

Desain Antena Mikrostrip UWB dengan Peningkatan Lebar Pita dan Karakteristik *Triple Notch Band*

(*Bandwidth Enhanced UWB Microstrip Antenna Design with Triple Notch Band Characteristics*)

Harfan Hian Ryanu¹, Dhoni Putra Setiawan², Edwar³

Abstract—Ultra-Wideband Antenna (UWB) with its natural wideband characteristic is a good solution to answer the need of recent wireless technology development that requires the antenna to operate in multiple frequency services. However, the UWB antenna has a major issue related to electromagnetic interference from unused bands. Thus, it is required for the UWB antenna to be modified to overcome the electromagnetic interference problem. This paper discusses the design of UWB hexagonal monopole planar microstrip antenna with bandwidth enhancement characteristics using hexagonal shaped EBG and triple notch band characteristic using three different slots. The study was conducted by integrating an EBG structure with a hexagonal-shaped monopole planar antenna for the antenna to work at 2,8–16 GHz bandwidth. The combination of L-shaped, horizontal, and round-shaped slots with different lengths are also integrated into the patch to remove three frequency bands at WLAN (4,9–6,2 GHz), satellite downlink communication (7,1–7,6 GHz), and Direct Broadcasting Satellite (DBS) (12,2–12,7 GHz). This method was capable to enhance the bandwidth of the UWB antenna from 7,72 GHz to 13,22 GHz without changing other characteristics such as radiation patterns. The integration process of triple notch bands was also implemented without changing the overall dimension of the antenna, which is 35,6 mm × 27,3 mm.

Intisari—Antena *Ultra-Wideband* (UWB) dengan karakteristik natural pita lebar adalah solusi yang baik dalam memenuhi kebutuhan perkembangan teknologi nirkabel yang saat ini membutuhkan antena yang dapat beroperasi pada beberapa pita layanan sekaligus. Namun, antena UWB tidak terlepas dari permasalahan interferensi elektromagnetik pada beberapa layanan yang tidak digunakan. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pada antena UWB agar dapat mengatasi permasalahan interferensi elektromagnetik tersebut. Dalam makalah ini, perancangan antena mikrostrip UWB berbentuk heksagonal *monopole planar* dengan karakteristik peningkatan lebar pita menggunakan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) dan *triple notch band* dengan menggunakan tiga jenis *slot* telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan mengintegrasikan struktur EBG untuk dapat bekerja pada rentang lebar pita 2,8–16 GHz pada antena, lalu menambahkan kombinasi *slot* berbentuk huruf L, *slot* horizontal, dan *slot* melingkar dengan ukuran dimensi yang berbeda ke dalam *patch* untuk mendapatkan penolakan tiga pita frekuensi, yaitu pada frekuensi WLAN (4,9–6,2 GHz), komunikasi *downlink* satelit *X-Band*

(7,1–7,6 GHz), dan komunikasi *Direct Broadcasting Satellite* (DBS) (12,2–12,7 GHz). Dengan metode ini, berhasil diperoleh peningkatan lebar pita antena UWB dari 7,72 GHz menjadi sebesar 13,22 GHz, tanpa mengubah karakteristik pola radiasi antena. Penambahan tiga *notch band* juga berhasil diimplementasikan tanpa harus mengubah dimensi antena keseluruhan, yaitu sebesar 35,6 mm × 27,3 mm.

Kata Kunci—Antena UWB, Penolakan Pita, Struktur EBG, Peningkatan Lebar Pita, *Monopole Planar*.

I. PENDAHULUAN

Sejak Federal Communication Commission (FCC) merilis pita frekuensi 3,1–10,6 GHz yang digunakan untuk kebutuhan komersial *Ultra-Wideband* (UWB) pada tahun 2002 [1], teknologi UWB menjadi sangat populer untuk digunakan pada komunikasi *indoor* dan jarak dekat. Kepopuleran tersebut diakibatkan tidak lain karena perkembangan teknologi nirkabel dengan frekuensi layanan yang semakin beragam, sehingga dibutuhkan lebih dari satu antena yang beroperasi pada beberapa pita layanan sekaligus. Antena UWB dengan karakteristik pita lebar dapat menggantikan beberapa antena dengan pita sempit sehingga secara efektif dapat mengurangi jumlah antena.

Tantangan utama pada antena UWB adalah terdapatnya beberapa layanan yang berada pada pita sempit, seperti *Wireless LAN* (WLAN) pada pita frekuensi 5,15–5,85 GHz, komunikasi *downlink* satelit *X-Band* pada rentang pita 7,1–7,6 GHz, dan komunikasi *Direct Broadcasting Satellite* (DBS) pada pita 11,7–12,5 GHz, yang mengakibatkan permasalahan interferensi elektromagnetik pada sistem UWB. Teknik konvensional yang dapat digunakan untuk mengatasi interferensi adalah dengan menggunakan perangkat filter, tetapi dengan konsekuensi menambah kompleksitas saat diintegrasikan ke dalam sistem. Oleh karena itu, fokus beberapa penelitian pada antena UWB adalah cara mengatasi interferensi elektromagnetik tanpa membuat sistem menjadi lebih kompleks.

Metode yang efektif untuk menghindari interferensi elektromagnetik adalah dengan menggunakan metode penolakan (*notch band*) pada frekuensi yang tidak diinginkan. *Notch band* dapat diperoleh dengan beberapa teknik, antara lain dengan menambahkan *slot* pada antena. Beberapa bentuk *slot* dapat digunakan untuk memperoleh *notch band*, antara lain *slot* bentuk S, bentuk M, dan bentuk L. Dengan menggabungkan beberapa jenis *slot* sekaligus, dapat diperoleh *multi notch band* pada antena UWB [2], sehingga interferensi elektromagnetik

^{1,2,3} Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung, 40257 INDONESIA (telp: 022-7564108; e-mail:

¹harfanhr@telkomuniversity.ac.id,

²setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id,

³edwarm@telkomuniversity.ac.id)

dapat diminimalkan. Selain itu, penolakan frekuensi juga dapat dilakukan dengan menggunakan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) pada *patch/ground*. EBG merupakan sebuah struktur periodik yang dapat melarang propagasi gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi tertentu. Dengan begitu, penolakan pita frekuensi dapat diperoleh dengan mengatur karakteristik struktur periodik dari EBG yang digunakan [3]. Selain digunakan untuk penolakan frekuensi, *slot* dan struktur EBG pada antenna dapat juga digunakan untuk meningkatkan lebar pita. Dengan memotong *slot* pada *ground plane*, dapat dimunculkan frekuensi resonansi tambahan sehingga dapat meningkatkan lebar pita [4]. Peningkatan lebar pita juga dapat dilakukan dengan meletakkan struktur EBG yang berdekatan dengan *feed line* [5]. Beberapa pengembangan peningkatan lebar pita untuk antenna heksagonal antara lain dengan menggunakan *slot* simetris pada *ground plane* [6], dan kombinasi fraktal [7], tetapi besar peningkatan lebar pita tidak terlalu signifikan.

Makalah ini mengusulkan rancangan antenna UWB berbentuk *monopole planar* heksagonal dengan *ground plane* parsial dan mengintegrasikan filter frekuensi *triple notch band* pada pita frekuensi 5,15–5,85 GHz (WLAN), 7,1–7,6 GHz (komunikasi *downlink* satelit X-Band), dan pita 12,2–12,7 GHz (komunikasi DBS). Tiga jenis *slot* dengan ukuran yang berbeda ditambahkan ke *patch* untuk mendapatkan penolakan pita frekuensi. Selain itu, dilakukan juga peningkatan lebar pita dengan menggunakan struktur EBG berbentuk heksagonal. Hasil dari penambahan struktur EBG menunjukkan peningkatan lebar pita dari 7,72 GHz sampai 13,22 GHz. *Gain* maksimum antenna diperoleh sebesar 4,8 dBi pada frekuensi 14 GHz dan efisiensi menunjukkan hasil yang baik dengan rentang 45% sampai 85%.

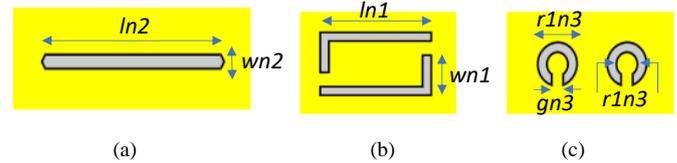
II. METODOLOGI

A. Antena Monopole Planar

Antena *monopole planar* menjadi kandidat yang baik untuk digunakan sebagai komunikasi UWB karena memiliki karakteristik ukuran yang sederhana, ringan, serta proses pabrikasi yang mudah dan biaya yang rendah. Beberapa metode telah digunakan untuk membuat antenna UWB pada *monopole planar*, antara lain dengan teknik *ground plane* parsial [2]–[3], antenna *slot* [8], *Coplanar Wave Guide* (CPW) [9], atau kombinasi antara *slot* dan CPW [10]. Estimasi nilai *lower frequency* (f_L) dari antenna *monopole planar* secara umum dapat menggunakan (1) [11].

$$f_L = \frac{7,2}{\{(L+r+p) \times k\}} \text{ GHz} \quad (1)$$

dengan L , r , p , dan k secara berurutan adalah tinggi *patch* dalam cm, jari-jari efektif antenna dengan ekuivalensi *monopole* silinder, jarak antara *patch* dengan *ground plane*, dan nilai k setara dengan nilai *effective permittivity*. Antena *monopole planar* pada dasarnya terdiri atas beberapa bentuk, antara lain bentuk persegi, melingkar, segitiga, dan heksagonal [11]. Bentuk heksagonal dipilih karena memiliki permukaan *patch* yang luas sehingga cocok untuk dilakukan penambahan *slot*



Gbr. 1 Struktur *slot* untuk penolakan frekuensi, (a) WLAN, (b) satelit X-band, (c) televisi satelit.

notch band. Nilai L , r , dan k untuk antenna *monopole* heksagonal dapat diturunkan menggunakan (2)–(4):

$$L = \sqrt{3}a \quad (2)$$

$$r = \frac{3a}{4\pi} \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} \quad (4)$$

dengan a adalah panjang sisi *patch* heksagonal dan ϵ_r adalah *relative permittivity* bahan substrat. Dalam perancangan antenna UWB ini, bahan substrat yang digunakan adalah FR-4 epoxy dengan nilai $\epsilon_r = 4,3$ dan ketebalan substrat 1,6 mm. Antena dicatu dengan teknik pencatutan *microstrip line* dan terhubung dengan konektor yang memiliki impedansi 50 Ω .

Untuk penerapan *notch band*, dilakukan implementasi *slot* pada *patch* antenna. Hubungan antara panjang slot (L) dengan frekuensi resonansi masing-masing frekuensi (f_{notch}) adalah sesuai dengan (5):

$$f_{notch} = \frac{c}{\{2 \times L \times k\}} \text{ GHz} \quad (5)$$

dengan c adalah kecepatan cahaya dan k setara dengan *effective permittivity* bahan sesuai pada (4) [12].

Pada makalah ini diusulkan tiga jenis *slot*, yaitu *slot* berbentuk horizontal, *slot* berbentuk sepasang huruf L, dan *slot* berbentuk melingkar. Gbr. 1 memperlihatkan konfigurasi *slot* untuk masing-masing *notch band*, dengan nilai panjang (L_{notch}) masing-masing *slot* dapat diperoleh menggunakan (6)–(8).

$$L_{notch(horizontal)} = ln2 \quad (6)$$

$$L_{notch(sepasang \text{ huruf } L)} = ln1 + wn1 \quad (7)$$

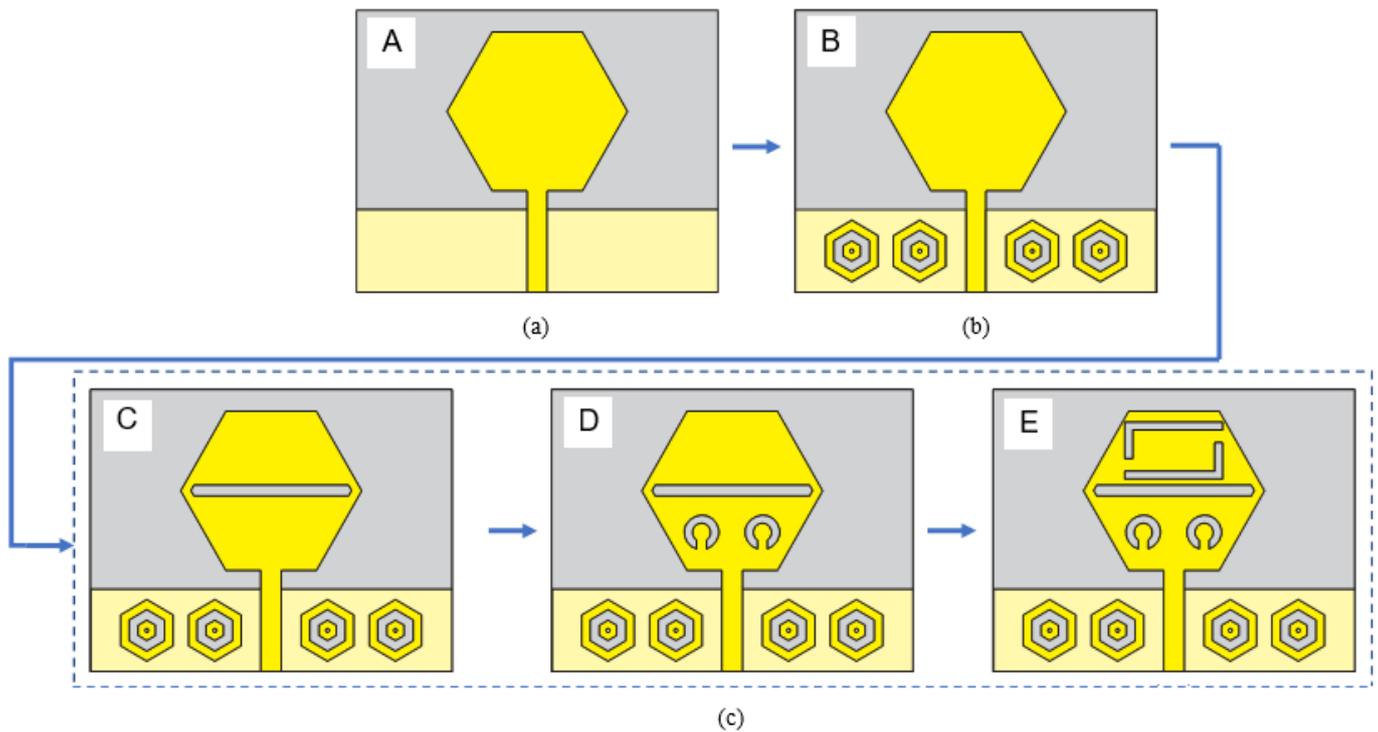
$$L_{notch(melingkar)} = 2 * \pi * \left(\frac{r1n3 + r2n3}{2} \right) - gn3. \quad (8)$$

B. Usulan Desain/Perancangan Antena

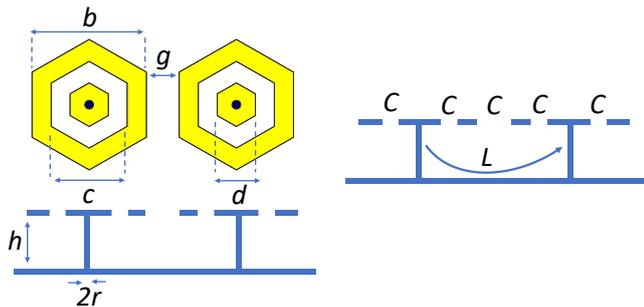
Perancangan antenna dimulai dengan perhitungan dimensi antenna menggunakan persamaan matematis. Desain antenna terdiri atas tiga tahapan utama sesuai pada Gbr. 2.

1) *Antena UWB Monopole Planar Heksagonal*: Pada tahapan pertama konfigurasi A dilakukan perhitungan dimensi *patch* dari *monopole planar* bentuk heksagonal menggunakan (1)–(4). Antena UWB menggunakan *ground plane* parsial yang dicatu dengan *microstrip line* 50 Ω .

2) *Antena UWB dengan Heksagonal EBG*: Pada tahapan kedua konfigurasi B, antenna UWB yang telah berhasil dirancang dipadukan dengan struktur EBG untuk mendapatkan karakteristik peningkatan lebar pita. Sesuai pada Gbr. 3,



Gbr. 2 Tahapan perancangan antenna yang diusulkan, (a) antenna A UWB heksagonal, (b) antenna B UWB heksagonal dengan EBG untuk peningkatan lebar pita, (c) penambahan slot untuk mendapatkan karakteristik triple notch band (antenna C, D, dan E).



Gbr. 3 Struktur sel EBG heksagonal dan rangkaian ekuivalen LC.

struktur EBG berbentuk patch heksagonal dengan cincin slot yang juga berbentuk heksagonal di dalamnya dan sebuah via yang terhubung dengan ground plane pada bagian tengah EBG. Struktur EBG disusun horizontal dengan gap 1,5 mm. Parameter lain dari EBG heksagonal adalah $b = 3$ mm, $c = 2$ mm, $d = 1$ mm, dan $r = 0,2$ mm. Struktur EBG heksagonal dapat digambarkan sebagai rangkaian LC. Induktansi L muncul karena arus yang mengalir pada pin metal, sedangkan kapasitansi C didapat dari gap antara sel yang berdekatan [13].

3) *Antena UWB dengan Heksagonal EBG dan Triple Notch Band Slot*: Pada tahap akhir dilakukan implementasi slot pada EBG secara bertahap pada konfigurasi C sampai E untuk mendapatkan karakteristik filter frekuensi yang diinginkan. Pertama, slot horizontal pada konfigurasi C dipasang untuk mendapatkan penolakan pada pita frekuensi WLAN (5,15–5,85 GHz). Konfigurasi D menambahkan sepasang slot berbentuk melingkar untuk mendapatkan filter pada pita frekuensi DBS (12,2–12,7 GHz). Pada tahap akhir konfigurasi E, dilakukan

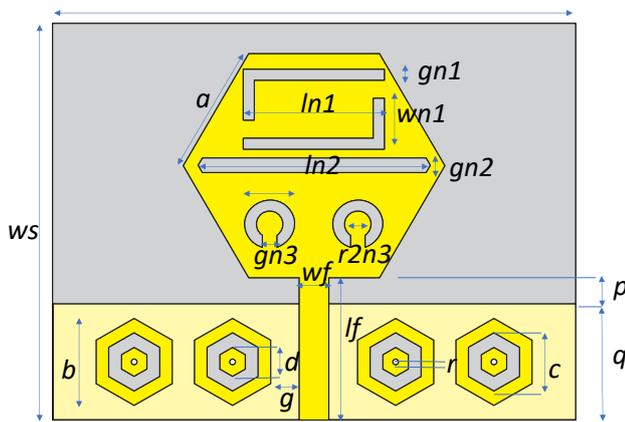
TABEL I
PERBANDINGAN PERHITUNGAN RUMUS DAN HASIL SIMULASI PANJANG SLOT

| Karakteristik | WLAN | Satelit X-Band | DBS |
|---|-----------|----------------|-------------|
| Lebar pita layanan (GHz) | 5,15–5,82 | 7,15–7,75 | 12,2–12,7 |
| Frekuensi tengah notch (GHz) | 5,5 | 7,45 | 12,45 |
| Lebar pita simulasi (GHz) | 4,67–6,01 | 7,17–7,79 | 12,01–12,89 |
| Frekuensi tengah notch simulasi (GHz) | 5,46 | 7,42 | 12,43 |
| Perhitungan rumus panjang slot (mm) | 16,75 | 12,37 | 7,40 |
| Hasil optimasi simulasi panjang slot (mm) | 15,8 | 13,10 | 7,00 |

implementasi filter pada pita frekuensi satelit X-Band (7,1–7,6 GHz) dengan menggunakan sepasang slot berbentuk huruf L. Tujuan diterapkannya notch band adalah untuk menghindari interferensi antenna UWB terhadap layanan pita sempit seperti WLAN, satelit X-band, dan juga layanan DBS. Panjang masing-masing slot sesuai Gbr. 1 dihitung berdasarkan (5)–(8). Tabel I memperlihatkan perbandingan antara perhitungan panjang slot berdasarkan hasil perhitungan teori dengan hasil optimasi menggunakan software simulasi CST Studio.

C. Alat dan Bahan

Bahan substrat yang digunakan adalah FR-4 epoxy dengan nilai $\epsilon_r = 4,3$ dan ketebalan substrat 1,6 mm. Antena dicatu dengan teknik pencatutan microstrip line dan terhubung dengan konektor yang memiliki impedansi 50 Ω . Gbr. 4 dan Tabel II memperlihatkan rancangan akhir dari antenna monopole dengan pelebaran pita dan triple notchband dan nilai yang telah



Gbr. 4 Geometri antenna *monopole planar* heksagonal yang diusulkan.

TABEL II
NILAI PARAMETER YANG TELAH DIOPTIMASI

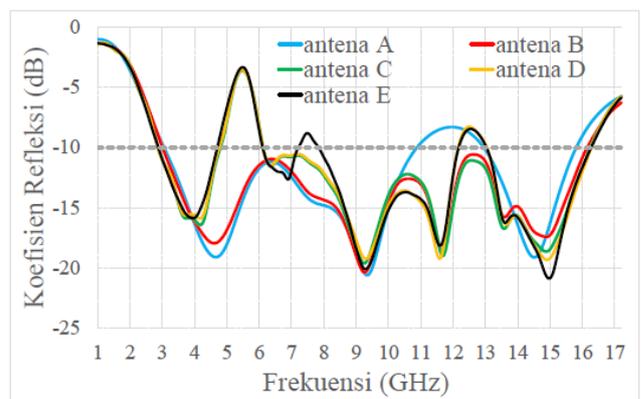
| Parameter | Nilai (mm) | Parameter | Nilai (mm) |
|------------|------------|-------------|------------|
| <i>a</i> | 17,8 | <i>ln1</i> | 9,6 |
| <i>b</i> | 3 | <i>ln2</i> | 15,8 |
| <i>c</i> | 2 | <i>p</i> | 1,8 |
| <i>d</i> | 1 | <i>q</i> | 8,0 |
| <i>g</i> | 1,55 | <i>r</i> | 0,2 |
| <i>gn1</i> | 0,75 | <i>r1n3</i> | 1,66 |
| <i>gn2</i> | 1 | <i>r2n3</i> | 0,91 |
| <i>gn3</i> | 0,75 | <i>wf</i> | 2 |
| <i>lf</i> | 9,8 | <i>ws</i> | 27,3 |
| <i>ls</i> | 35,6 | <i>wn1</i> | 3,5 |

dioptimasi. Antena disimulasikan menggunakan *software* CST Studio. Hasil simulasi koefisien refleksi pada kelima tahapan perancangan antenna ditunjukkan pada Gbr. 5 dan Tabel III. Pada hasil simulasi dapat dilihat keseluruhan antenna bekerja pada rentang 3,1–10,6 GHz sehingga memenuhi karakteristik UWB menurut FCC. Selain itu, koefisien refleksi pada konfigurasi antenna B sampai E pada Gbr. 2 yang menggunakan heksagonal EBG dapat dikonfirmasi terdapat peningkatan lebar pita sebesar > 5,2 GHz dibandingkan konfigurasi awal antenna A tanpa menggunakan struktur EBG. Penolakan frekuensi pada masing-masing tahapan juga dikonfirmasi oleh hasil simulasi pada antenna C sampai E.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi parametrik dilakukan untuk mengoptimasi antenna dari perhitungan matematis. Beberapa studi parametrik yang telah dilakukan antara lain mengetahui efek jarak antara *patch* dengan *ground plane*, mengetahui jarak antar sel EBG heksagonal, serta mengetahui pengaruh panjang dan lebar *slot*.

Pada studi parametrik pertama, dari (1) sampai (4) dapat diperoleh nilai panjang sisi *a* = 6,4 mm dan jarak *patch* dengan *ground plane* *p* = 1,8 mm agar antenna UWB dapat bekerja pada frekuensi 3,1–10,6 GHz. Namun, hasil simulasi pada Gbr. 6 menunjukkan bahwa nilai frekuensi bawah masih berada di atas 3 GHz dan antenna belum bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berdasarkan (1) sampai (4) dapat dilihat besar frekuensi bawah tergantung dan berbanding terbalik terhadap nilai *a* dan *p*. Dengan demikian, beberapa alternatif untuk menurunkan frekuensi bawah adalah dengan memperbesar



Gbr. 5 Hasil koefisien refleksi masing-masing tahapan perancangan antenna.

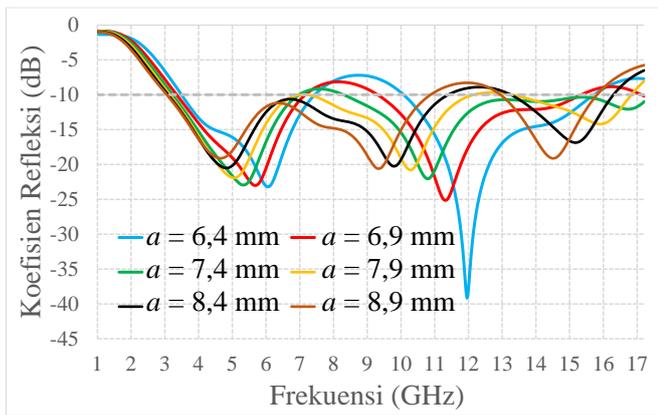
TABEL III
SUMMARY LEBAR PITA DAN JUMLAH NOTCH BAND MADING-MADING TAHAPAN PERANCANGAN ANTENA

| Konfigurasi | Frekuensi Kerja (GHz) | Lebar pita (GHz) | Jumlah Notch Band |
|-------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| Antena A | 3,04-10,76 | 7,72 | 0 |
| Antena B | 2,99-15,97 | 12,98 | 0 |
| Antena C | 2,89-16,02 | 13,13 | 1 |
| Antena D | 2,86-16,08 | 13,22 | 2 |
| Antena E | 2,86-16,08 | 13,22 | 3 |

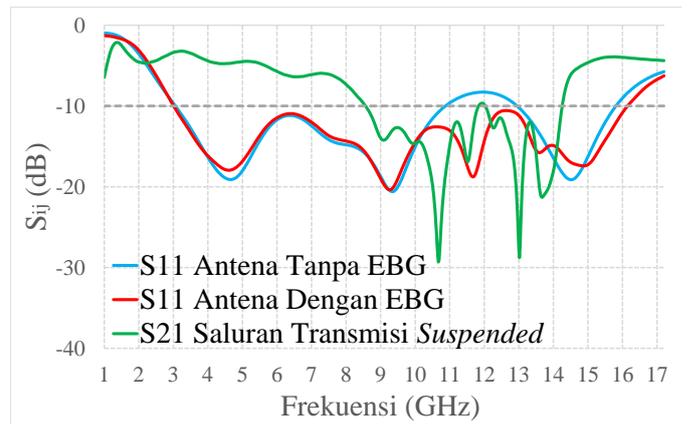
dimensi *patch* atau meninggikan *ground plane* sehingga jarak antara *ground plane* dengan *patch* semakin kecil. Studi parametrik difokuskan dengan menyimulasikan variasi panjang sisi *patch* heksagonal *a* dengan nilai 6,4 mm, 6,9 mm, 7,4 mm, 7,9 mm, dan 8,9 mm. Hasil simulasi pada Gbr. 6 mengkonfirmasi bahwa dengan memperbesar panjang sisi *patch*, didapatkan pergeseran frekuensi kerja menjadi lebih kecil. Selain itu, apabila diambil koefisien refleksi dibawah -10 dB sebagai batas lebar pita, pada panjang sisi heksagonal 8,9 mm juga diperoleh *matching impedance* yang baik pada seluruh pita frekuensi 3,1–10,6 GHz, dibandingkan dengan nilai *a* yang lain.

Dalam hal pengaruh perubahan jarak *patch* dengan *ground plane* (*p*) terhadap frekuensi kerja antenna, nilai *p* divariasikan dari 0,8 mm, 1,3 mm, 1,8 mm, 2,3 mm, dan 2,8 mm. Gbr. 7 mengkonfirmasi bahwa semakin dekat jarak antara *patch* dengan *ground plane*, maka batas bawah frekuensi pada koefisien refleksi -10 dB semakin menurun. Namun, dapat diamati juga bahwa batas frekuensi atas pertama pada nilai *p* = 0,8 mm yang menyentuh nilai koefisien refleksi -10 dB berada pada frekuensi 5,5 GHz, sehingga belum memenuhi spesifikasi UWB menurut FCC. Berdasarkan Gbr. 6 dan Gbr. 7, nilai *a* = 8,9 mm dan *p* = 1,8 mm diambil sebagai hasil optimasi karena memiliki rentang frekuensi kerja pada batas koefisien refleksi sebesar -10 dB sesuai spesifikasi UWB pada FCC dan juga memiliki *impedance matching* yang baik pada pita lebar.

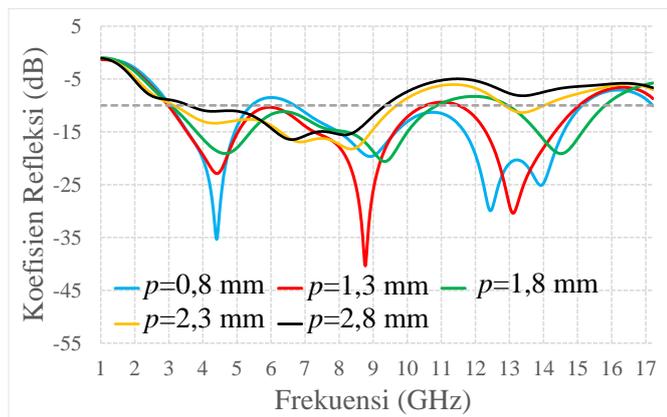
Pada studi parametrik yang kedua, dilakukan analisis pengaruh EBG terhadap peningkatan lebar pita antenna. Metode *Suspended Transmission Line* digunakan untuk memahami efek dari struktur EBG pada frekuensi resonansi [14]–[16]. Susunan sel heksagonal disimulasikan di bawah sebuah saluran transmisi dengan dua buah *port* sesuai Gbr. 8. Struktur sel EBG



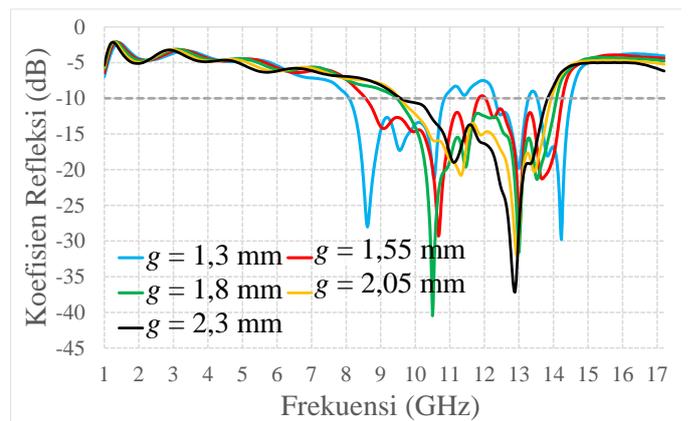
Gbr. 6 Pengaruh perubahan sisi *patch* heksagonal terhadap frekuensi kerja antenna.



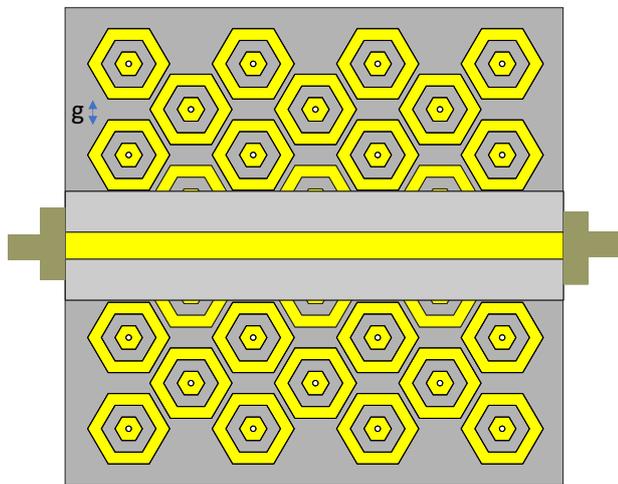
Gbr. 9 Perbandingan S_{11} antenna tanpa EBG, S_{11} antenna dengan EBG, dan S_{21} saluran transmisi *suspended*.



Gbr. 7 Pengaruh perubahan jarak antara *patch* dan *ground plane* terhadap frekuensi kerja antenna.



Gbr. 10 Pengaruh jarak antar sel pada struktur EBG heksagonal *slot ring* terhadap lebar *notch band* dan frekuensi tengah penolakan transmisi pada saluran.



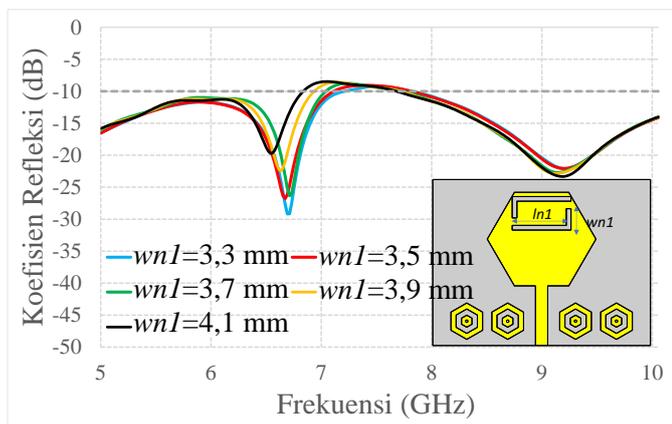
Gbr. 8 Susunan EBG pada saluran transmisi *suspended*.

tersebut akan melakukan penolakan transmisi pada saluran, ditandai dengan penurunan koefisien transmisi (parameter S_{21}) pada pita frekuensi tertentu. Besarnya penolakan frekuensi dapat diamati pada daerah dengan $S_{21} < -10$ dB. Untuk mendapatkan peningkatan lebar pita, daerah *notch band* pada struktur EBG didesain bersebelahan dengan pita frekuensi antenna UWB. Apabila EBG diintegrasikan pada lapisan

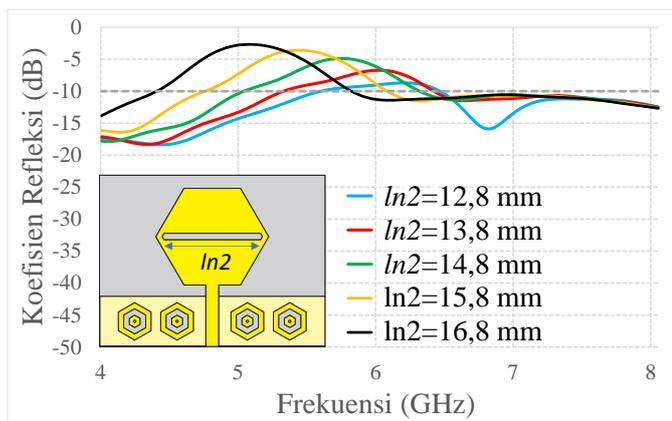
substrat yang sama dengan *patch*, karakteristik pita yang lebih lebar dapat diperoleh tanpa perlu mengubah karakteristik antenna yang lain, seperti pola radiasi [14]. Pada Gbr. 9, dapat dilihat bahwa peningkatan lebar pita terjadi pada frekuensi 10,7–12,8 GHz, tetapi pada frekuensi 10,57 GHz dan 12,87 GHz, koefisien refleksi (S_{11}) mendekati nilai -10 dB karena pada frekuensi tersebut terjadi *notch band* pada saluran transmisi *suspended* dengan nilai S_{21} secara berurutan adalah sebesar -29,12 dB dan -28,76 dB.

Dengan menggunakan struktur yang sama pada Gbr. 8, jarak antar sel (g) dianalisis dengan variasi jarak 1,3 mm, 1,55 mm, 1,8 mm, 2,05 mm, dan 2,3 mm. Pada Gbr. 10 terlihat bahwa jarak antar sel pada struktur EBG heksagonal *slot ring* memengaruhi lebar *notch band* dan juga frekuensi tengah penolakan pada saluran. Dengan demikian, jarak antar sel sebesar 1,55 mm dipilih karena memiliki lebar pita resonansi paling berdekatan dengan konfigurasi antenna UWB yang dirancang.

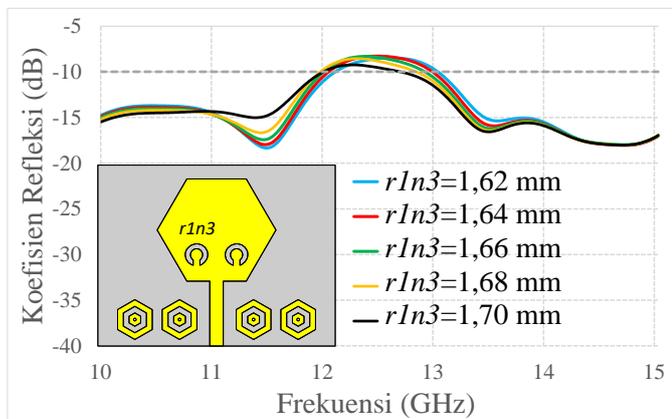
Pada studi parametrik yang ketiga, dilakukan analisis pengaruh perubahan panjang *slot* dan lebar *slot*. Berdasarkan (5) sampai (8) dapat diamati bahwa besarnya panjang *slot* berbanding terbalik dengan frekuensi resonansi. Masing-masing panjang *slot* pada frekuensi tengah pita yang ditolak



Gbr. 11 Pengaruh perubahan panjang slot bagian atas pada pergeseran frekuensi tengah penolakan pita frekuensi satelit X-Band.

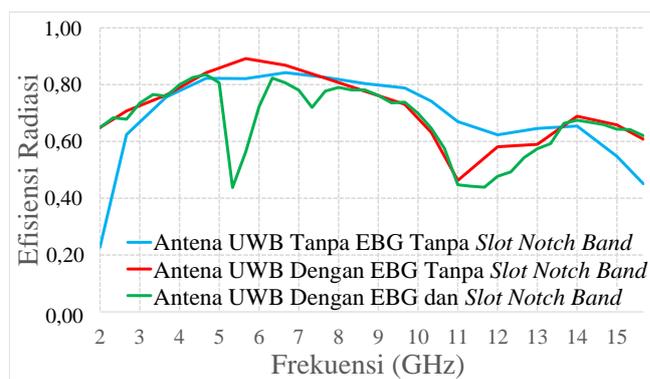


Gbr. 12 Pengaruh perubahan panjang slot bagian tengah pada pergeseran frekuensi tengah penolakan pita frekuensi WLAN.

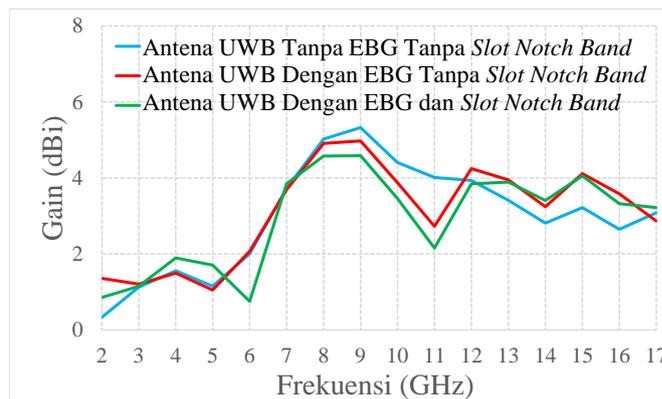


Gbr. 13 Pengaruh perubahan jari-jari slot bagian bawah pada panjang slot melingkar terhadap pergeseran frekuensi tengah penolakan pita frekuensi komunikasi DBS.

dapat dilihat pada Tabel I. Optimasi dilakukan dengan mengubah nilai tersebut menjadi lebih besar atau lebih kecil sampai didapatkan hasil yang diinginkan. Pada slot yang pertama, parametrik studi dilakukan dengan mengubah panjang lengan slot L ($wn1$) dengan variasi 3,3 mm, 3,5 mm, 3,7 mm, 3,9 mm, dan 4,1 mm. Gbr. 11 memperlihatkan bahwa semakin panjang slot, frekuensi tengah penolakan pada pita satelit X-Band akan semakin mengecil. Sementara itu, pada slot yang



Gbr. 14 Efisiensi antenna berdasarkan tahapan perancangan.

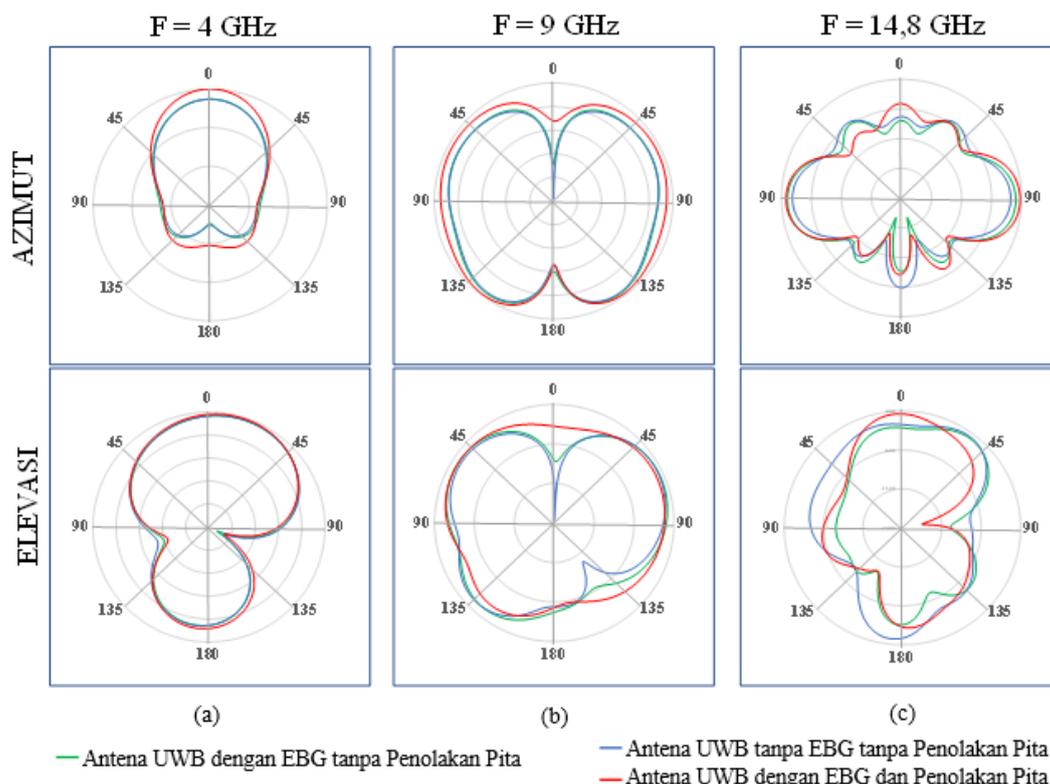


Gbr. 15 Gain antenna berdasarkan tahapan perancangan.

kedua di bagian tengah, dianalisis perubahan panjang slot $ln2$ dengan variasi 12,8 mm, 13,8 mm, 14,8 mm, 15,8 mm, dan 16,8 mm. Sesuai Gbr. 12, semakin panjang slot $ln2$, semakin kecil nilai frekuensi tengah penolakan pada pita WLAN. Lalu, pada Gbr. 13 dapat dilihat bahwa dengan pengaturan jari-jari slot $rln3$ dapat memengaruhi panjang slot berbentuk melingkar sehingga memengaruhi frekuensi tengah penolakan pada pita DBS. Hasil dari ketiga analisis slot tersebut mengonfirmasi (5) yang secara matematis menyatakan bahwa semakin panjang slot, penolakan terjadi pada frekuensi yang lebih kecil, dan sebaliknya.

Berdasarkan hasil studi parametrik, nilai $wn1 = 3,5$ mm digunakan pada slot bagian atas karena memiliki lebar pita dan frekuensi tengah mendekati pita layanan satelit X-Band, sedangkan panjang slot $ln2 = 15,8$ mm digunakan pada slot bagian tengah karena paling mendekati lebar pita frekuensi WLAN. Sementara itu, untuk slot bagian bawah, nilai $rln3 = 1,66$ mm digunakan karena paling mendekati lebar pita frekuensi DBS. Hasil optimasi dari studi parametrik dijadikan acuan bagi dimensi akhir antenna yang disajikan pada Tabel II.

Setelah didapatkan dimensi akhir antenna sesuai Tabel II, karakteristik antenna selanjutnya ditinjau dari parameter radiasi, seperti efisiensi, gain, dan pola radiasi. Pada karakteristik efisiensi, seperti ditunjukkan pada Gbr. 14, antenna memiliki efisiensi yang cukup baik dengan nilai efisiensi berkisar antara 45% sampai dengan 85% pada frekuensi kerja UWB. Selain itu, pada antenna dengan slot, dapat diamati bahwa terdapat penurunan efisiensi antenna, yaitu pada frekuensi WLAN dengan efisiensi sebesar 43%, DBS sebesar 44%, dan pada



Gbr. 16 Pola radiasi antena arah azimut dan elevasi, (a) frekuensi 4 GHz, (b) frekuensi 9 GHz, (c) frekuensi 14,8 GHz.

satelit X-Band dengan efisiensi sebesar 71%. Hal ini sejalan dengan nilai koefisien refleksi pada masing-masing tahapan, sesuai pada Gbr. 5. Koefisien refleksi > -10 dB pada frekuensi *notch band* mengakibatkan efisiensi radiasi antena menjadi lebih kecil dibandingkan frekuensi di sekitarnya.

Selain oleh faktor *notch band*, penurunan efisiensi juga dipengaruhi oleh struktur EBG. Sesuai dengan Gbr. 14, dapat diamati bahwa antena yang tidak menggunakan struktur EBG memiliki efisiensi yang lebih besar pada daerah *band-gap* EBG dibandingkan dengan antena yang memiliki struktur EBG. Sesuai Gbr. 9, daerah *band-gap* EBG pada $g = 1,55$ mm adalah daerah yang berada di bawah area $S_{21} < -10$ dB, yaitu berkisar pada rentang 8,5 GHz sampai 14 GHz.

Jika ditinjau dari parameter *gain*, *gain* maksimal terukur sebesar 5,3 dBi di frekuensi 9 GHz pada konfigurasi antena awal tanpa menggunakan struktur EBG. Antena yang menggunakan struktur EBG, seperti dapat dilihat pada Gbr. 15, memiliki *gain* yang lebih kecil pada daerah *band-gap*. Hal tersebut terjadi karena nilai *gain* berbanding lurus dengan efisiensi antena, sehingga adanya daerah *band-gap* yang memiliki efisiensi kecil mengakibatkan nilai *gain* yang juga mengecil dibandingkan dengan antena tanpa *band-gap*. Namun, di luar daerah *band-gap*, seperti pada Gbr. 15, hasil akhir antena dengan struktur EBG dan *triple notch band* secara garis besar memiliki *gain* yang lebih besar dibandingkan antena yang lain. *Gain* maksimal yang terukur adalah sebesar 4,8 dBi pada frekuensi 14 GHz.

Pada radiasi medan jauh untuk antena UWB yang diusulkan, dilakukan pengukuran pada tiga frekuensi yang memiliki koefisien refleksi baik, yaitu pada frekuensi 4 GHz, 9 GHz, dan

TABEL IV
PERBANDINGAN ANTENA USULAN DENGAN ANTENA LAIN

| Referensi Antena | Dimensi Antena (mm ³) | Jumlah <i>Notch band</i> | Rentang Frekuensi (GHz) | Lebar Pita (GHz) |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| [2] | 60 × 60 × 1,6 | 3 | 1,75 – 11 | 9,25 |
| [17] | 60 × 40 × 1,6 | 3 | 2 – 10,6 | 8,6 |
| [18] | 35 × 35 × 1,6 | 3 | 1,95 – 12,92 | 10,97 |
| [19] | 46 × 36 × 1,6 | 3 | 3 – 11 | 8 |
| [20] | 60 × 78 × 1,6 | 3 | 1,5 – 15 | 13,5 |
| Antena yang dirancang | 35,6 × 27,3 × 1,6 | 3 | 2,86 – 16,08 | 13,22 |

14,8 GHz. Gbr. 16 menunjukkan pola radiasi arah azimut dan elevasi ketiga frekuensi tersebut. Secara garis besar, dapat diperhatikan bahwa penambahan struktur EBG pada lapisan substrat yang sama dengan *patch* tidak terlalu mengubah bentuk pola radiasi antena sehingga peningkatan lebar pita dapat dilakukan tanpa mengubah parameter yang lain.

Pada tahap akhir, desain antena yang diusulkan dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan antena UWB dengan bahan yang sama (FR-4) [2], [16]–[20], yang dikaji dari sisi dimensi keseluruhan, jumlah *notch band*, dan lebar pita keseluruhan. Pada Tabel IV dapat dilihat bahwa keseluruhan antena bekerja pada frekuensi UWB (3,1–10,6 GHz) dan memiliki jumlah *notch band* yang sama, yaitu tiga buah. Dari sisi dimensi, antena pada [16] menawarkan dimensi yang hampir sama dengan antena yang

diusulkan, tetapi dengan lebar pita yang lebih sempit. Antena pada [18] memperlihatkan lebar pita yang lebih lebar dari antena yang diusulkan, tetapi memiliki kekurangan pada dimensi antena yang lebih besar. Dari Tabel IV, dapat disimpulkan bahwa antena yang diusulkan memiliki keunggulan, yaitu ukuran yang lebih kecil dan pita yang lebih lebar dibandingkan dengan antena referensi.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian antena UWB heksagonal dengan struktur EBG dan *triple slot* ini telah berhasil didapatkan antena UWB dengan lebar pita sampai 13,22 GHz dan tiga buah *notch band*. Lebar pita dapat ditingkatkan dengan menggunakan struktur EBG heksagonal dengan *slot ring* untuk meningkatkan batas frekuensi atas, dari 10,6 GHz sampai 16,08 GHz. Tiga buah *slot* telah berhasil diintegrasikan untuk mendapatkan tiga frekuensi penolakan pada pita WLAN, satelit *X-Band*, dan juga DBS. Namun, seiring dengan penambahan jumlah *notch band*, penggunaan *slot* menjadi tidak efisien karena diperlukan lebih banyak jumlah *slot* dan titik penempatannya. Oleh karena itu, untuk jumlah *notch band* yang lebih banyak, diperlukan satu struktur yang dapat memberikan efek *notch band* lebih dari satu sekaligus.

REFERENSI

- [1] *First Report and Order in the Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems*, Federal Communication Commission ET-Docket 98-153, 2002.
- [2] K. Nadeem, Z. Ahmed, I. Nadeem, F.B. Zarrabi, dan K. Alimgeer, "UWB Circular Monopole Antenna with Fractal Slots for Triple Band-Notch Characteristics," *2018 Int. Conf. on Frontiers of Inf. Technol. (FIT)*, 2018, hal. 271-274.
- [3] A.A. Kadam, A.A. Deshmukh, K.P. Ray, dan S.B. Deshmukh, "Dual Band-notched UWB Antenna with L-shaped Slots and Triangular EBG Structures," *2019 IEEE Indian Conf. on Antennas and Prop. (InCAP)*, 2019, hal. 1-4.
- [4] C. Wang, Y. Chen, dan S. Yang, "Bandwidth Enhancement of a Dual-Polarized Slot Antenna Using Characteristic Modes," *IEEE Antennas and Wireless Prop. Lett.*, Vol. 17, No. 6, hal. 988-992, Jun. 2018.
- [5] A. Raghavaraju, T.V. Ramakrishna, B.T.P. Madhav, dan T. Bhavani, "Investigation on EBG Structured CPW Fed CM Antenna for WiMAX, WLAN Applications," *2019 Int. Conf. Vis. Towards Emerg. Trends in Commun. and Network. (ViTECoN)*, 2019, hal. 1-4.
- [6] R. Bappaditya, C. Santosh, dan A.K. Bhattacharjee, "Symmetrical Hexagonal Monopole Antenna with Bandwidth Enhancement Under UWB Operations," *Wireless Personal Communications*, Vol. 108, hal.853-863, Mei 2019.
- [7] S. Tripathi, A. Mohan, dan S. Yadav, "Hexagonal Fractal Ultra-wideband Antenna Using Koch Geometry with Bandwidth Enhancement," *IET Microw., Antennas & Prop.*, Vol. 8, No. 15, hal.1445-1450, Des. 2014.
- [8] S. Kundu dan S.K. Jana, "A Leaf-shaped CPW-fed UWB Antenna for GPR Applications," *Wiley Microw. Opt Technol. Lett.*, Vol. 60, No. 4, hal. 941-945, Apr. 2018.
- [9] R.W. Aldhaheeri dan I.S. Alruhaili, "A Simple and Compact CPW-Fed UWB Antenna with WLAN Band Rejection," *2019 IEEE 19th Mediterranean Microw. Symp. (MMS)*, 2019, hal 1-4.
- [10] M.A. Basit, G. Wen, O.G. Kwame, dan N. Rasool, "A Compact Wideband CPW-fed Hybrid Slot Antenna," *IEEE - 3rd Asia-Pacific Conf. Antennas and Prop.*, 2014, hal. 57-60.
- [11] K.P. Ray, "Design Aspects of Printed Monopole Antennas for Ultra-Wide Band Applications," *Int. J. Antennas and Prop.*, Vol. 2008, hal. 1-8, Apr. 2008.
- [12] D.S. Rao dan G. Immadi, "A Penta Band Notched Elliptical Planar Monopole Antenna for UWB Applications," *Progress In Electromagn. Res. M*, Vol. 93, hal. 53-66, Jun. 2020.
- [13] Z. Guo, H. Tian, X. Wang, Q. Luo, dan Y. Ji, "Bandwidth Enhancement of Monopole UWB Antenna with New Slots and EBG Structures," *IEEE Antennas and Wireless Prop. Lett.*, Vol. 12, hal. 1550-1553, Nov. 2013.
- [14] R.C. Hadarig, M.E. de Cos, dan F. Las-Heras, "On the Bandwidth Enhancement of Patch Antenna Using EBG/AMC Structures," *2012 6th European Conf. Antennas and Prop. (EUCAP)*, 2012, hal. 2853-2857.
- [15] O. Ayop, and M.K.A. Rahim, "Analysis of Mushroom-like Electromagnetic Band Gap Structure Using Suspended Transmission Line Technique," *2011 IEEE Int. RF & Microw. Conf.*, 2011, hal. 258-261.
- [16] K. Vijay, P.P. Bhavarthe, dan R. Surendra, "Tunable Triple Band-Notched UWB Antenna Using Single EBG and Varactor Diode," *Progress In Electromagn. Res. C*, Vol. 110, hal. 181-195, Jan. 2021.
- [17] A.C. Anju dan T. Shiney, "Triple Frequency Notch in UWB Antenna with Single Ring SRR Loading," *Procedia Comp. Sci.*, Vol. 93, hal. 94-100, Des. 2016.
- [18] A. Salim, Y.S. Faouri, dan S. Baqaleb, "Compact UWB Bowtie Antenna with Triple Rejection Bands," *2020 11th Int. Conf. on Inf. and Commun. Sys. (ICICS)*, 2020, hal. 406-409.
- [19] G. Kumar, S. Jain, M.D. Sharma, dan A. Yadav, "Designing of Triple Band Rejection CPW Feed Circular UWB Antenna," *2020 Int. Conf. on Wireless Commun. Sig. Proc. and Network. (WiSPNET)*, 2020, hal. 112-117.
- [20] S. Sharma, S.A. Imam, B.K. Kanaujia, dan M.K. Khandelwal, "Bandwidth Enhancement with Multiple Notch Bands and Cross-Polarization Suppression of Microstrip Patch Antenna for Modern Wireless Applications," *Wireless Personal Commun.*, Vol. 98, hal. 2553-2568, Okt. 2017.