

ID: 15

Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Multi Band* Dengan *Patch Rectangular* Untuk Frekuensi 2,4 GHz, 2,6 GHz, Dan 3,5 GHz

Design Of Multi Band Microstrip Antenna With Rectangular Patch For 2,4 GHz, 2,6 GHz, And 3,5 GHz

Naufal Alif Fauzan^{1*}, Nanang Ismail², Innelindra³

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia

Jl. A.H. Nasution No.105, Cipadung, Kecamatan Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614, Indonesia, (022) 7803936

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia

Jl. A.H. Nasution No.105, Cipadung, Kecamatan Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614, Indonesia, (022) 7803936

e.naufal.naf@gmail.com^{1*}, nanang.is@uinsgd.ac.id², innellindra1007@gmail.com³

Abstrak – Paper ini menyajikan rancangan dan karakteristik dari antena mikrostrip multi band dengan patch rectangular. Penggunaan antena mikrostrip multi band ditujukan untuk menghasilkan respon frekuensi pita jamak yaitu 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz. Untuk mencapai respon frekuensi dari antena, antena tersebut menggunakan 3 patch berbeda yang terhubung satu sama lain oleh metode bridging. Hasilnya menunjukkan bahwa antena mikrostrip yang diajukan dapat memproduksi respon frekuensi multi band dengan frekuensi tetap pada 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Kata Kunci: Antena mikrostrip, Frekuensi tetap, Multi band.

Abstract – This paper present the design and characteristic of a multi band microstrip antenna with rectangular patch. The use of multi band microstrip antenna are aimed at to generate a multi band frequency of 2,4GHz, 2,6GHz, and 3,5GHz. To achieve the frequency response from the antenna, the antenna uses 3 different patches that are connected to each other by the bridging method. The result shows that the proposed microstrip antenna can generate multi band frequency response with fixed frequency on 2,4GHz, 2,6GHz, and 3,5GHz.

Keywords: Microstrip antenna, Fixed frequency, Multi band.

1. Pendahuluan

Kebutuhan telekomunikasi terus berkembang seiring dengan bertambahnya waktu. Inovasi baru pun diciptakan untuk memenuhi kebutuhan telekomunikasi tersebut. Salah satunya adalah 5G. Tentunya, telekomunikasi yang terdahulu seperti *Wi-Fi* dan *WiMAX* masih dibutuhkan dan dikembangkan.

WLAN atau yang dikenal sebagai *Wireless Fidelity (Wi-Fi)* menurut standar IEEE 802.11b dan 802.11g berfungsi pada frekuensi 2,4GHz [1]–[3]. Berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2019 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas pada Pasal 4 dijelaskan bahwa pita frekuensi radio WLAN/*Wi-Fi* dapat beroperasi pada frekuensi 2400-2483,5MHz [4]. *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* sesuai kategori *low band* untuk *WiMAX*

berfungsi pada frekuensi 2,6GHz [5]. Standar IEEE 802.16a dan 802.16d menyebutkan WiMAX dapat menggunakan frekuensi 2-11GHz, standar IEEE 802.16e menyebutkan dapat menggunakan frekuensi 2-6GHz, dan standar IEEE 802.16j menyebutkan dapat menggunakan frekuensi ≤ 11 GHz [6]. 5G merupakan teknologi yang sudah dikembangkan sejak lama dengan tujuan sinergitas dalam satu teknologi yang saling menopang satu sama lain [7]. Teknologi 5G dapat menggunakan frekuensi 3,5 GHz, yang merupakan pengembangan teknologi menggunakan rentang frekuensi 3,4GHz – 3,8GHz untuk *mid band* [8]. Menurut *World Radio Communication Conference (WRC)* kandidat pita frekuensi kurang dari 6 GHz. Salah satunya rentang frekuensi 3300 – 3800MHz, frekuensi yang umum digunakan dan telah dipertimbangkan dengan luas adalah frekuensi 3,5 GHz [9]. Pengaplikasian teknologi telekomunikasi membutuhkan komponen telekomunikasi yang dapat mendukung teknologi tersebut. Salah satu komponen pendukung telekomunikasi adalah antenna. Jenis antenna bermacam-macam diantaranya adalah antenna mikrostrip.

Antena mikrostrip merupakan salah satu antenna yang dapat dirancang dengan mudah karena fleksibel dalam hal frekuensi resonansi, polarisasi, pola radiasi, dan impedansi [10]. Antena mikrostrip juga dapat dirancang dalam bentuk ukuran kecil serta dapat bekerja dengan baik [11]. Antena mikrostrip dapat digunakan untuk satu *band* frekuensi ataupun lebih dari satu *band* frekuensi yang akan mendukung antenna agar lebih efisien [12]. Antena mikrostrip mempunyai berbagai macam bentuk *patch* diantaranya adalah *patch rectangular*.

Patch rectangular merupakan salah satu *patch* yang dapat dirancang, dianalisis dan fabrikasi secara mudah [10]. Teknik pencatutan yang berupa *inset feed* memiliki perancangan yang mudah dibandingkan dengan teknik pencatutan yang lainnya seperti *coaxial feed* yang pengaplikasiannya perlu melubangi PCB terlebih dahulu [13]. *Multi band* adalah implementasi antenna diperuntukan dalam beroperasi pada banyak frekuensi [14]. Salah satu cara untuk mendukung implementasi dari *multi band* adalah menggunakan beberapa *patch* [12]. Perancangan dari antenna ini menggunakan metode *bridging* yang menyambungkan tiap *patch* dengan satu *feedline* [15].

Dalam tulisan ini akan digabungkan teknologi telekomunikasi *Wi-Fi*, *WiMAX*, dan 5G dalam satu antenna. Desain antenna yang diusulkan adalah jenis mikrostrip dengan *patch rectangular*. Antena ini mempunyai 3 *patch* yang berbeda-beda frekuensinya. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 2,4GHz untuk *Wi-Fi*, 2,6GHz untuk *WiMAX*, dan 3,5GHz untuk 5G. Ketiga *patch* tersebut terhubung dengan metode *bridging* yang saling dihubungkan oleh sebuah *feedline*. Antena memiliki susunan *groundplane*, substrat dan *patch* dalam satu PCB berbahan FR4-Epoxy dengan ϵ_r bernilai 4,3 untuk mendukung fungsi *Wi-Fi*, *WiMAX*, dan 5G.

2. Metode Penelitian

Komponen penyusun antenna mikrostrip dipilih dengan melihat substrat yang umum tersedia seperti FR4-Epoxy. FR4-Epoxy yang umum tersedia memiliki ketebalan substrat sebesar 1,6mm dengan lapisan tembaga di sisi atas dan bawah yang memiliki ketebalan sebesar 0,035mm [16]. Komponen penyusun antenna mikrostrip yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

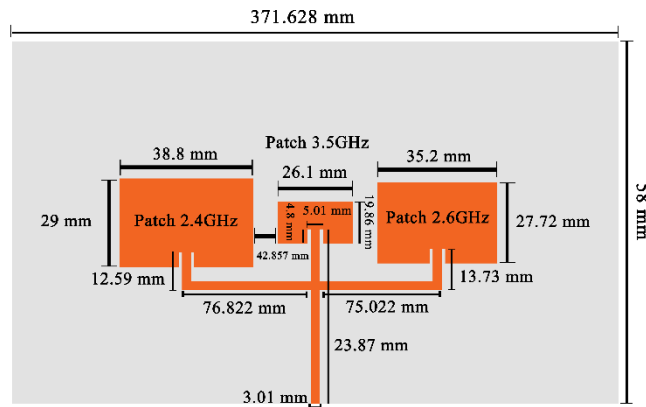
Tabel 1 Komponen penyusun antenna.

Komponen Penyusun Antena		
Komponen	Bahan	Ketebalan
<i>Groundplane</i>	<i>Copper</i>	0,035 mm
Substrat	FR-4 Epoxy	1,6 mm
<i>Patch</i>	<i>Copper</i>	0,035 mm

Gambar. 1 mengilustrasikan rancangan awal antenna mikrostrip *multi band* berkomposisi *patch rectangular* yang disusun dari hasil gabungan simulasi *patch* tunggal frekuensi kerja yang

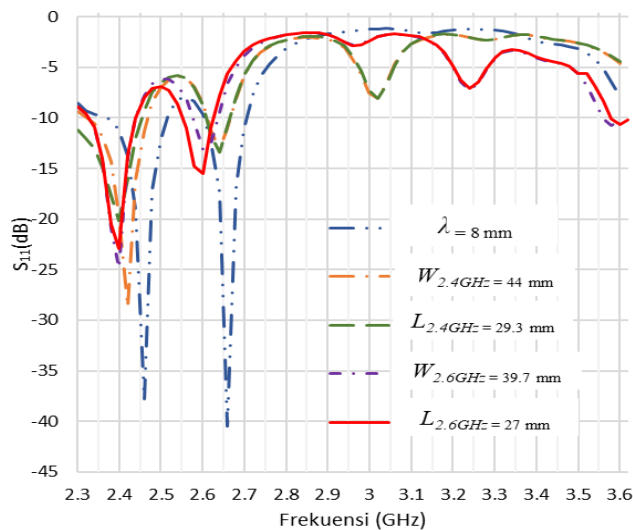
diinginkan. Dielektrik substrat yang digunakan memiliki nilai *relative permittivity coefficient* sebesar 4,3, Antena memiliki dimensi 371,628mm × 58mm dengan ketebalan total 1,67mm.

Rancangan awal antena ini memiliki 3 jenis *patch* yang disusun secara berurutan. *Patch* 3,5GHz diletakan di tengah untuk menentukan jarak antar *patch* (*d*). Jarak antar *patch* (*d*) dicari berdasarkan panjang gelombang *patch* 3,5GHz (λ). Panjang gelombang *patch* 3,5GHz (λ) didapat dari kecepatan cahaya pada ruang bebas (*c*) sebesar 3×10^8 dibagi dengan 3,5GHz yang hasilnya sebesar 85,71428571mm. Panjang gelombang *patch* 3,5GHz (λ) dibagi 2 menghasilkan jarak antar *patch* (*d*) sebesar 42,857mm. Antena didesain pada tiap *patch* memiliki ukuran slot yang sama yaitu 5,03mm x 4,8mm. *Patch* 2,4GHz memiliki lebar ($W_{2,4GHz}$) dan panjang ($L_{2,4GHz}$) sebesar 26,1mm x 19,86mm. *Patch* 3,5GHz memiliki lebar ($W_{3,5GHz}$) dan panjang ($L_{3,5GHz}$) sebesar 24,86mm x 14mm. *Patch* 2,6GHz memiliki lebar ($W_{2,6GHz}$) dan panjang ($L_{2,6GHz}$) sebesar 35,2mm x 27,72mm.



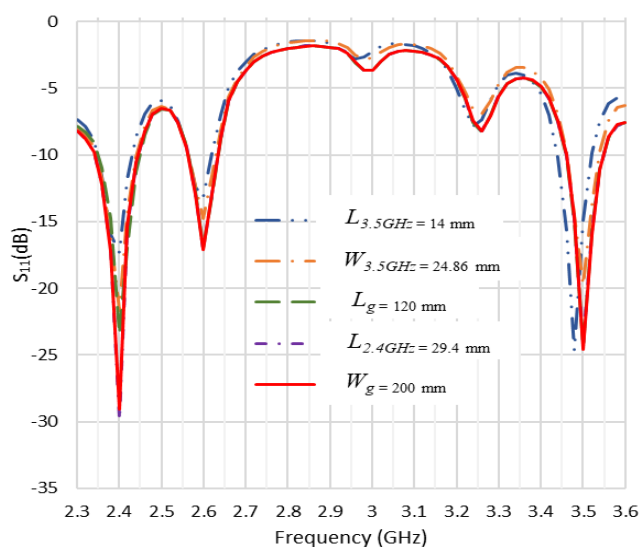
Gambar 1 Rancangan awal antena mikrostrip *multi band* dengan *patch rectangular*.

Ukuran antena awal diubah kembali sehingga mendapatkan nilai parameter antena seperti *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain* yang optimal. Langkah awal yang dilakukan dalam perubahan ini adalah merubah lebar jalur saluran catu menjadi 3,03mm untuk mendapatkan impedansi sebesar 50 Ω. Dalam perubahan dimensi terdiri dari beberapa tahapan pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukan hasil perubahan akhir dimensi antena mikrostrip *multi band* dengan *patch rectangular*.



Gambar 2 Tahap pertama perubahan dimensi antena diikuti oleh perubahan nilai S_{11} .

Perubahan S_{11} diilustrasikan pada Gambar 2 Perubahan jarak antar *patch* diawali dengan menghitung panjang gelombang (λ). Jarak antar *patch* (d) merupakan panjang gelombang dibagi 2. Pengecilan jarak antar *patch* (d) memiliki efek memperdalam S_{11} . Pembesaran lebar *patch* 2,4GHz ($W_{2,4GHz}$) memiliki efek menggeser S_{11} mendekati frekuensi 2,4GHz. Pembesaran panjang *patch* 2,4GHz ($L_{2,4GHz}$) memiliki efek menggeser S_{11} mendekati frekuensi 2,4GHz dan memperbesar S_{11} pada frekuensi 2,4GHz. Pembesaran lebar *patch* 2,6GHz ($W_{2,6GHz}$) memiliki efek menggeser S_{11} mendekati frekuensi 2,6GHz. Pengecilan panjang *patch* 2,6GHz ($L_{2,6GHz}$) memiliki efek menggeser S_{11} mendekati frekuensi 2,6GHz dan memperkecil nilai S_{11} pada frekuensi tersebut.

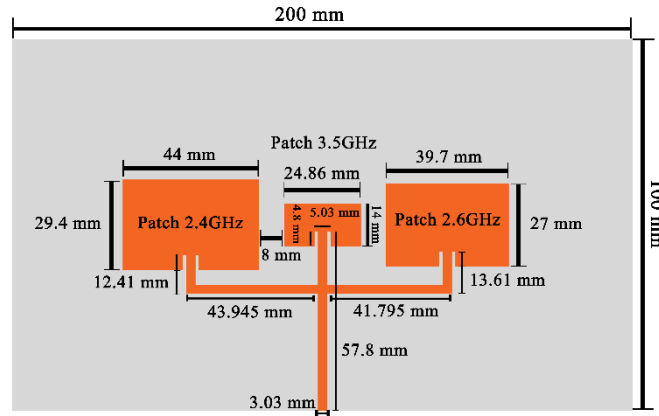


Gambar 3 Tahap kedua perubahan dimensi antenna diikuti oleh perubahan nilai S_{11} .

Perubahan S_{11} diilustrasikan pada Gambar 3 Pengecilan panjang *patch* 3,5GHz ($L_{3,5GHz}$) memiliki efek memperdalam S_{11} pada frekuensi 3,5GHz. Pengecilan lebar *patch* 3,5GHz ($W_{3,5GHz}$) memiliki efek menggeser S_{11} mendekati frekuensi 3,5GHz. Penambahan panjang *groundplane* (L_g) memiliki efek memperdalam S_{11} . Pembesaran panjang *patch* 2,4GHz ($L_{2,4GHz}$) memiliki efek memperdalam S_{11} pada frekuensi 2,4GHz. Perubahan lebar *groundplane* (W_g) tidak memiliki efek yang terlalu berpengaruh, namun digunakan untuk memperkecil ukuran antenna.

Ilustrasi antenna mikrostrip *multi band* berkomposisi *patch rectangular* yang ditunjukkan Gambar 4 telah diatur ulang dalam ukuran dimensi. Komponen, bahan, dan ketebalan mempunyai spesifikasi yang sama dengan Tabel 1 Antena memiliki dimensi 200mm x 120mm dengan ketebalan total 1,67mm.

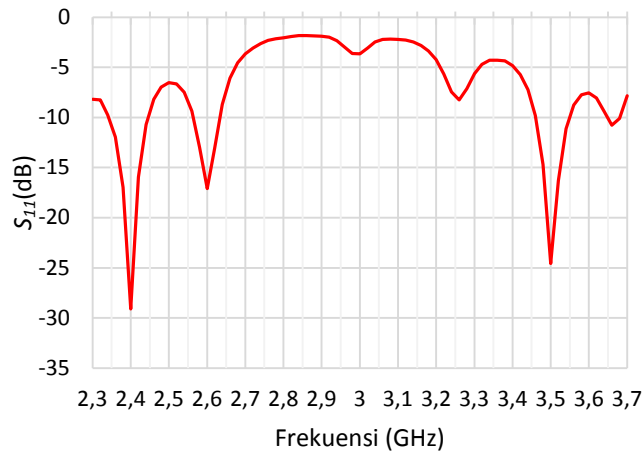
Jarak antar *patch* (d) sebesar 8mm. Antena didesain pada tiap *patch* memiliki ukuran slot yang sama yaitu 5,03mm x 4,8mm. Lebar ($W_{2,4GHz}$) dan panjang ($L_{2,4GHz}$) dari *patch* 2,4GHz adalah 44mm x 29,4mm. Lebar ($W_{3,5GHz}$) dan panjang ($L_{3,5GHz}$) dari *patch* 3,5GHz adalah 24,86mm x 14mm. Lebar ($W_{2,6GHz}$) dan panjang ($L_{2,6GHz}$) dari *patch* 2,6GHz adalah 39,7mm x 27mm. Perubahan ukuran dimensi rancang bangun awal telah mengoptimalkan nilai S_{11} pada antenna mikrostrip *multi band patch rectangular*. Optimasi ini memudahkan analisis parameter antenna seperti *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain* dapat diukur dan penentuan layak pakai.



Gambar 4 Antena mikrostrip *multi band* dengan *patch rectangular*.

3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi antena *multi band* menghasilkan nilai-nilai parameter seperti *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain* antena yang bagus. Gambar 5 menunjukkan nilai hasil S_{11} dari simulasi. Gambar 6 menunjukkan nilai hasil *VSWR* dari simulasi.



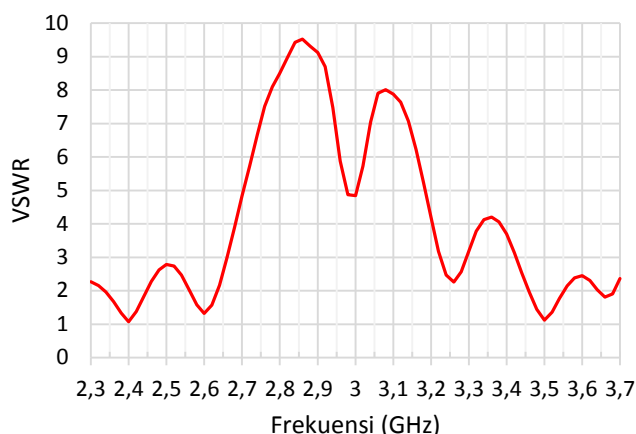
Gambar 5 Hasil S_{11} simulasi antena *multi band* dengan *patch rectangular* untuk frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Sebuah antena dinyatakan bagus jika memiliki nilai *return loss* $\leq -9,54$ dB pada frekuensi kerja yang diinginkan, sehingga dapat dikatakan nilai amplitudo gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching impedance* [17]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 hasil simulasi S_{11} dapat menopang 3 frekuensi kerja yang berbeda. Hasil S_{11} merupakan nilai *return loss*. Nilai *return loss* ditunjukkan pada Tabel 2 pada frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz. Nilai *return loss* tersebut menandakan antena ini sesuai dengan kriteria.

Tabel 2 Nilai *return loss* pada frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Frekuensi (GHz)	Nilai <i>Return Loss</i> Pada Frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.
	Simulasi <i>Multi Band</i>
2,4	-29,09669 dB
2,6	-17,08172 dB
3,5	-24,57527 dB

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 hasil simulasi *return loss* antenna pada frekuensi 2,4GHz sebesar -29,0967dB, 2,6GHz sebesar -17,0817dB, dan 3,5GHz sebesar -24,575dB.



Gambar 6 Hasil VSWR simulasi antenna *multi band* dengan *patch rectangular* untuk frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Sebuah antenna dinyatakan bagus jika memiliki nilai VSWR ≤ 2 pada frekuensi kerja yang diinginkan, VSWR dalam kondisi yang paling baik ketika nilai VSWR = 1, yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching impedance* sempurna. Namun, kondisi ini pada prakteknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, nilai VSWR diizinkan untuk simulasi dan fabrikasi antenna mikrostrip adalah VSWR ≤ 2 [17]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, hasil simulasi VSWR dapat menopang 3 pita frekuensi target yaitu 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz. Tabel 3 menunjukkan nilai VSWR pada antenna dalam frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Tabel 3 Nilai VSWR pada frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Frekuensi (GHz)	Nilai VSWR Pada Frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.
	Simulasi Multi Band
2,4	1,072
2,6	1,325
3,5	1,1255

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 nilai VSWR yang didapatkan pada simulasi mempunyai nilai VSWR yang bagus pada 2,4GHz sebesar 1,072, pada 2,6GHz sebesar 1,325, dan pada 3,5GHz sebesar 1,125. Nilai VSWR tersebut menandakan antenna ini sudah sesuai dengan kriteria. Tabel 4 menunjukkan nilai *bandwidth* pada 2,4GHz, 2,6GHz, and 3,5GHz.

Tabel 4 Nilai *bandwidth* pada frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Frekuensi (GHz)	Nilai Bandwidth Pada Frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.
	Simulasi Multi Band
2,4	0,1012 GHz
2,6	.0,0685 GHz
3,5	0,0867 GHz

Bandwidth simulasi antenna di frekuensi 2,4GHz bernilai 0,1012GHz, 2,6GHz bernilai 0,0685GHz, dan 3,5GHz bernilai 0,0867GHz. Nilai *bandwidth* diperoleh dari selisih frekuensi

tinggi dan rendah yang memiliki S_{11} bernilai -10dB [18] [19]. Tabel 5 menunjukkan nilai *gain* frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Tabel 5 Nilai *gain* pada frekuensi 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz.

Frekuensi (GHz)	Nilai <i>Gain</i> Pada 2,4GHz, 2,6GHz, dan 3,5GHz Frekuensi
	Simulasi <i>Multi Band</i>
2,4	3,817 dBi
2,6	4,145 dBi
3,5	0,9912 dBi

Gain simulasi antena di frekuensi 2,4GHz bernilai 3,73dBi, 2,6GHz bernilai 4,06dBi, dan 3,5GHz bernilai 0,9912dBi. Jika dibandingkan, *gain* pada frekuensi 3,5GHz tidak terlalu besar yang dimungkinkan penyebabnya dari peletakan *patch* yang berada di tengah. Selain itu hal yang memungkinkan pengaruh terhadap *gain* 3,5GHz adalah jarak antar *patch* yang kecil sehingga *gain patch* lain mempengaruhi *patch* 3,5GHz yang terletak ditengah.

4. Kesimpulan

Perancangan dan karakteristik dari sebuah antena *multi band* dengan *rectangular patch* telah ditunjukkan. Berdasarkan simulasi yang telah didemonstrasikan bahwa penggunaan 3 *patch* yang berbeda dengan menghubungkan dengan metode *bridging* dapat menghasilkan 3 frekuensi yang berbeda-beda. Ketiga frekuensi tersebut telah memenuhi parameter pengujian yang diinginkan seperti *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain*. Hasil karakteristik menunjukkan bahwa antena mikrostrip yang diajukan dapat menghasilkan respon frekuensi *multi band* dengan frekuensi tetap.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada penulis 2 dan 3 yang telah membimbing penulis 1 dalam pembuatan paper ini. Terimakasih untuk Tim TELKA yang telah meluangkan waktu untuk pembuatan template paper ini.

Referensi

- [1] Afdhal and Elizar, "IEEE 802.11ac sebagai Standar Pertama untuk Gigabit *Wireless LAN*," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 1, pp. 36–44, 2014.
- [2] S. Banerji and R. S. Chowdhury, "On IEEE 802.11: *Wireless LAN Technology*," *Int. J. Mob. Netw. Commun. Telemat.*, vol. 3, no. 4, pp. 45–64, 2013.
- [3] E. Y. D. Utami, F. D. Setiaji, and D. Pebrianto, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Persegi Panjang 2,4 GHz Untuk Aplikasi *Wireless Fidelity (Wi-Fi)*," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 196–202, 2017.
- [4] Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2019 Tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas," 2019.
- [5] B. Tlili, "Design of Double C-Slot Microstrip Patch Antenna for WiMAX Application," in *2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2010, no. 1, pp. 5–8.
- [6] M. Seyedzadegan and M. Othman, "IEEE 802.16: *WiMAX Overview, WiMAX Architecture*," in *International Conference on Intelligent Network and Computing (ICINC 2010)*, 2010, no. VI, pp. 371–374.
- [7] Tim Peneliti Puslitbang SDPPI, *Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk Layanan 5G Indonesia*. Jakarta: Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika Badan Penelitian dan

- Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2018.
- [8] M. K. Adityo and I. Krisnadi, "Tinjauan Frekuensi 5G Di Indonesia," Bandung, 2018.
- [9] N. Ferdous, G. Chin Hock, H. A. S. Hamid, M. N. A. Raman, T. Sieh Kiong, and M. Ismail, "Design of A Small Patch Antenna at 3.5 GHz for 5G Application," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 268, no. 1, pp. 1–4.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Third Edition Analysis And Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey., 2005.
- [11] N. Ismail, F. Oktafiani, F. Makmur, F. D. Ramadhan, M. A. Ramdhani, and I. Taufik, "Dual-band Rectangular Microstrip Patch Antenna for LTE and BWA Application," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 434, no. 1, pp. 1–9.
- [12] R. Qadar and A. H. Rambe, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Array Segi Empat Triple – Band Pada Frekuensi 2,3, 3,3 GHz Dan 5,8 GHz," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 12, no. 33, pp. 72–77, 2015.
- [13] K. Jones A.S., L. Olivia N., and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 93–98, 2017.
- [14] B. P. Kumawat, S. Meena, and S. Yadav, "Square Shape Slotted Multiband Microstrip Patch Antenna Using Defect Ground Structure," in *IEEE International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control, ICICIC 2017*, 2017, pp. 1–4.
- [15] C. won Jung and F. De Flaviis, "A Dual-Band Antenna for WLAN Applications by Double Rectangular Patch with 4-Bridges," in *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, 2004, pp. 4280–4283.
- [16] Aneka PCB, "Spesifikasi Bahan FR4-Epoxy," 2008. <https://anekapcb.com/techinfo.html>.
- [17] I. Surjati, *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta: Universitas Trisakti, Jakarta, 2010.
- [18] D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE," *J. Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2018.
- [19] L. Y. Sabila, T. Prakoso, and A. Sofwan, "Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch Untuk Wi-Fi Menggunakan Characteristic Mode Analysis (CMA)," *Transient*, vol. 7, no. 1, pp. 13–19, 2018.