

Antena Mikrostrip dengan Dua Buah *U-Slot* untuk Aplikasi Wi-Fi dan 5G

Dian Widi Astuti¹, Alya Patrakomala², Muslim Muslim³, Said Attamimi⁴, Dwi Astuti Cahyasiwi⁵

Intisari—Sekarang ini perkembangan telekomunikasi pada jaringan nirkabel berkembang dengan sangat cepat. Perkembangan telekomunikasi yang cepat tersebut disebabkan oleh kebutuhan manusia terhadap informasi secara cepat dan dapat diakses di mana saja. Salah satu perangkat pada sistem telekomunikasi jaringan nirkabel adalah antena. Kebutuhan antena yang dapat bekerja pada beberapa frekuensi jaringan nirkabel sangat diperlukan pada perangkat sistem telekomunikasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan rancangan sebuah antena mikrostrip yang dapat bekerja pada dua buah frekuensi jaringan nirkabel secara bersamaan, yaitu Wi-Fi dan telekomunikasi seluler generasi kelima (5G). Antena mikrostrip dirancang dengan menggunakan dua buah slot, yaitu satu slot berbentuk cincin persegi terputus dan satu slot lagi berbentuk huruf U terbalik. Adapun frekuensi Wi-Fi dan 5G yang bekerja pada antena ini adalah 2,45 GHz dan 3,3 GHz. Frekuensi resonansi pada antena mikrostrip ini dipengaruhi oleh panjang slot. Antena dirancang dan difabrikasi menggunakan substrat Rogers 5880 yang memiliki permitivitas relatif bahan (ϵ_r) 2,2, *loss tangent* (δ) 0,0009, dan ketebalan 1,575 mm. Namun, sebelum difabrikasi, terlebih dahulu rancangan antena disimulasikan menggunakan simulator Ansys HFSS. Simulator Ansys HFSS merupakan simulator untuk mendesain komponen yang menggunakan gelombang elektromagnetik, di antaranya antena. Hasil pengukuran koefisien refleksi pada desain antena ini memperlihatkan hasil yang sangat bagus untuk kedua buah frekuensi tersebut, jika dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada hasil simulasi, koefisien refleksi memberikan lebar pita sebesar 123 MHz pada rentang frekuensi 2.412–2.535 MHz, sedangkan hasil pengukuran memberikan nilai lebar pita sebesar 153 MHz di rentang frekuensi 2.402–2.555 MHz untuk penerapan frekuensi Wi-Fi. Pada frekuensi 5G, diperoleh lebar pita pengukuran sebesar 87 MHz, pada rentang 3.260–3.347 MHz. Hasil pengukuran tersebut sesuai dengan hasil simulasi, yang memperoleh lebar pita 88 MHz pada rentang 3.248–3.336 MHz. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa fabrikasi dari desain antena ini dapat dipakai untuk kedua aplikasi tersebut.

Kata Kunci—Antena Mikrostrip, Antena Dua Frekuensi, Wi-Fi, Antena 5G, Dua Buah Slot.

I. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi sekarang ini, penggunaan jaringan telekomunikasi berkembang dengan sangat cepat, terutama jaringan telekomunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan *fifth generation mobile network* (5G) [1]. Hal ini disebabkan jaringan Wi-Fi dan 5G memberikan kemudahan dalam penyebaran informasi. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat antena untuk membangun jaringan nirkabel tersebut. Salah satu kebutuhan aplikasi sistem komunikasi nirkabel di masa mendatang adalah antena dengan kemampuan multifrekuensi. Antena multifrekuensi memiliki dua atau lebih frekuensi resonansi, sehingga efektivitas perangkat antena tunggal dapat dimaksimalkan. Kelebihan lain dari antenna multifrekuensi adalah mengurangi biaya serta dimensi suatu sistem perangkat karena satu buah antena dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi yang berbeda.

Antena merupakan perangkat yang dapat bertindak sebagai pengirim dan penerima gelombang elektromagnetik yang dipancarkan melalui media transmisi berupa udara bebas. Maka, antena disebut juga *transceiver component* yang diletakkan pada akhir atau awal (*front-end*) sistem telekomunikasi nirkabel. Realisasi antena dapat dilakukan dengan menggunakan bahan substrat yang dikenal sebagai antena mikrostrip [2]–[4], bahan logam seperti antena *waveguide* [5], bahan kawat seperti antena *dipole* [6], dan lain-lain.

Antena mikrostrip memiliki kemudahan untuk difabrikasi dibandingkan dengan antena dari bahan lain [7]. Selain itu, antena mikrostrip dengan multifrekuensi memberikan dimensi yang lebih ringkas dibandingkan dengan antena satu frekuensi saja. Berbagai macam studi mengenai metode untuk menghasilkan antena dengan dua atau lebih frekuensi resonansi telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Referensi [4] melakukan penelitian antena multifrekuensi dengan menggunakan dua buah substrat yang ditumpuk menjadi satu dan diberi masukan dengan satu *port*. Substrat bagian bawah memiliki struktur pencatuan yang bercabang serta penambahan saluran *stub* untuk proses *matching*. Pada lapisan atas substrat terdapat elemen radiasi berbentuk gigi. Desain antena tersebut diterapkan pada aplikasi Wi-Fi, 5G, dan aplikasi nirkabel lainnya. Penelitian ini memberikan hasil yang cukup sesuai antara simulasi dan pengukuran.

Referensi [8] merealisasikan antena mikrostrip yang bekerja pada dua buah frekuensi dengan menggunakan dua buah slot persegi panjang. Setiap slot persegi panjang pada [8] tersebut bekerja untuk frekuensi yang berbeda-beda. Penelitian tersebut telah berhasil memberikan karakteristik *stopband* yang bagus. Kemudian, bentuk slot persegi panjang dapat dimodifikasi menjadi bentuk barbel lingkaran yang kosong di bagian tengahnya [9]. Penelitian antena dua frekuensi ini bekerja pada

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana-Jakarta, Jl Meruya Selatan No. 1 Jakarta Barat 11650 INDONESIA (telp: 021-5840 816; fax: 021-5871 335; email: ¹dian.widiastuti@mercubuana.ac.id, ²putri.alypatprakomala@gmail.com, ³muslim@mercubuana.ac.id, ⁴said.attamimi@mercubuana.ac.id)

⁵ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jl. Tanah Merdeka No.6, RW.5, Rambutan, Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13830 (email: ⁵dwi.cahyasiwi@uhamka.ac.id)

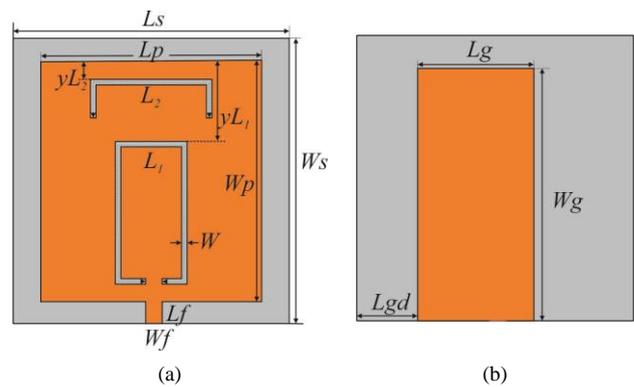
[Diterima: 24 Februari 2022, Revisi: 10 Oktober 2022]

frekuensi tengah 9,5 GHz dan 13,85 GHz. Sama seperti [8], penelitian ini juga menggunakan mode *transverse electric* (TE) yang berbeda untuk setiap frekuensi resonansinya [9]. Referensi [10] membuat slot persegi panjang menjadi melintang satu sama lain sehingga menghasilkan dua buah frekuensi yang bekerja pada 2,47 GHz dan 3,59 GHz. Semua penelitian di atas dapat menghasilkan antenna mikrostrip dua frekuensi dengan menggunakan teknologi *substrate integrated waveguide* (SIW), tetapi hasil pengukuran persentase lebar pita (*fractional bandwidth*, FBW) yang dihasilkan masih sangat kecil, yaitu maksimal hanya 5% [8]–[10].

Referensi [11] dan [12] menggunakan slot persegi panjang yang ditekuk-tekok seperti sungai (*meander*), sehingga menghasilkan antenna mikrostrip dua frekuensi. Pada [11] diterapkan antenna yang bekerja pada frekuensi 900 MHz dan 2.450 MHz. Penelitian antenna dua frekuensi lainnya menggunakan slot berbentuk mulai dari segitiga tidak beraturan, dua slot pada bagian atas dan bawah substrat, dua buah slot segitiga sama kaki yang ditumpuk, slot lingkaran, dan lainnya untuk menghasilkan dua sampai tiga frekuensi resonansi [13]–[18]. Namun, pada [18] hanya diberikan FBW kurang dari 3%. Hal tersebut disebabkan oleh dimensi antenna yang kecil, yaitu menggunakan struktur *eighth mode substrate integrated waveguide* (EMSIW) akibat *miniaturization factor* (MF) sebesar 87,5%.

Referensi [19] dan [20] menggunakan slot berbentuk persegi panjang yang ditekuk menjadi huruf U untuk menghasilkan dua sampai tiga buah frekuensi. Kedua penelitian tersebut berhasil memberikan hasil pengukuran yang sama dengan hasil simulasi [19], [20]. Namun, nilai maksimal dari FBW simulasi yang dihasilkan adalah 6,9% [20]. Selain itu, fabrikasi antenna tersebut cukup rumit karena menggunakan dua substrat yang saling menggantung dengan dipisahkan oleh lapisan udara.

Penelitian antenna mikrostrip dua frekuensi lainnya menggunakan slot berbentuk huruf L [21]. Huruf L tersebut berasal dari huruf U yang terpisah dengan gap tertentu. Antenna bekerja pada frekuensi tengah 2,45 GHz dan 5,8 GHz, dengan hasil pengukuran FBW frekuensi sebesar 2,57% dan 2,58%. Namun, penelitian ini masih memiliki FBW yang kecil, yaitu di bawah 3% [21]. Penelitian antenna mikrostrip berbentuk persegi lainnya juga telah dilakukan [22], [23]. Referensi [22] merancang antenna mikrostrip persegi sederhana yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz mempergunakan Advance Design System (ADS). Namun, rancangan antenna tersebut tidak difabrikasi. Sementara itu, penelitian lainnya menghasilkan polarisasi 45° dengan menggunakan dua buah resonator interdigital [23]. Penelitian tersebut menghasilkan FBW 6,45% dengan selektivitas yang sangat baik. Hal tersebut disebabkan oleh adanya rangkaian filter yang terintegrasi menjadi satu, sehingga respons *gain* antenna tersebut menyerupai *bandpass filter*. Namun, frekuensi resonansi yang dihasilkan hanyalah satu buah saja untuk aplikasi 5G pada frekuensi 4,65 GHz. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan antenna mikrostrip dua frekuensi menggunakan slot berbentuk cincin persegi terputus dan slot huruf U terbalik. Penelitian ini bertujuan menghasilkan antenna dengan FBW pengukuran lebih dari 5% dan dimensi antenna yang lebih kecil. Antenna diimplementasikan pada aplikasi frekuensi Wi-Fi dan 5G. Aplikasi Wi-Fi yang dipilih



Gbr. 1 Gambar skematik antenna, (a) bagian atas, (b) bagian bawah.

TABEL I
DIMENSI ANTENA

Parameter	Nilai (mm)	Parameter	Nilai (mm)	Parameter	Nilai (mm)
L_s	50	W_s	52,0	L_p	40,0
W_p	44	L_1	71,0	L_2	34,0
L_f	4	yL_1	14,8	yL_2	3,5
W	1	W_f	3,0	L_g	21,0
W_g	46	L_{gd}	11,0		

berada pada frekuensi tengah 2,45 GHz, sedangkan frekuensi 5G berada pada frekuensi tengah 3,3 GHz berdasarkan [24]. Walaupun teknologi 5G di Indonesia tidak menggunakan frekuensi tengah 3,3 GHz dengan alasan efek kelembapan [24], teknologi 5G yang menggunakan frekuensi tengah 3,3 GHz dapat diterapkan di negara lain, seperti Amerika Serikat [25].

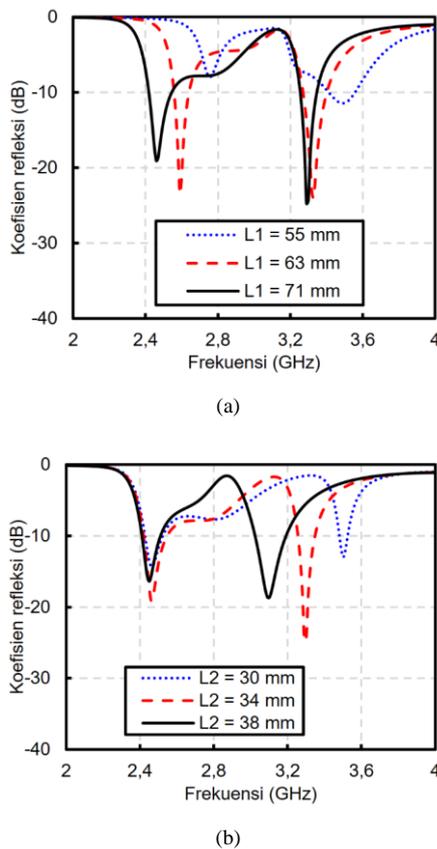
Antenna mikrostrip ini difabrikasi menggunakan bahan substrat Rogers Duroid RO 5880 yang dapat diperoleh di pasaran. Penulisan penelitian ini dimulai dengan menghasilkan desain antenna yang dibahas pada bagian II, fabrikasi dan pengukuran antenna yang dibahas pada bagian III, dan diakhiri dengan kesimpulan pada bagian IV.

II. DESAIN ANTENA

Desain antenna mikrostrip dengan slot berbentuk cincin persegi terputus dan slot berbentuk huruf U terbalik untuk aplikasi Wi-Fi dan 5G diperlihatkan pada Gbr. 1, sedangkan dimensi antenna disajikan pada Tabel I. Desain antenna dimulai dengan pemilihan frekuensi resonansi antenna. Pemilihan frekuensi ini akan memengaruhi dimensi antenna yang digunakan. Semakin tinggi frekuensi kerja antenna, semakin kecil dimensi antenna, begitu juga sebaliknya. Pengukuran besaran antenna seperti parameter koefisien refleksi, pergeseran lebar pita impedansi, *gain*, pola radiasi, *axial ratio*, efisiensi antenna, dan lainnya juga dipengaruhi oleh pemilihan bahan substrat.

A. Substrat Antena

Pemilihan bahan substrat sangat memengaruhi kinerja parameter koefisien refleksi antenna mikrostrip. Oleh karena itu, pemilihan substrat dengan *loss tangen* yang kecil menjadi pertimbangan dalam pemilihan substrat. Desain antenna ini menggunakan substrat Rogers Duroid 5880, yang memiliki *loss tangen* 0,0009, permitivitas relatif (ϵ_r) 2,2, dengan ketebalan



Gbr. 2 Hasil simulasi koefisien refleksi dari parameter panjang slot, dengan parameter lain tetap. (a) L_1 , (b) L_2 .

substrat (h) 1,575 mm. Pemilihan substrat dengan *loss tangen* yang kecil bertujuan untuk memperkecil kerugian, sedangkan pemilihan substrat yang tebal bertujuan agar gelombang elektromagnetik yang keluar dari *slot* dapat memancar keluar secara maksimal. Selain itu, pada perancangan antenna sebaiknya digunakan substrat dengan permitivitas relatif bahan yang kecil.

B. Dimensi Antena

Dimensi *patch* antenna berbentuk persegi terdiri atas lebar (W_p) dan panjang (L_p). Lebar *patch* (W_p) dapat dihitung dengan (1) [21].

$$W_p = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Dengan diketahuinya nilai $\epsilon_r = 2,2$, frekuensi tengah desain antenna, $f_r = 2,45$ GHz, dan kecepatan cahaya, $c = 3 \times 10^8$ m/s, W_p diperoleh menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$W_p = \frac{3 \times 10^8}{2 \cdot 2,45 \cdot 10^9} \sqrt{\frac{2}{2,2+1}} = 48,40 \text{ mm.}$$

Karena $W_p/h > 1$, nilai efektif dari permitivitas relatif (ϵ_{reff}), delta panjang (ΔL), panjang efektif (L_{eff}), dan L_p dapat dihitung menggunakan (2)–(5) [21].

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_p} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

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

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

$$L_p = L_{eff} - 2 \cdot \Delta L. \quad (5)$$

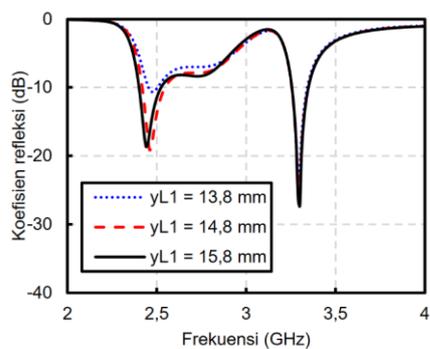
Dari (2)–(5) diperoleh $\epsilon_{reff} = 2,11$, $\Delta L = 0,83$ mm, $L_{eff} = 42,16$ mm, dan $L_p = 40,5$ mm. Selanjutnya, desain antenna dioptimasi dengan Ansys HFSS untuk mendapatkan hasil yang optimum sesuai target.

Pada radiator *patch* persegi ditambahkan dua buah slot untuk memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara. Slot pertama berbentuk cincin persegi terputus dengan panjang keseluruhan slot adalah L_1 dan slot kedua berbentuk huruf U terbalik dengan total panjang L_2 . Slot cincin persegi terputus ditempatkan pada jarak 14,5 mm dari tepi atas *patch* persegi, sedangkan slot U terbalik pada jarak 3,5 mm. Kedua slot dibuat pada radiator persegi dengan $L_p = 44$ mm dan $W_p = 40$ mm, yang merupakan hasil optimasi dari perhitungan di atas. Pada radiator, *patch* persegi dihubungkan dengan saluran transmisi 50Ω dengan panjang 4 mm dan lebar 3 mm sebagai masukan arus. Keseluruhan struktur antenna dicetak pada substrat berukuran $50 \text{ mm} \times 52 \text{ mm}$. Pada bagian belakang antenna, tidak semua lapisan substrat dipenuhi dengan lapisan tembaga sebagai *ground*, tetapi sebagian lapisan *ground* dikupas untuk proses optimasi agar memperoleh koefisien refleksi -10 dB dan melebarkan lebar pita impedansi. Dari hasil optimasi, diperoleh panjang dan lebar *ground* adalah 21 mm dan 46 mm, yang berada pada jarak 11 mm dari bagian tepi kiri *ground*. Adapun hasil optimasi dari desain antenna diperlihatkan pada Gbr. 1.

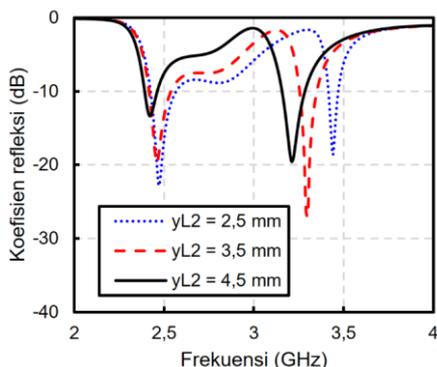
C. Studi Parameter

Pada Gbr. 2, diperlihatkan hasil studi parameter untuk frekuensi rendah (f_1) dan frekuensi tinggi (f_2). Frekuensi f_1 berada pada 2,45 GHz, sedangkan f_2 berada pada 3,3 GHz. Pada Gbr. 2 ditunjukkan bahwa f_1 lebih dipengaruhi oleh parameter panjang slot L_1 , yaitu semakin panjang L_1 , f_1 bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Hal tersebut juga berlaku untuk kebalikannya. Pada frekuensi tinggi, f_2 lebih dipengaruhi oleh parameter panjang L_2 , yaitu semakin pendek L_2 , frekuensi f_2 bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi sebelumnya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan frekuensi yang sesuai target, dilakukan pengaturan parameter panjang kedua slot tersebut.

Gbr. 3 memperlihatkan studi parameter dari posisi slot, yL_1 dan yL_2 . Perubahan nilai koefisien refleksi dari f_1 lebih dipengaruhi oleh posisi slot L_1 saja, seperti diperlihatkan pada Gbr. 3(a). Semakin ke atas posisi slot L_1 , f_1 mengalami hilangnya kondisi *matching*, seperti yang diperlihatkan dengan kurva garis berwarna biru titik-titik. Semakin ke bawah posisi slot L_1 , semakin baik kondisi *matching* untuk frekuensi resonansi f_1 , seperti yang diperlihatkan dengan kurva garis berwarna hitam utuh. Hasil studi parameter nilai optimum yL_1 adalah 1,2 mm. Pada Gbr. 3(b) diperlihatkan perubahan posisi slot L_2 yang memiliki pengaruh terhadap pergeseran frekuensi resonansi di f_1 dan f_2 . Naiknya posisi slot L_2 mengakibatkan



(a)



(b)

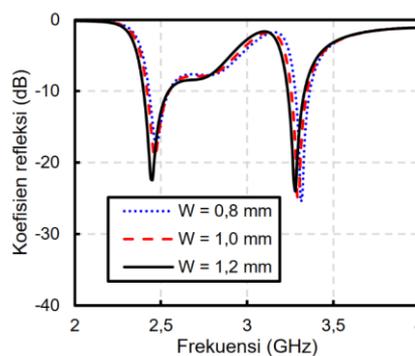
Gbr. 3 Hasil simulasi parameter koefisien refleksi dari posisi slot, dengan parameter lain tetap. (a) y_{L1} , (b) y_{L2} .

pergeseran frekuensi resonansi, baik f_1 dan f_2 , menuju frekuensi resonansi yang lebih tinggi dari sebelumnya. Hal berkebalikan terjadi apabila posisi slot L_2 berada pada posisi mendekati slot L_1 .

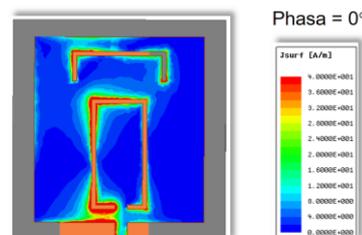
Gbr. 4 memperlihatkan simulasi parameter terhadap ketebalan slot, W . Berkurangnya nilai W menyebabkan pergeseran frekuensi resonansi f_1 dan f_2 ke frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi sebelumnya. Apabila slot ditebalkan, terjadi pergeseran frekuensi resonansi f_1 dan f_2 ke frekuensi yang lebih rendah. Perubahan parameter ketebalan slot tidak mengubah parameter koefisien refleksi secara signifikan dibandingkan dengan perubahan parameter L_1 , L_2 , dan posisi slot y_{L1} dan y_{L2} . Adapun pemilihan nilai-nilai L_1 , L_2 , y_{L1} , y_{L2} , dan W didasarkan pada hasil parameter koefisien refleksi yang sesuai dengan rancangan konfigurasi antenna *dual band*. Hasil optimasi dari desain antenna diperlihatkan pada Tabel I.

D. Aliran Arus Permukaan

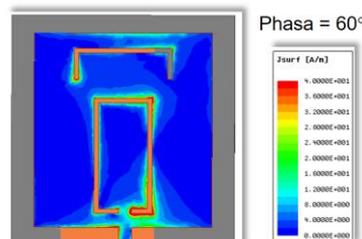
Pada Gbr. 5 ditunjukkan simulasi aliran arus permukaan pada desain antenna yang bekerja pada frekuensi 2,45 GHz. Simulasi aliran arus permukaan ini diperlukan untuk mengetahui bagian antenna tersebut yang memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas. Kekuatan nilai parameter arus permukaan diperlihatkan dengan degradasi warna. Degradasi warna dari warna biru ke warna merah memperlihatkan kuat arus permukaan yang mengalir dengan kekuatan lemah sampai kekuatan besar. Untuk mendeteksi kekuatan aliran arus permukaan yang sama di kedua frekuensi,



Gbr. 4 Hasil simulasi koefisien refleksi parameter ketebalan slot (W) dengan parameter lain tetap.



(a)



(b)

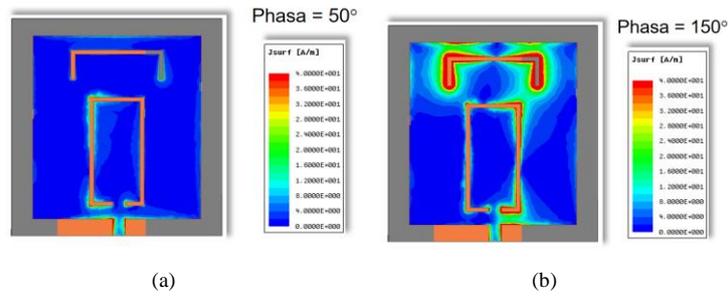
Gbr. 5 Aliran arus permukaan pada frekuensi 2,45 GHz, (a) di fase 0° , (b) di fase 60° .

digunakan skala aliran arus permukaan yang sama. Adapun skala aliran arus permukaan pada desain adalah 40 A/m. Pada Gbr. 5(a), antenna memiliki pancaran di bagian sebelah kanan antenna pada slot L_1 di fase 0° , sedangkan pada Gbr. 5(b), tampak bahwa pancaran aliran arus permukaan ada di fase 60° . Pada fase tersebut terlihat antenna memiliki pancaran aliran arus permukaan di bagian sebelah kiri dari slot L_1 . Hal ini berkaitan dengan pola radiasi dari desain antenna.

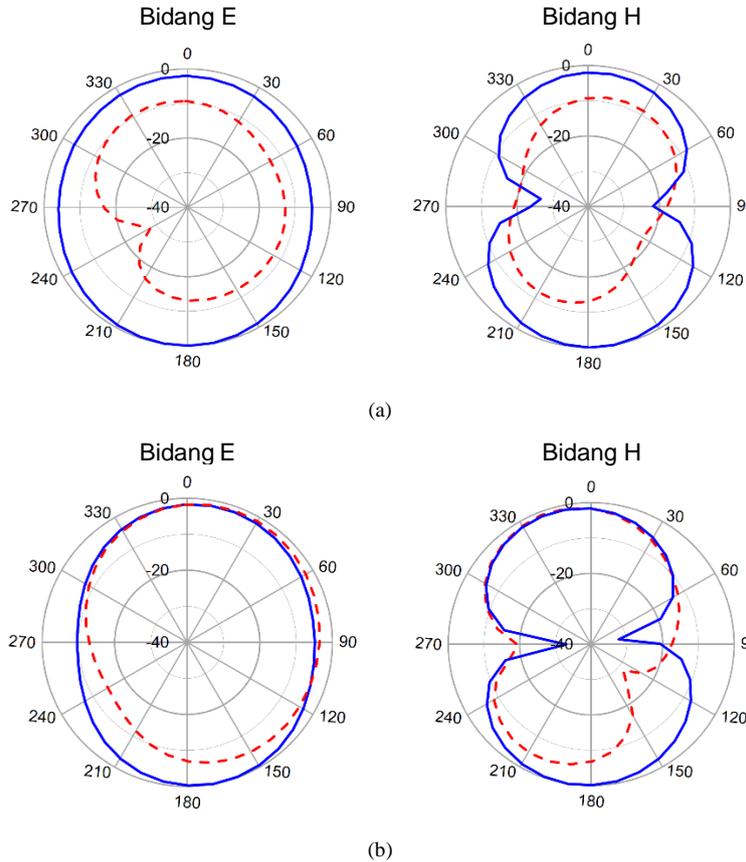
Simulasi aliran arus permukaan pada frekuensi yang lebih tinggi, yaitu 3,3 GHz, berada pada slot L_2 , seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 6. Pada Gbr. 6(a), aliran arus permukaan terjadi pada fase 50° dengan aliran arus permukaan yang minimal. Aliran arus permukaan yang kecil tersebut terjadi pada sisi kanan dan kiri dari slot L_2 . Gbr. 6(b) memperlihatkan aliran arus permukaan maksimal yang terjadi pada sisi kanan dan kiri dari slot L_2 . Aliran arus permukaan maksimal terjadi pada fase 150° .

E. Pola Radiasi

Gbr. 7(a) bagian kiri memperlihatkan hasil simulasi pola radiasi pada frekuensi 2,45 GHz berbentuk *omnidirectional*



Gbr. 6 Aliran arus permukaan pada frekuensi 3,3 GHz di fase (a) 50°, (b) 150°.



Gbr. 7 Hasil simulasi pola radiasi untuk bidang E dan bidang H, (a) pada frekuensi 2,45 GHz, (b) pada frekuensi 3,3 GHz; garis putus-putus berwarna merah untuk *cross-polarization*, sedangkan garis utuh berwarna biru untuk *co-polarization*.

untuk bidang E, yang memiliki *cross polarization discriminant* (XPD) sekitar 6,5 dB dan arah penguatan maksimum 2 dBi pada θ 180°. Sebagaimana jenis pola radiasi *omnidirectional*, maka seperti diperlihatkan pada Gbr. 7(a) bagian kanan, pada bidang H pola radiasi di frekuensi 2,45 GHz ditunjukkan dua arah penguatan yang masing-masing sebesar 1 dBi dan 2 dBi pada arah θ 0° dan 180°. XPD pada kedua arah ini adalah sekitar 7 dBi dan 13 dBi.

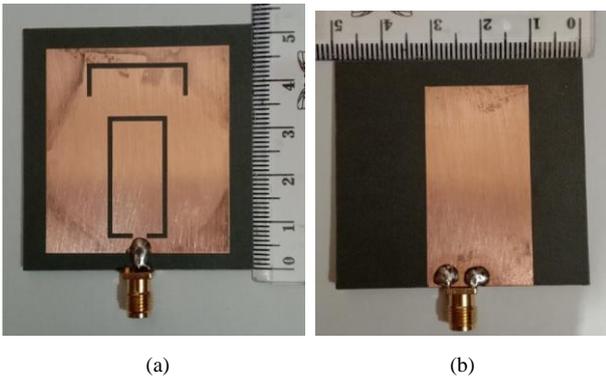
Pada Gbr. 7(b) sebelah kiri diperlihatkan pola radiasi pada frekuensi 3,3 GHz yang juga berbentuk *omnidirectional*, dengan arah penguatan maksimum pada θ 170° sebesar 1,5 dBi dan XPD sebesar 6 dB pada bidang E. Pola radiasi di frekuensi 3,3 GHz pada bidang H menunjukkan dua arah penguatan pada θ -15° dan 180° dengan besar masing-masing 0 dB dan 1 dB. XPD sebesar 7 dB diperoleh pada arah

180°. Pola radiasi yang berbentuk *omnidirectional* pada kedua frekuensi disebabkan oleh dikupasnya sebagian *ground* pada desain antenna ini.

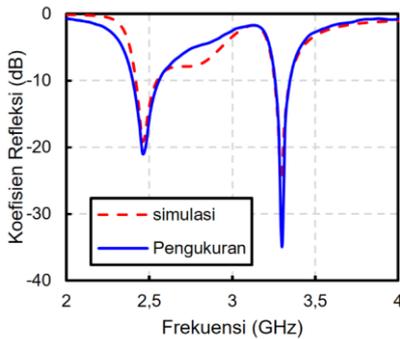
III. FABRIKASI DAN PENGUKURAN

Gbr. 8 memperlihatkan hasil fabrikasi antenna mikrostrip menggunakan proses *photo etching*. Proses *photo etching* memberikan kemudahan fabrikasi antenna mikrostrip dibandingkan dengan antenna jenis lainnya. Gbr. 8(a) memperlihatkan bagian atas antenna dengan slot bagian pemancar atau peradiasi, sedangkan Gbr. 8(b) memperlihatkan bagian bawah antenna.

Antena yang sudah difabrikasi perlu diuji kinerjanya. Salah satu parameter pengujian kinerja antenna adalah parameter pengukuran koefisien refleksi, selain pengukuran pola radiasi



Gbr. 8 Hasil fabrikasi antenna, (a) bagian atas, (b) bagian bawah.



Gbr. 9 Parameter koefisien refleksi hasil simulasi dan pengukuran.

antena, *gain*, efisiensi, dan yang lainnya. Adapun hasil pengukuran parameter koefisien refleksi antenna hasil fabrikasi diperlihatkan pada Gbr. 9. Hasil simulasi diperlihatkan pada garis putus-putus berwarna merah, sedangkan hasil pengukuran diperlihatkan dengan garis tух berwarna biru. Hasil simulasi koefisien refleksi pada level -10 dB di resonansi pertama memberikan lebar pita sebesar 123 MHz (2.412–2.535 MHz), sedangkan dari pengukuran diperoleh lebar pita sebesar 153 MHz (2.402–2.555 MHz). Terlihat bahwa hasil pengukuran lebih lebar 25% dibandingkan hasil simulasi dan bergeser sebesar 20 MHz ke arah frekuensi yang lebih tinggi. Pada frekuensi resonansi kedua, untuk level koefisien refleksi -10 dB, diperoleh lebar pita impedansi pengukuran sebesar 87 MHz (3.260–3.347 MHz). Lebar pita impedansi tersebut cukup sesuai dengan hasil simulasi, yaitu 88 MHz, yang berada pada rentang frekuensi 3.248–3.336 MHz. Ada perbedaan hasil pengukuran yaitu frekuensi resonansi menunjukkan pergeseran 3% ke arah frekuensi yang lebih tinggi. Hasil pengukuran koefisien refleksi memperlihatkan perbandingan yang sangat sesuai dengan simulasi. Hal tersebut diperlihatkan dengan berimpitnya hasil pengukuran dengan hasil simulasi terhadap frekuensi kerja dari antenna tersebut. Adapun FBW hasil simulasi adalah sebesar 5% untuk f_1 dan 2,67% untuk f_2 . FBW hasil pengukuran adalah sebesar 6,17% dan 2,63% pada frekuensi tengah 2,47 dan 3,3 GHz.

Nilai terendah dari koefisien refleksi pada f_1 adalah -19 dB, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan nilai yang lebih kecil, yaitu -21 dB. Hasil pengukuran koefisien refleksi f_2 juga menunjukkan nilai yang lebih kecil 10 dB dibandingkan dengan simulasi, yaitu dari -24 dB menjadi -34 dB. Pada Gbr. 9

TABEL II
PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA

Referensi	Jenis Antena	Frekuensi f_1/f_2 (GHz)	Dimensi Substrat $l \times w \times h$ (λ_0^3)	FBW di f_1 (%)	FBW di f_2 (%)
[9]	SIW	9,5/13,85	0,82×1,17×0,02	1,820	1,44
[10]	SIW	2,47/3,59	10,49×11,54×0,06	0,486	0,78
[21]	MPA	2,45/5,8	4,9×3,67×0,08	2,570	2,58
Penelitian ini	Dua U-slot	2,45/3,3	6,12×6,37×0,14	6,170	2,63

diperlihatkan perbedaan kedalaman atau kecilnya nilai koefisien refleksi. Hal tersebut lebih disebabkan oleh proses penyolderan konektor yang menyebabkan perbedaan nilai impedansi masukan dari saluran masukan arus. Pengukuran parameter antenna lainnya, seperti pola radiasi, *gain*, dan efisiensi antenna tidak dilakukan karena ada perbaikan fasilitas ruangan *anechoic chamber*.

Tabel II memperlihatkan perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Pada Tabel II terlihat bahwa desain antenna mikrostrip dengan slot berbentuk cincin persegi terputus dan slot berbentuk huruf U terbalik memiliki hasil pengukuran FBW yang lebih besar dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya [9], [10], [21]. Hasil pengukuran FBW yang lebih besar tersebut berlaku untuk f_1 dan f_2 . Antenna yang digunakan berjenis mikrostrip SIW [9], [10], dan mikrostrip *patch* biasa dengan empat slot berbentuk huruf L [21]. Penelitian ini memiliki dimensi antenna dengan volume total lebih kecil dibandingkan dengan penelitian [10].

IV. KESIMPULAN

Antenna mikrostrip dua frekuensi dengan slot cincin persegi terputus dan huruf U terbalik berhasil difabrikasi menggunakan substrat Rogers Duroid 5880 dengan ketebalan 1,575 mm. Hasil pengukuran koefisien refleksi memperlihatkan hasil yang sangat baik dibandingkan dengan hasil simulasi di frekuensi 2,47 GHz dan 3,3 GHz. Pada frekuensi tengah 2,47 GHz diperoleh hasil simulasi FBW desain antenna sebesar 5% (2.412–2.535 MHz), sedangkan pada hasil pengukuran diperoleh 6,17% (2.402–2.555 MHz). Pada frekuensi tengah 3,3 GHz diperoleh hasil simulasi FBW sebesar 2,67% (3.260–3.347 MHz), sedangkan pada hasil pengukuran diperoleh 2,63% (3.260–3.347 MHz). Walaupun FBW pada frekuensi tinggi kurang dari 5%, lebar pita pengukuran tersebut masih sesuai dengan aplikasi 5G. Frekuensi dari desain antenna ini dapat diaplikasikan untuk frekuensi nirkabel Wi-Fi dan 5G.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan terhadap pihak mana pun dari awal penelitian sampai akhir penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Penelitian ini dapat dilaksanakan berdasarkan kontribusi dari setiap penulis, yaitu Dian Widi Astuti dan Said Attamimi bertugas dalam konseptualisasi, penulisan draf jurnal, penulis korespondensi, dan pengawasan terhadap semua jalannya penelitian sampai publikasi artikel; Alya Patrakomala bertugas

sebagai operator data simulasi pada perangkat lunak HFSS dan melakukan fabrikasi desain antena yang sudah sesuai target penelitian; Muslim membantu dalam melakukan fabrikasi dan pengukuran antena; Dwi Astuti Cahyasiwi memiliki kontribusi sebagai penganalisis data hasil simulasi dan pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Bagus Edi Sukoco yang telah membantu selama proses pengukuran antena di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung. Terima kasih juga diberikan kepada Tim JNTETI dan *reviewer* yang telah meluangkan waktu untuk membuat tulisan ini menjadi lebih baik.

REFERENSI

- [1] Ericsson, "Harnessing the 5G Consumer Potential: The Consumer Revenue Opportunity Uncovered," 2020, [Online], <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/harnessing-the-5g-consumer-potential>, tanggal akses: 29-Jul-2022.
- [2] J. Prasajo dan D. Widiastuti, "Rectangular Microstrip Antenna with Annular Slot for WLAN," *Int. Conf. Broadband Commun. Wirel. Sensors, Powering (BCWSP)*, 2017, hal. 1–5.
- [3] D.W. Astuti dan E.T. Rahardjo, "Size Reduction of Substrate Integrated Waveguide Cavity Backed U-Slot Antenna," *2018 IEEE Indian Conf. Antennas, Propag. (InCAP)*, 2018, hal. 1–4.
- [4] D.W. Astuti, A. Firdausi, dan M. Alaydrus, "Multiband Double Layered Microstrip Antenna by Proximity Coupling for Wireless Applications," *QiR 2017 - 2017 15th Int. Conf. Qual. Res. (QiR): Int. Symp. Elect., Comput. Eng.*, 2017, hal. 106–109.
- [5] Y. Rao, H. Zhang, dan G. Sun, "Shared Aperture Dual-Band Waveguide Slot Antenna," *2020 IEEE Int. Symp. Antennas, Propag., North Amer. Radio Sci. Meeting (IEEECONF 2020)*, 2020, hal. 693–694.
- [6] J.D. Hawkins, L.B. Lok, P.V. Brennan, dan K.W. Nicholls, "HF Wire-Mesh Dipole Antennas for Broadband Ice-Penetrating Radar," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Vol. 19, No. 12, hal. 2172–2176, Des. 2020.
- [7] L. Xiang, Y. Zhang, Y. Yu, dan W. Hong, "Characterization and Design of Wideband Penta- and Hepta-Resonance SIW Elliptical Cavity-Backed Slot Antennas," *IEEE Access*, Vol. 8, hal. 111987–111994, Jun. 2020.
- [8] B.-J. Niu, J.-H. Tan, dan C.-L. He, "SIW Cavity-Backed Dual-Band Antenna with Good Stopband Characteristics," *Electron. Lett.*, Vol. 54, No. 22, hal. 1259–1260, Nov. 2018.
- [9] S. Mukherjee, dkk., "Substrate Integrated Waveguide Cavity-Backed Dumbbell-Shaped Slot Antenna for Dual-Frequency Applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Vol. 14, hal. 1314–1317, Des. 2014.
- [10] K. Yoshihara, M. Tamura, Y. Miyaji, dan A. Alphones, "Dual Band SIW Cavity-Backed Crossed-Slot Antenna," *Asia-Pac. Microw. Conf. Proc. (APMC)*, 2019, hal. 1539–1541.
- [11] A. Ghaffar, dkk., "A Compact Dual-Band Flexible Antenna for Applications at 900 and 2450 MHz," *Prog. Electromagn. Res. Lett.*, Vol. 99, hal. 83–91, Mei 2021.
- [12] J.H. Lu dan H.S. Huang, "Planar Compact Dual-Band Monopole Antenna with Circular Polarization for WLAN Applications," *Int. J. Microw., Wirel. Technol.*, Vol. 8, No. 1, hal. 81–87, Feb. 2016.
- [13] K. Mahendran, D.R. Gayathri, dan H. Sudarsan, "Design of Multi Band Triangular Microstrip Patch Antenna with Triangular Split Ring Resonator for S Band, C Band and X Band Applications," *Microprocess. Microsyst.*, Vol. 80, hal. 1–9, Feb. 2021.
- [14] T. Wattakeekamthorn, K. Wattakeekamthorn, C. Mahatthanajatuphat, dan P. Akkaraekthalin, "Dual-Bands Operation Base on an Asymmetrical Double Triangular Slot Fed by CPW with Stair-Step for WLAN 2.45 GHz and 5.5 GHz," *Proc. 2021 9th Int. Elect. Eng. Congr. (iEECON)*, 2021, hal. 527–530.
- [15] M.C. Jose, dkk., "Compact Dual-Band Millimeter-Wave Antenna for 5G WLAN," *Int. J. Microw., Wirel. Technol.*, Vol. 14, No. 8, hal. 981–988, Okt. 2022.
- [16] W. Luo, W. Chen, Y. Ren, dan M. Wang, "Dual-Band and Dual Circularly Polarized Sequential Rotation Antenna Array for Vehicle Satellite Communications," *Electromagn.*, Vol. 42, No. 1, hal. 51–65, Apr. 2022.
- [17] G. Liu, C. Zhang, Z. Chen, dan B. Chen, "A Compact Dual Band MIMO Antenna for 5G/WLAN Applications," *Int. J. Microw., Wirel. Technol.*, akan dipublikasikan.
- [18] M. Mujumdar dan A. Alphones, "Eighth Mode Substrate Integrated Waveguide Dual Band Resonator Antennas," *IET Microw. Antennas, Propag.*, Vol. 11, No. 9, hal. 1262–1266, Jul. 2017.
- [19] H. Lu, Y. Liu, F. Liu, dan W. Wang, "Single-Feed Single-Patch Triple-Band Single-Beam/Dual-Beam U-Slotted Patch Antenna," *Prog. Electromagn. Res. M*, Vol. 77, hal. 17–28, 2019.
- [20] W.C. Mok, S.H. Wong, K.M. Luk, dan K.F. Lee, "Single-Layer Single-Patch Dual-Band and Triple-Band Patch Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 61, No. 8, hal. 4341–4344, Agu. 2013.
- [21] S. Ahmad, A. Ghaffar, N. Hussain, dan N. Kim, "Compact Dual-Band Antenna with Paired L-Shape Slots for On-and Off-Body Wireless Communication," *Sensors*, Vol. 21, No. 23, hal. 1–16, Nov.2021.
- [22] I. Hossain, T. Ahmed, dan H. Kabir, "Design of Rectangular Microstrip Patch Antenna at 3.3 GHz Frequency for S-band Applications," *Int. J. Eng., Manuf.*, Vol. 12, No. 4, hal. 46–52, Agu. 2022.
- [23] D.A. Cahyasiwi, F.Y. Zulkifli, dan E.T. Rahardjo, "Switchable Slant Polarization Filtering Antenna Using Two Inverted Resonator Structures for 5G Application," *IEEE Access*, Vol. 8, hal. 224033–224043, Des. 2020.
- [24] W.R. Dyah, K. Anwar, dan L.O. Nur, "Humidity Effect to the Indonesia 5G Channel Model at 3.3 GHz," *2019 Symp. Future Telecommun. Technol. (SOFTT)*, 2019, hal. 1–5.
- [25] (2020) "5G Frequency Bands & Spectrum Allocations," [Online], <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4g/5g-frequency-bands-ite/>, tanggal akses: 19-Okt-2022.