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (7)$$

$$L_g = 6h + L_{patch} \quad (8)$$

$$W_g = 6h + W_{patch} \quad (9)$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (10)$$

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (11)$$

$$y_0 = \frac{l_p}{2} \quad (12)$$

$$x_0 = \frac{y_0}{l_p} \quad (13)$$

Pada persamaan diatas terdapat variabel c yang merupakan kecepatan cahaya dengan nilai 3×10^8 m/s, antena bekerja pada frekuensi 3.5 GHZ, ϵ_r adalah konstanta dielektrik dengan nilai 4,4 sedangkan ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif, h merupakan ketebalan substrat dengan nilai 1,6 mm, z_0 merupakan impedansi beban (Ω), B merupakan besar impedansi pada saluran, λ_g adalah panjang gelombang (m), ΔL adalah pertambahan dari panjang *patch* (mm).

Tabel 2. Parameter Antena

Parameter	Nama Parameter	Nilai Parameter
Lebar Patch	wp	26,02 mm
Lebar Ground	wg	75 mm
Lebar Feedline	wf	2,2 mm
Lebar Slitch	x_0	2 mm
Panjang Patch	lp	20,02 mm
Panjang Ground	lg	75 mm
Panjang Feedline	lf	28 mm
Panjang Slitch	y_0	5 mm

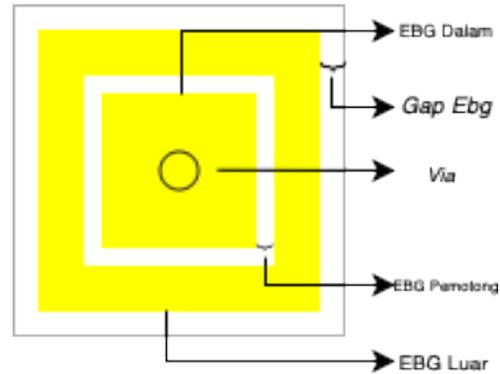
2.3 Electromagnetic Band Gap

EBG adalah sebuah inovasi dalam bentuk struktur dari material buatan yang tidak ada di dalam dan dibuat melalui rekayasa periodik yang berfungsi dalam sistem komunikasi *Radio Frequency* (RF) dan gelombang mikro yang memiliki karakteristik berupa celah pita yang unik dalam rentang frekuensi tertentu. EBG jenis *mushroom-like* adalah EBG tiga dimensi konvensional yang terdiri dari tabung padat dengan silinder melalui via. Respon transmisi EBG jenis *mushroom-like* tergantung pada ukuran patch, diameter via dan celah antara elemen unit. Karakteristik transmisi juga tergantung pada ketebalan substrat dan bahan substrat yang digunakan [9]. Struktur EBG ini banyak dilakukan agar manfaatnya dapat dipakai dengan baik dalam berbagai perangkat sistem komunikasi. Struktur EBG dapat diartikan sebagai rangkaian resonansi LC yang memunculkan nilai induktansi L dan kapasitansi C. Terdapat arus listrik yang mengalir pada logam EBG yang memunculkan induktor L. Terdapat nilai kapasitansi C yang muncul akibat adanya celah antar bagian EBG baik antar bagian dalam satu *unitcell* maupun antar *unitcell* satu dengan lainnya [10].

Struktur EBG dalam penerapannya dapat menekan gelombang permukaan di berbagai desain antena. Struktur EBG dapat menurunkan propagasi energi elektromagnetik di sepanjang pita frekuensi. Jadi interferensi elektromagnetik dapat dikurangi pada bagian sirkuit bahkan bisa mengurangi radiasi dalam arah tertentu ketika digabungkan ke antena. EBG dapat 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 mengalirnya 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 sehingga tampaknya menyerupai *sandwich*. Antena yang kita gunakan membuat struktur EBG yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz. Hal ini dapat dilihat pada hasil simulasi dimana

Tabel 3. Ukuran Dimensi EBG

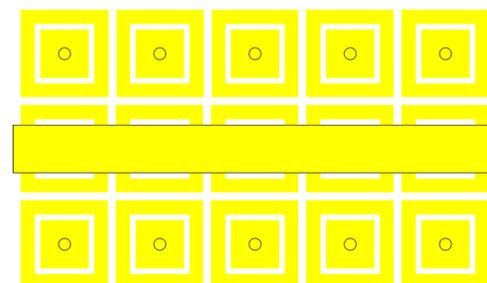
Dimensi Unitcell EBG	Ukuran Unitcell EBG
EBG Luar	17,5 mm
EBG Pemotong	13 mm
EBG Dalam	11 mm
Gap EBG	1 m
Via	1 m



Gambar 2. Unit Cell EBG

pada frekuensi 3.5 GHz, nilai *return loss* (S 2,1) yang dihasilkan harus teredam atau bernilai $< -10\text{dB}$. Desain final dan hasil perhitungan dimensi EBG dapat dilihat pada gambar 2 dan tabel 3.

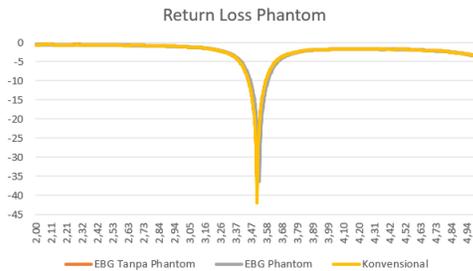
Selesai menentukan bagaimana bentuk serta ukuran dari *unitcell* EBG, maka selanjutnya adalah membentuk *unitcell* EBG sesuai dengan *suspended line* yaitu dengan cara membuat beberapa *unitcell* EBG yang disusun secara rapi. Lalu akan diletakkan *cooper* yang membentang sepanjang barisan *unitcell* EBG. Hal itu dilakukan agar gelombang elektromagnetik yang terpancar di area-area dari *unitcell* EBG akan diredam. *Unitcell* EBG disusun dalam 3 baris dan 5 kolom *unitcell* EBG. Di antara setiap *unitcell* EBG akan diberi jarak sejauh 1 mm. setelah itu tambahkan *feed line* di atas susunan *unitcell* sebagai media penghantar gelombang elektromagnetik. Desain final dari *suspended line* dapat dilihat pada gambar 3.



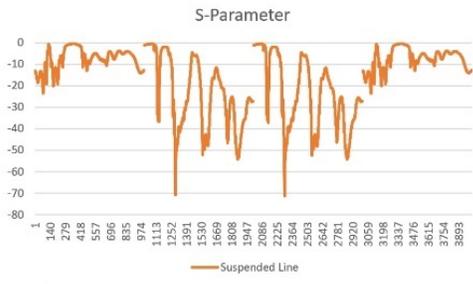
Gambar 3. Suspended Line

3. Analisa dan Hasil

Setelah proses perhitungan hingga perancangan antenna menggunakan *software* simulasi, maka langkah selanjutnya adalah proses simulasi pada antenna mikrostrip dengan *patch rectangular* untuk mengetahui hasil dan membandingkan rancangan antenna dengan parameter yang telah dihitung pada antenna dengan parameter yang telah ada. Terjadi pergeseran frekuensi kerja pada simulasi antenna konvensional, frekuensi kerjanya berada di 3.52 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -37.84 dB mengalami pergeseran frekuensi menjadi 3.53 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -36.44 dB.



Gambar 4. Perbandingan Return loss Antena Simulasi



Gambar 5. S-Parameter Suspended Line

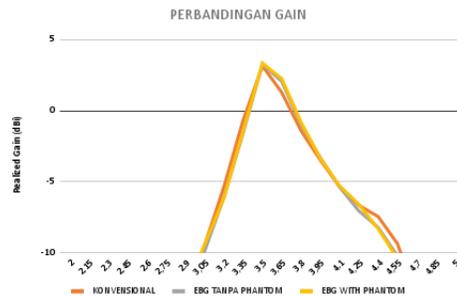
Penambahan *suspended transmission line* dengan 2 port mengakibatkan penurunan nilai S-Parameter pada pita frekuensi tertentu seperti pada gambar 5. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) yang dihasilkan berdasarkan simulasi antenna konvensional dapat diamati pada Gambar 6. Pada gambar tersebut grafik VSWR berada di angka - 1,0469706dB yang menandakan bahwa nilai VSWR telah memenuhi parameter yang telah ditetapkan, yaitu nilai VSWR yang baik < 2 dB dengan nilai frekuensi 3,48 GHz. Dengan membandingkan pada VSWR yang dihasilkan berdasarkan simulasi antenna dengan penambahan struktur EBG 4x4 dapat dilihat pada gambar 5, dimana pada frekuensi 3,53 GHz nilai VSWR sebesar 1,01. Frekuensi yang bekerja berada di 3,5 GHz dengan nilai VSWR sebesar 1,16 pada gambar 3.1 mengalami pergeseran frekuensi menjadi 3,53 GHz dengan nilai VSWR sebesar 1,03. Gambar 5 merupakan grafik VSWR pada simulasi antenna dengan *phantom*

tanpa tangan dengan jarak 0 mm, pada gambar 5 tersebut bisa dilihat tidak ada perubahan yang beda jauh antara simulasi antenna konvensional pada *phantom* tangan dengan simulasi antenna penambahan struktur EBG 4x4 pada *phantom* tangan. Perbedaannya hanya terjadi pergeseran frekuensi kerja dimana simulasi antenna konvensional pada tangan.



Gambar 6. Perbandingan VSWR Antena konvensional

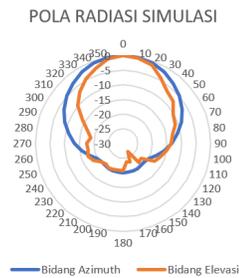
Berdasarkan nilai hasil simulasi untuk nilai *gain* pada antenna konvensional, *gain* pada antenna EBG, dan *gain* pada antenna EBG dengan *phantom*. Nilai *gain* yang didapatkan pada antenna konvensional berdasarkan hasil simulasi adalah sebesar 3,15 dBi. Setelah mendapatkan nilai *gain* dengan antenna konvensional dilakukan simulasi antenna dengan menambahkan struktur EBG. Pada antenna dengan penambahan struktur EBG ini terjadi peningkatan nilai *gain* sebesar 3,27 dBi. Setelah hasil perhitungan simulasi antenna konvensional dan antenna EBG dilakukan simulasi antenna dengan menggunakan antenna EBG. Hasil simulasi menggunakan antenna EBG dengan *phantom* meningkatkan *gain* sebesar 3,34 dBi.



Gambar 7. Perbandingan Simulasi Gain

Pengukuran pola radiasi dilakukan terhadap 2 proyeksi, yaitu proyeksi *azimuth* dan proyeksi elevasi. Gambar 8 merupakan hasil pola radiasi setelah dilakukan simulasi pada *software* CST. Pola radiasi juga dapat digunakan untuk menghitung *gain*, direktivitas, *main lobe*, *Half-Power Beamwidth* (HPBW), side lobes, dan lokasi *null* [11].Berdasarkan gambar 8 pancaran radiasi dari antenna hanya dominan kesatu arah. Oleh karena itu

dapat disimpulkan bahwa pola radiasi dari antenna simulasi adalah *unidirectional*.



Gambar 8. Perbandingan Pola radiasi Simulasi Bidang Azimuth dan Elevasi

Pada simulasi menggunakan phantom tangan dengan jarak 0 mm nilai SAR yang dihasilkan oleh antenna konvensional sebesar 1,9484 W/kg. Pada simulasi yang dilakukan menggunakan antenna dengan penambahan struktur EBG 4x4, maka hasil SAR yang didapatkan sebesar 0,9059 W/kg. Sehingga berdasarkan hasil simulasi ini, penambahan struktur EBG 4x4 pada antenna konvensional dapat menurunkan nilai SAR hingga dibawah batas yang telah ditetapkan yaitu < 1.6 W/kg.

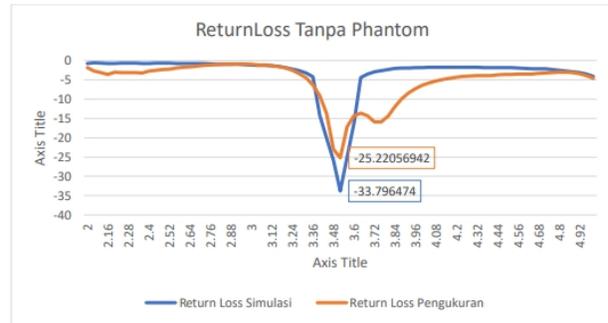
Tabel 4. Nilai SAR

Perbandingan Nilai SAR	
Jenis Antena	SAR (W/Kg)
Antena Konvensional atau antenna tanpa penambahan struktur EBG	1,9484
Antena dengan penambahan struktur EBG 4x4	1,9059

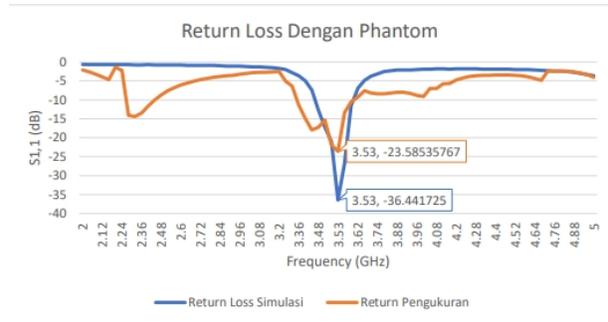
4. Realisasi Antena

Terdapat perbedaan antara *return loss* tanpa *phantom* dan *return loss* dengan *phantom*. Proses pengukuran *return loss* dilakukan dengan dua kondisi. Kondisi pertama yaitu dengan mengukur antenna tanpa adanya tangan (*off body phantom*), lalu pada kondisi antenna diukur dengan meletakkan tangan didekat antenna (*on body phantom*). Proses ini dilakukan untuk melihat kinerja antenna yang diukur. Perbandingan 2 antenna simulasi dan pengukuran terdapat perbedaan yaitu antenna simulasi tanpa *phantom* memiliki nilai -33,79 antenna simulasi dengan *phantom* memiliki nilai -36,44 sedangkan antenna pengukuran tanpa *phantom* memiliki nilai -25,22 dan antenna pengukuran dengan *phantom* memiliki nilai -23,58.

Pengukuran dilakukan untuk melihat kinerja antenna dilakukan dua kali pertama dengan adanya tangan *phantom* (*on body*) dan tanpa adanya tangan *phantom* *off body*. Hasil pengukuran antara simulasi dan pengukuran, baik dengan kondisi tanpa *phantom* dan dengan *phantom*



(a) Tanpa *Phantom*



(b) Dengan *Phantom*

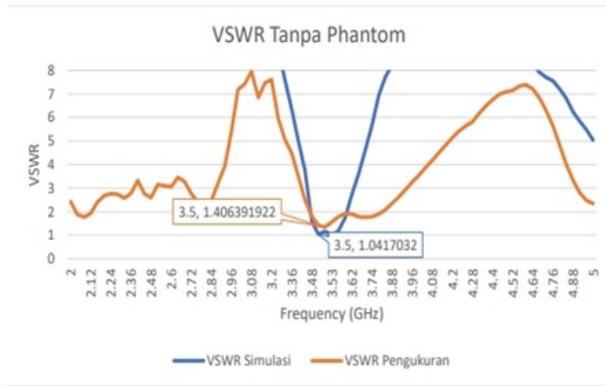
Gambar 9. Perbandingan Return Loss Antena Simulasi dan Antena Pengukuran

Tabel 5. Perbandingan Nilai Gain

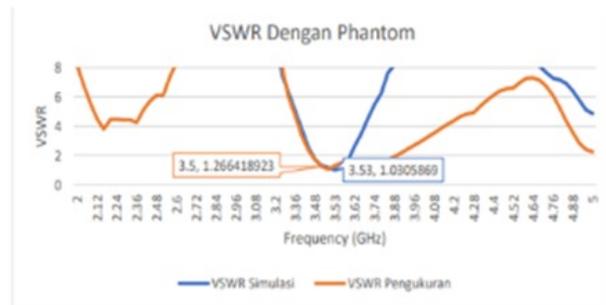
Gain	Simulasi	Pengukuran
Gain Antena tanpa <i>phantom</i>	3,247 dBi	3,174 dBi
Gain Antena dengan <i>phantom</i>	3,348 dBi	-

memiliki hasil yang berbeda. Pada percobaan dengan kondisi simulasi tanpa *phantom* 1,04 sedangkan hasil pengukuran 1,4, begitu pula kondisi simulasi dengan pemasangan *phantom* nilainya 1,03 dan hasil pengukuran 1,26. Perbedaan antara simulasi dan pengukuran disebabkan karena beberapa faktor seperti ketidaktepatan alat ukur ataupun kesalahan pengukur saat proses pengukuran, meskipun hasilnya berbeda namun pengukuran sudah sesuai dengan nilai VSWR yang diinginkan. Setelah mendapatkan nilai *gain* dari hasil simulasi dilakukanlah perhitungan untuk membuktikan nilai pada hasil simulasi.

Pada hasil nilai *gain* dengan simulasi tanpa *phantom* memiliki nilai 3,247 dBi sedangkan nilai *gain* yang didapatkan pada hasil pengukuran antenna tanpa *phantom* memiliki nilai 3,174 dBi. Hasil nilai *gain* pada simulasi antenna dengan *phantom* memiliki nilai *gain* sebesar 3,348 dBi. Hasil pengukuran dan simulasi memiliki nilai *gain* yang sedikit berbeda pada pengukuran dan simulasi. Perbedaan ini disebabkan oleh



(a) Tanpa Phantom



(b) Dengan Phantom

Gambar 10. Perbandingan VSWR Antena Simulasi dan Antena Pengukuran

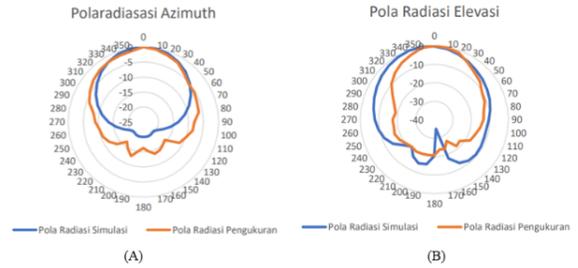
jarak antena referensi dan antena pengukuran yang tidak akurat, proses pemutaran sudut yang tidak akurat karena dilakukan dengan cara manual, dan proses antara pengukuran sudut dengan pengumpulan data S21 tidak akurat.

Tabel 6. Perbandingan hasil dengan penelitian lain

Referensi	Dimensi Antena (mm3)	Nilai SAR (W/Kg)	Frekuensi (GHz)
[12]	40 x 34	1,25	2,45
[13]	35 x 35	1,17	5,8
[14]	25 x 25	1,42	5,8
[15]	11 x 11	1,267	1,27
Penelitian ini	75 x 75	0,9059	3,5

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada proyeksi *azimuth* dan juga proyeksi elevasi. pengukuran dilakukan dengan memutar antena setiap 10°. Setelah didapat hasil pengukuran pola radiasi antena selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil pola radiasi antena pada simulasi dan pengukuran. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar 11 (A) dan (B).

Dapat dilihat pada gambar 11 (A) dan gambar 11 (B) terdapat perbedaan pada hasil simulasi dan pengukuran pola radiasi antena. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah ketidak akuratan jarak



Gambar 11. Perbandingan Pola Radiasi Simulasi dan Pengukuran: (A)Bidang Azimuth (B)Bidang Elevasi

antara antena pengukuran dengan antena referensi. Selain itu, karena pengukuran dilakukan secara manual maka terdapat ketidak akuratan saat pemutaran sudut dan juga pengumpulan data.

Terdapat beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Perbandingan hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 6. Berdasarkan tabel 6 dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan antena pada penelitian ini mendapat nilai SAR paling bagus dengan nilai terkecil yaitu 0,9059 dan telah memenuhi standar nilai SAR yaitu 1,6 W/Kg.

5. Conclusion

Dalam penelitian antena mikrostrip dengan penambahan struktur metamaterial EBG 4x4 baik pada simulasi maupun pengukuran berhasil bekerja pada frekuensi yang sesuai dengan parameter yang telah ditentukan yaitu pada frekuensi 3,5 GHz (5G). Antena dengan penambahan struktur metamaterial EBG 4x4 berhasil dapat menurunkan nilai SAR yaitu < 1,6 W/kg. Nilai SAR sebelum penambahan struktur EBG adalah 1,9484 W/Kg, namun setelah dilakukan penambahan struktur EBG jenis *like-mushroom* adalah 0,9059 W/Kg. Hasil simulasi maupun pengukuran dari antena yang telah dirancang juga telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan yaitu nilai *return loss* yang < -10 dB, nilai VSWR yang < 2, nilai *gain* > 1 dB, hingga pola radiasi yang berbentuk *unidirectional*.

References

[1] H. U. Mustakim, "Tantangan implementasi 5g di indonesia," *INTEGER: Journal of Information Technology*, vol. 4, no. 2, 2019.

[2] Y. ARIYANTO, H. PUTRI, and A. NOVIANTI, "Perencanaan lte-a untuk heterogeneous network dengan metode cads4 di grand asia afrika," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 3, p. 663, 2021.

[3] G. Mu and P. Ren, "A compact dual-band metasurface-based antenna for wearable medical

- body-area network devices,” *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2020, no. 1, p. 4967198, 2020.
- [4] F. F. Hashim, W. N. L. B. Mahadi, T. B. Abdul Latef, and M. B. Othman, “Key factors in the implementation of wearable antennas for wbns and ism applications: A review wbns and ism applications: A review,” *Electronics*, vol. 11, no. 15, p. 2470, 2022.
- [5] P. G. A. Murti, L. O. Nur, and T. Yunita, “Antena mikrostrip dual band bahan fleksibel frekuensi 2, 45 ghz dan 5, 85 ghz untuk aplikasi telemedis dual band mikrostrip antenna flexible material frequency of 2.45 ghz and 5.85 ghz for telemedicine application.”
- [6] R. S. M. Purba, L. O. Nur, and H. H. Ryanu, “Antena wearable patch triangular ultra wideband untuk aplikasi kesehatan,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2022, pp. 286–294.
- [7] L. Ammai, L. O. Nur, and R. Anwar, “Penurunan mutual coupling antena mimo menggunakan periodik defected ground structure u-shape,” *TEKTRIKA-Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika*, vol. 5, no. 2, pp. 42–48, 2020.
- [8] D. Haryanto, L. O. Nur, and A. Munir, “Dual-band wearable reflector berbasis artifical magnetic conductor,” *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [9] A. Atmaja, “Rancang bangun antena mikrostrip dual band untuk aplikasi lte dan wimax menggunakan teknik pencatuan proximity coupled,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2020, pp. 211–219.
- [10] S. Salsabila, H. H. Ryanu, and L. O. Nur, “Wearable antenna jenis mikrostrip dengan struktur electromagnetic band gap (ebg) untuk komunikasi wireless pada tubuh,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2022, pp. 267–276.
- [11] A. Pandey, *Practical microstrip and printed antenna design*. Artech House, 2019.
- [12] S. Karthikeyan, Y. V. Gopal, V. G. N. Kumar, and T. Ravi, “Design and analysis of wearable antenna for wireless body area network,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 590, no. 1. IOP Publishing, 2019, p. 012022.
- [13] D. N. A. Hakim, B. S. Nugroho, and E. Edwar, “Perancangan dan realisasi slot ring patch wearable antenna dengan srr metamaterial untuk mengurangi specific absorption rate (sar),” *eProceedings of Engineering*, vol. 9, no. 6, 2023.
- [14] D. Almira, B. S. Nugroho, and L. O. Nur, “Antena wearable patch sirkular untuk monitoring kesehatan,” *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [15] P. I. Wahyuningsih, L. O. Nur, and E. Edwar, “Perancangan antena mikrostrip untuk mendekteksi perubahan gula darah secara non-inovatif,” *TEKTRIKA-Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika*, vol. 7, no. 2, pp. 65–72, 2022.