

Wearable Antenna Jenis Mikrostrip dengan Struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) untuk Komunikasi *Wireless* pada Tubuh

Wearable Microstrip Antenna Using Electromagnetic Band Gap (EBG) Structure for Body Wireless Communication

Salwa Salsabila^{1*}, Harfan Hian Ryanu², Levy Olivia Nur³

^{1*,2,3} Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No. 1, Terusan Buah Batu – Bojongsong, Bandung, Jawa Barat 40257
salwasalsabilaf@student.telkomuniversity.ac.id^{1*}, harfanhr@telkomuniversity.ac.id², levyolivia@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak – Wearable antenna jenis mikrostrip merupakan salah satu teknologi komunikasi nirkabel untuk tujuan pemantauan pada manusia yang dapat terintegrasi dengan pakaian serta menjaga kenyamanan pengguna. Akan tetapi, antenna mikrostrip memiliki sejumlah kelemahan seperti gain dan efisiensi yang rendah, lebar pita sempit serta adanya gelombang permukaan yang dapat merusak pola radiasi. Selain itu, penggunaan wearable antenna memungkinkan terjadinya efek mutual coupling antara tubuh dengan antenna yang dapat mengubah frekuensi kerja, penurunan kinerja antenna dan efek radiasi pada tubuh. Berdasarkan permasalahan di atas, diberikan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) dengan unit cell berbentuk *Mushroom-like EBG* dan via pada bagian tengah EBG. Penggunaan struktur EBG tersebut dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi efek mutual coupling, menghasilkan pola radiasi yang lebih baik serta mengurangi efek radiasi pada tubuh. Pengujian dilakukan pada antenna tanpa struktur EBG dan dengan struktur EBG pada rentang lebar pita 10-100 MHz untuk frekuensi kerja 3,5 GHz 5G Band (n78 3500 MHz) dan nilai SAR $\leq 1,6$ W/Kg. Didapat nilai VSWR < 2 , return loss ≤ -10 , lebar pita > 30 MHz dan gain > 5 dB.

Kata Kunci: wearable antenna, mikrostrip, electromagnetic band gap

Abstract – The microstrip wearable antenna is a wireless communication technology for monitoring the human body that can be integrated with clothing and maintain user safety and comfort. However, microstrip antenna have some disadvantages such as low gain and efficiency, narrow bandwidth and surface waves that can destroy the radiation pattern. In addition, the use of a wearable antenna possibly makes a mutual coupling effect between the body and the antenna which can change the resonant frequency, decrease the performance of the antenna and the effect of radiation on the body. Based on these problems, an *Electromagnetic Band Gap* (EBG) structure was added with a unit cell in the shape of a *Mushroom-like EBG* and a via in the centre of the EBG the antenna design. The use of the EBG structure can increase efficiency, reduce the effect of mutual coupling, produce a better radiation pattern and reduce the effects of radiation on the body. The study was carried out on antennas without EBG structure and with EBG structure in a bandwidth range of 10-100 MHz for a resonant frequency of 3.5 GHz 5G Band (n78 3500 MHz) and a SAR value less than 1.6 W/Kg. The value of VSWR < 2 , return loss ≤ -10 , bandwidth > 30 MHz and gain > 5 dB.

Keywords: wearable antenna, mikrostrip, electromagnetic band gap

1. Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi komunikasi *wireless* untuk tujuan pemantauan pada manusia telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu komponen yang digunakan yaitu *wearable antenna* yang memiliki keunikan karena dapat terintegrasi dengan pakaian. Kelompok

standarisasi IEEE 802.15 telah menentukan standar pada penelitian antena dan propagasi untuk sistem komunikasi baik di tubuh, di dalam tubuh maupun di luar tubuh [1].

Jenis antena yang digunakan untuk *wearable antenna* yaitu antena mikrostrip karena dimensinya kecil sehingga akan mudah untuk diintegrasikan ke pakaian serta dapat menjaga kenyamanan pengguna. Akan tetapi, antena jenis ini memiliki sejumlah kelemahan seperti *gain* dan efisiensi yang rendah, lebar pita sempit serta adanya gelombang permukaan yang dapat merusak pola radiasi [2]. *Wearable antenna* dengan tujuan pemantauan membuat antena berada dekat tubuh manusia. Memposisikan antena dekat tubuh menyebabkan terjadinya efek *mutual coupling* antara tubuh manusia dengan antena yang dapat mengubah frekuensi kerja serta terjadinya penurunan kinerja pada antena. Selain itu, efisiensi dari pancaran radiasi antena pun berkurang karena adanya penyerapan radiasi oleh jaringan tubuh. Penyerapan radiasi gelombang elektromagnetik oleh tubuh dianggap berbahaya bagi kesehatan jaringan tubuh manusia [3]. Oleh karena itu, telah ditetapkan nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) oleh standar internasional ANSI/IEEE (Amerika), bahwa nilai SAR yang aman bagi tubuh manusia adalah sebesar 1,6 W/Kg [4].

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan di atas, penulis mengusulkan suatu metode yaitu penggunaan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG). Penggunaan struktur EBG dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi efek *mutual coupling*, mengurangi *back radiation* yang dapat meningkatkan nilai *gain* serta menghasilkan pola radiasi yang lebih baik [5]. Menurut hasil penelitian pada [3], nilai SAR yang dihasilkan setelah penggunaan struktur EBG diketahui mengalami penurunan yang signifikan sehingga penggunaan struktur EBG dapat menjadi solusi untuk *wearable antenna* jenis mikrostrip sebagai alat komunikasi nirkabel pada tubuh.

2. Metode Penelitian

Struktur penyusun dari antena jenis ini pada dasarnya sama saja dengan antena mikrostrip biasa yaitu terdiri dari *patch*, substrat dan *groundplane*. Namun, untuk memungkinkan penggunaan antena yang nyaman pada tubuh, bahan dari *patch* dan substrat yang digunakan memiliki karakteristik tertentu. Bahan *patch* dan substrat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. [6].

Tabel 4. Karakteristik Bahan

| Komponen | Bahan | Permitivitas Relatif (ϵ_r) | Massa (Kg/m^2) | Ketebalan (mm) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|
| <i>Patch</i> dan <i>Groundplane</i> | <i>Copper tape</i> | - | - | t = 0.1 |
| Substrat | <i>Cordura Delinova 200</i> | 1.6 | 0.370 | h = 0.5 |

Antena yang akan dirancang memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 2. berikut dengan nilai impedansi input $Z_0 = 50 \Omega$.

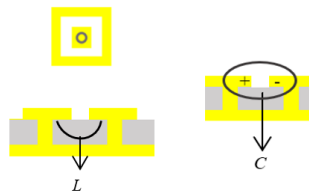
Tabel 5. Spesifikasi Antena

| Parameter | Spesifikasi |
|-----------------|-----------------------|
| Frekuensi Kerja | 3,5 GHz 5G Band |
| <i>Gain</i> | > 5 dB |
| VSWR | < 2 |
| Pola Radiasi | <i>Unidirectional</i> |

| Parameter | Spesifikasi |
|------------|---|
| Lebar Pita | Channel bandwidths in 3,5 GHz 5G Band: 10,15,20,30,40,50,60,70,80,90,100 MHz |
| SAR | ≤ 1.6 W/kg |

Pada penelitian ini, antenna bekerja pada frekuensi 3,5 GHz 5G Band (n78 3500 MHz) atau biasa disebut dengan *C-band* 5G. *C-band* 5G merupakan frekuensi kerja yang banyak digunakan dalam uji coba pengembangan 5G untuk komunikasi nirkabel sederhana pada spektrum 3,3-3,8 GHz [7].

2.1. Struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG)

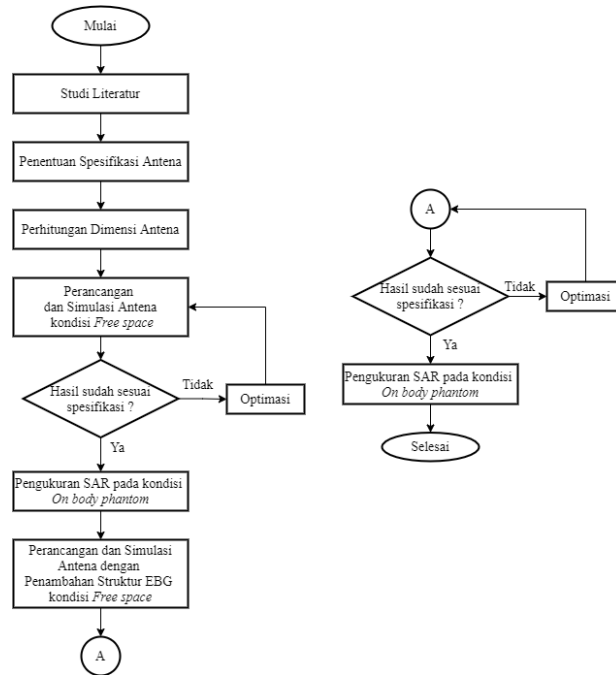


Gambar 10. *Mushroom-like* EBG

Struktur EBG berbentuk seperti jamur atau *Mushroom-like* EBG dan terdapat sebuah *via* di bagian tengah EBG yang menghubungkannya dengan *groundplane*. 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 pula nilai kapasitansi *C* yang muncul akibat adanya celah antar bagian EBG baik antar bagian dalam satu *unit cell* maupun antara *unit cell* satu dengan lainnya [8].

2.2. Model dan Sistem Perancangan

Dilakukan perancangan *wearable antenna* jenis mikrostrip untuk mengetahui ukuran antenna sebelum disimulasikan. Berikut merupakan metode perancangan *wearable antenna* jenis mikrostrip pada Gambar 2. dalam bentuk Diagram Alir.

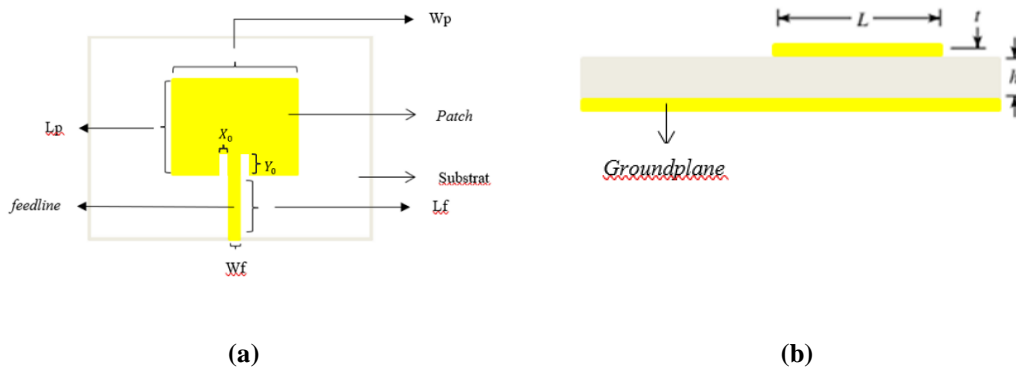


Gambar 11. Diagram Alir

Metode perancangan pada Gambar 2. dilakukan secara bertahap dimulai dengan studi literatur untuk mendukung pemahaman konsep dan teori mengenai kinerja dari *wearable antenna* dengan penambahan struktur EBG dan tanpa penambahan struktur EBG serta efek radiasi gelombang elektromagnetik dari *wearable antenna* pada tubuh. Selanjutnya dilakukan penentuan spesifikasi antenna serta perhitungan dimensi untuk mencapai spesifikasi yang telah ditentukan sebelum melakukan perncangan dan simulasi. Proses perancangan dan simulasi terdiri atas dua tahap yaitu perancangan dan simulasi sebelum ditambahkan struktur EBG dan setelah ditambahkan struktur EBG. Perancangan dan simulasi pertama dilakukan untuk mengukur nilai SAR yang dihasilkan, setelah itu dilanjutkan ke perancangan dan simulasi tahap dua dengan menambahkan struktur EBG untuk mengurangi nilai SAR yang dihasilkan antenna.

2.1.1. Perancangan Antena Tanpa Struktur EBG

Pada perancangan dan simulasi antenna tahap ini, antenna yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3. dengan besar *groundplane* sama dengan besar substratnya.



Gambar 12. (a) Struktur Penyusun Antena Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Antena pada Gambar 3. di atas dirancang dengan parameter hasil perhitungan dengan rumus penentuan dimensi pada [9] sehingga menghasilkan nilai pada Tabel 3. berikut.

Tabel 6. Parameter Antena Hasil Perhitungan

| Parameter | Nilai (mm) | Keterangan |
|-----------|------------|---|
| W_p | 37.58 | Lebar <i>patch</i> |
| L_p | 33,53 | Panjang <i>patch</i> |
| W_g | 75.16 | Lebar substrat dan <i>groundplane</i> |
| L_g | 67.53 | Panjang substrat dan <i>groundplane</i> |
| W_f | 2 | Lebar <i>feed</i> |
| L_f | 17 | Panjang <i>feed</i> |
| t | 0.1 | Tebal <i>patch</i> dan <i>groundplane</i> |
| h | 0.5 | Tebal substrat |

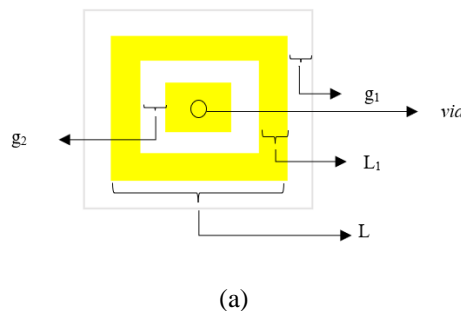
Pada penelitian ini, dilakukan optimasi *inset feed* untuk memastikan bahwa antena bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Berikut nilai hasil optimasi dalam penentuan dimensi *inset feed* pada Tabel 4.

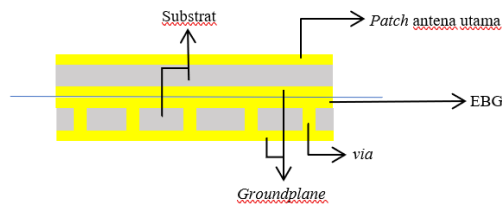
Tabel 7. Parameter *Inset Feed* Hasil Optimasi

| Parameter | Nilai (mm) | Keterangan |
|-----------|------------|---------------------------|
| X_0 | 3 | Lebar <i>inset feed</i> |
| Y_0 | 9 | Panjang <i>inset feed</i> |

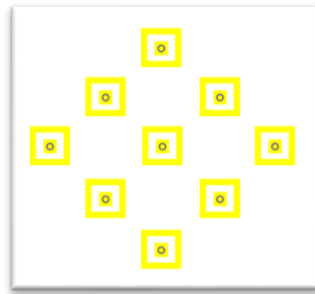
2.1.2. Perancangan Antena Dengan Struktur EBG

Berdasarkan penelitian pada [10][11], EBG diketahui dapat mengurangi nilai SAR yang dihasilkan antena. Perancangan Struktur EBG yang digunakan yaitu jenis *Mushroom-like* EBG dengan rancangan seperti pada Gambar 4. berikut.





(b)



(c)

Gambar 13. (a) *Unit cell Mushroom-like* EBG (b) Antena dengan EBG Tampak Samping (c) EBG Tampak Depan

Parameter yang digunakan dalam perancangan unit cell EBG dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 8. Parameter *Unit Cell* EBG

| Parameter | Keterangan |
|-----------|----------------------------------|
| L | Panjang dan lebar EBG |
| L_1 | Jarak antara EBG dan slot |
| g_1 | Celah antar <i>unit cell</i> EBG |
| g_2 | Lebar slot dalam |

2.1.3. Body-Phantom

Model *body phantom* yang ditambahkan untuk pengukuran nilai SAR pada dua bagian tubuh yaitu tangan dan dada seperti pada Tabel 6. [12].

Tabel 9. Komponen Penyusun *Body-Phantom*.

| Lapisan | Permitivitas Relatif (ϵ_r) | Konduktivitas (S/m) | Density (Kg/m^3) | Ketebalan (mm) | |
|---------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|--------|
| | | | | Dada | Tangan |
| Kulit | 37,005 | 2,0249 | 1090 | 2 | 1,5 |
| Lemak | 5,1739 | 0,15553 | 930 | 8 | 1,5 |
| Otot | 51,444 | 2,5575 | 1050 | 23 | 2,5 |
| Tulang | 5,1861 | 0,14515 | - | - | 19 |



Gambar 14.(a) *Phantom Dada* (b) *Phantom Tangan*

3. Hasil dan Pembahasan

Dilakukan simulasi pada perancangan antenna tanpa struktur EBG. Perancangan antenna tanpa struktur EBG menghasilkan nilai parameter antenna seperti *VSWR*, *return-loss*, lebar pita, dan *gain*. Simulasi dilanjutkan dengan penambahan struktur *body-phantom* pada bagian tangan dan dada untuk mengukur nilai SAR yang dihasilkan dengan beberapa jarak antara *body-phantom* dan antenna.

3.1. Hasil Simulasi Antenna Tanpa Struktur EBG

Hasil simulasi antenna tanpa struktur EBG kondisi *on-body phantom* bagian Lengan seperti pada Tabel 7. berikut.

Tabel 10. Hasil Simulasi *On-Body Phantom* Lengan

| Jarak (mm) | VSWR | <i>Return-loss</i> | Lebar Pita (MHz) | Gain (dB) | SAR (W/Kg) |
|------------|------|--------------------|------------------|-----------|----------------|
| 0 | 1,37 | -16,06 | 31,20 | 7,41 | 0,264 |
| 5 | 1,37 | -16,00 | 30,90 | 6,87 | 0,148 |
| 10 | 1,37 | -16,00 | 30,90 | 6,92 | 0,157 |

Setelah pengukuran nilai SAR pada bagian Lengan, dilakukan pengukuran nilai SAR pada bagian Dada dengan hasil pada Tabel 8. Berikut.

Tabel 11. Hasil Simulasi *On-Body Phantom* Dada

| Jarak (mm) | VSWR | Return-loss | Lebar Pita (MHz) | Gain (dB) | SAR (W/Kg) |
|------------|------|-------------|------------------|-----------|----------------|
| 0 | 1,37 | -16,05 | 31,20 | 7,40 | 0,295 |
| 5 | 1,34 | -16,61 | 32,00 | 7,51 | 0,099 |
| 10 | 1,36 | -16,25 | 31,40 | 7,38 | 0,068 |

3.2. Hasil Simulasi Antena Dengan Struktur EBG

Hasil simulasi antena tanpa struktur EBG kondisi *on-body phantom* bagian Lengan seperti pada Tabel 9. berikut.

Tabel 12. Hasil Simulasi *On-Body Phantom* Lengan

| Jarak (mm) | VSWR | Return-loss | Lebar Pita (MHz) | Gain (dB) | SAR (W/Kg) |
|------------|------|-------------|------------------|-----------|----------------|
| 0 | 1,03 | -35,09 | 59,10 | 7,46 | 0,084 |
| 5 | 1,03 | -34,93 | 59,40 | 7,55 | 0,031 |
| 10 | 1,03 | -35,10 | 59,40 | 7,07 | 0,012 |

Tabel 13. Hasil Simulasi *On-Body Phantom* Dada

| Jarak (mm) | VSWR | Return-loss | Lebar Pita (MHz) | Gain (dB) | SAR (W/Kg) |
|------------|------|-------------|------------------|-----------|----------------|
| 0 | 1,14 | -44,56 | 58,90 | 7,23 | 0,034 |
| 5 | 1,10 | -44,88 | 59,10 | 7,21 | 0,023 |
| 10 | 1,10 | -44,67 | 59,00 | 7,18 | 0,013 |

3.3. Dimensi Akhir Perancangan Antena

Dilakukan optimasi pada dimensi antena setelah diberi penambaha struktur EBG. Optimasi yang dilakukan yaitu mengubah ukuran *patch* dan pemotongan sebagian *groundplane* antena dengan diikuti dengan perubahan nilai *unit cell* EBG. Perubahan nilai *unit cell* EBG akan selalu mengikuti perubahan nilai *patch* karena dimensi *unit cell* EBG diambil dari perbandingan nilai *patch* dengan perbandingan antara lebar *patch* dengan panjang dan lebar EBG sebesar 4 : 1.

Tabel 14. Parameter Antena Hasil Optimasi

| Parameter | Nilai (mm) | Keterangan |
|-----------|------------|---|
| Wp | 37,025 | Lebar <i>patch</i> |
| Lp | 33,03 | Panjang <i>patch</i> |
| Wg | 75,16 | Lebar substrat dan <i>groundplane</i> |
| Lg | 67,53 | Panjang substrat dan <i>groundplane</i> |
| Wf | 2 | Lebar <i>feed</i> |
| Lf | 16,75 | Panjang <i>feed</i> |

| Parameter | Nilai (mm) | Keterangan |
|-----------|------------|---|
| t | 0.1 | Tebal <i>patch</i> dan <i>groundplane</i> |
| h | 0.5 | Tebal substrat |
| L | $Wp/4$ | Panjang dan lebar EBG |
| L_1 | 3 | Jarak antara EBG dan slot |
| g_1 | 3 | Celah antar <i>unit cell</i> EBG |
| g_2 | 3 | Lebar slot dalam |

Tabel 15. Tabel Perbandingan Hasil Simulasi

| | Tanpa Struktur EBG | | | | | | Dengan Struktur EBG | | | | | |
|------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | Dada | | | Tangan | | | Dada | | | Tangan | | |
| Jarak (mm) | 0 | 5 | 10 | 0 | 5 | 10 | 0 | 5 | 10 | 0 | 5 | 10 |
| SAR (W/Kg) | 0,295 | 0,099 | 0,068 | 0,264 | 0,148 | 0,157 | 0,034 | 0,021 | 0,013 | 0,084 | 0,031 | 0,012 |
| VSWR | 1,37 | 1,34 | 1,36 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,14 | 1,10 | 1,10 | 1,03 | 1,03 | 1,03 |
| Return Loss | -16,05 | -16,61 | -16,25 | -16,06 | -16,00 | -16,00 | - | -44,88 | -44,67 | -35,09 | -34,93 | - |
| Lebar Pita (MHz) | 31,20 | 32,00 | 31,40 | 31,20 | 30,90 | 30,90 | 58,90 | 59,10 | 59,00 | 59,10 | 59,40 | 59,40 |
| Gain (dB) | 7,40 | 7,51 | 7,38 | 7,41 | 6,87 | 6,92 | 7,23 | 7,21 | 7,18 | 7,46 | 7,55 | 7,07 |

Berdasarkan tabel di atas, pada simulasi antenna tanpa EBG terlihat bahwa nilai SAR lebih besar dibanding dengan antenna EBG. Hal tersebut sebagai akibat dari adanya struktur EBG yang dapat menyerap pancaran radiasi ke arah belakang antenna sehingga nilai SAR menurun. Selain itu, terdapat pula peningkatan lebar pita yang dihasilkan setelah melakukan optimasi pengurangan dimensi *groundplane* antenna.

4. Kesimpulan

Telah dilakukan perancangan dan simulasi antenna *patch rectangular* dengan penambahan struktur EBG yang disusun bertumpuk. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, penambahan struktur EBG dapat mengurangi nilai SAR dengan rata-rata pengurangan sebesar 0,13 pada bagian dada dan 0,44 pada bagian lengan. Terdapat pula peningkatan lebar pita dengan rata-rata sebesar 20 MHz. Dengan pengurangan nilai SAR dan peningkatan lebar pita tersebut, *wearable antenna* dengan penambahan struktur *mushroom-like* EBG yang disusun bertumpuk dapat menjadi solusi untuk sistem komunikasi nirkabel pada tubuh.

Referensi

[1] N. H. M. Rais, P. J. Soh, F. Malek, S. Ahmad, N. B. M. Hashim, and P. S. Hall, "A review of wearable antenna," *Loughbrgh. Antennas Propag. Conf. LAPC 2009 - Conf. Proc.*, no. May 2014, pp. 225–228, 2009, doi: 10.1109/LAPC.2009.5352373.

[2] M. I. Zaman, F. T. Hamedani, and H. Amjadi, "A new EBG structure and its application on microstrip patch antenna," *2012 15th Int. Symp. Antenna Technol. Appl. Electromagn. ANTEM 2012*, pp. 2–4, 2012, doi: 10.1109/ANTEM.2012.6262420.

[3] A. Y. I. Ashyap *et al.*, "Highly efficient wearable CPW antenna enabled by EBG-FSS

- structure for medical body area network applications,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 77529–77541, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2883379.
- [4] G. Mu and P. Ren, “A Compact Dual-Band Metasurface-Based Antenna for Wearable Medical Body-Area Network Devices,” *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/4967198.
- [5] M. S. Alam, N. Misran, B. Yatim, and M. T. Islam, “Development of electromagnetic band gap structures in the perspective of microstrip antenna design,” *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/507158.
- [6] R. Salvado, C. Loss, Gon, and P. Pinho, “Textile materials for the design of wearable antennas: A survey,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, pp. 15841–15857, 2012, doi: 10.3390/s121115841.
- [7] “What is n78 band of 5G Network?,” *Router-switch.com*, 2020. .
- [8] Z. Guo, H. Tian, X. Wang, Q. Luo, and Y. Ji, “Bandwidth enhancement of monopole uwb antenna with new slots and ebg structures,” *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 1550–1553, 2013, doi: 10.1109/LAWP.2013.2292063.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [10] O. Ayop, M. K. A. Rahim, and T. Masri, “Dual Band Electromagnetic Band Gap (EBG) Structure,” vol. 1, pp. 6–8, 2007.
- [11] A. Ahmad, F. Faisal, S. Khan, S. Ullah, and U. Ali, “Performance Analysis of a Wearable and Dual Band Planar Antenna Using a Mushroom-like Electromagnetic Bandgap (EBG) Ground Plane,” pp. 24–29, 2015.
- [12] M. El Atrash, M. A. Abdalla, and H. M. Elhennawy, “A Wearable Dual-Band Low Profile High Gain Low SAR Antenna AMC-Backed for WBAN Applications,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 67, no. 10, pp. 6378–6388, 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2923058.