

Desain U-slot Ganda untuk Meningkatkan *Bandwidth* Antena MIMO 5G *Millimeter-wave*

EFRI SANDI, WISNU DJATMIKO, RIZKITA KURNIA PUTRI

KBI Elektronika Komunikasi Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
Email: efri.sandi@unj.ac.id

Received 20 April 2019 | *Revised* 19 Juli 2019 | *Accepted* 8 November 2019

ABSTRAK

Pada penelitian ini dikembangkan rekayasa antena mikrostrip (MSA) dengan penambahan U-slot ganda untuk meningkatkan performansi bandwidth antena mikrostrip. Penelitian sebelumnya berfokus pada penambahan U-slot tunggal dan didesain untuk frekuensi di bawah 15 GHz. Kebutuhan utama antena 5G adalah memiliki bandwidth yang lebar dan kemampuan Multiple Input Multiple Output (MIMO). Untuk itu perlu dikembangkan desain antena MIMO 5G dengan bandwidth yang lebih lebar pada frekuensi millimeter-wave 28 GHz sebagai kandidat utama alokasi frekuensi untuk komunikasi seluler 5G. Pada penelitian ini diajukan teknik desain antena MIMO dengan penambahan rekayasa U-slot ganda untuk meningkatkan performansi bandwidth. Hasil kalkulasi dan simulasi menunjukkan bahwa dengan penambahan U-slot ganda, dihasilkan peningkatan performansi bandwidth sebesar 68% dibandingkan desain antena tanpa U-slot. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian U-slot sebelumnya, penambahan U-slot ganda menghasilkan peningkatan bandwidth sebesar 76%.

Kata kunci: U-Slot ganda, antena 5G millimeter-wave, MIMO, bandwidth

ABSTRACT

In this study, a microstrip antenna (MSA) was developed with the addition of a double U-slot to improve bandwidth performance. Previous studies have focused on adding single U-slots and designed for frequencies below 15 GHz. The main requirement for 5G antennas is high bandwidth performance and multiple input-multiple output capabilities (MIMO). Therefore, it is necessary to develop a 5G MIMO antenna with broader bandwidth at the millimeter-wave frequency 28 GHz as the primary candidate for frequency allocation for 5G cellular communication. In this study, MIMO antenna design techniques were proposed with the addition of a double U-slot method to improve bandwidth performance. The calculation and simulation results show that with the addition of a double U-slot, an increase in bandwidth performance of 68% compared to antenna designs without U-slots and 76% when compared to using a single U-slot in previous studies.

Keywords: Double U-Slot, millimeter-wave 5G antenna, MIMO, bandwidth

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi seluler saat ini dalam tahap memasuki generasi ke-5 (5G) yang mempunyai tantangan untuk mencapai kecepatan tinggi, efisiensi daya dan keandalan sistem (Warren & Dewar, 2014). Menurut (Ericsson Ab, 2016), parameter teknologi 5G akan mengembangkan kecepatan data yang sangat tinggi, reabilitas tinggi, latensi yang sangat rendah dan konsumsi energi yang efisien. *International Telecommunication Union* (ITU) dalam (ITU-R.2083-0), merekomendasikan parameter kunci yang harus dipenuhi dalam pengembangan teknologi 5G adalah kecepatan data 10-20 Gbit/s, kecepatan penerimaan (*user experiences*) 100 Mbit/s, *latency* 1 ms, kemampuan *mobility* 500 km/h, *connection density* 106 perangkat/km², efisiensi energi 100 kali *IMT-Advanced*, efisiensi spektrum 3 kali *IMT-Advanced* serta kapasitas area trafik 10 Mbit/s/m².

Salah satu perangkat penting dalam teknologi 5G adalah perangkat antena yang mendukung kinerja jaringan teknologi 5G. Teknologi seluler 5G membutuhkan antena yang mempunyai performansi tinggi, sistem transmisi *Multiple Input-Multiple Output* (MIMO) dan *beamforming* (Swindlehurst, dkk, 2014). Menurut (Ancans, dkk, 2017) terdapat beberapa kandidat alokasi frekuensi pada daerah *millimeter-wave* yang dapat digunakan untuk mendukung kebutuhan spektrum lebar sistem komunikasi 5G. (Kim, dkk, 2016) merekomendasikan teknologi 5G bekerja pada frekuensi *millimeter-wave* (24 -28 GHz). Khusus untuk Indonesia, penelitian (Hikmaturokhman, dkk, 2018) merekomendasikan teknologi 5G bekerja pada daerah *C-Band* dan *millimeter-wave* 28 GHz. Dengan demikian, dibutuhkan desain dan pengembangan antena 5G yang bekerja pada frekuensi *millimeter-wave* untuk mengantisipasi kebutuhan teknologi 5G yang akan segera diluncurkan.

Salah satu jenis antena yang banyak digunakan dalam aplikasi sistem komunikasi saat ini adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip dipilih karena memiliki kelebihan dari ukuran fisik antena, profil yang sederhana dan mudah difabrikasi. Namun, antena mikrostrip mempunyai kelemahan dari sisi *bandwidth* yang sempit, keterbatasan *gain* dan efisiensi yang rendah (Garg, 2000). Dalam berbagai penelitian dan rekayasa antena mikrostrip, para perancang antena telah berusaha mencari solusi untuk meningkatkan performansi *bandwidth* dan *gain* antena mikrostrip. Salah satu teknik yang dikembangkan adalah menggunakan *patch slot* berbentuk U untuk memberikan pelebaran *bandwidth* dengan meningkatkan kopling induktif dan mengurangi faktor Q antena (V.P Patil, 2012).

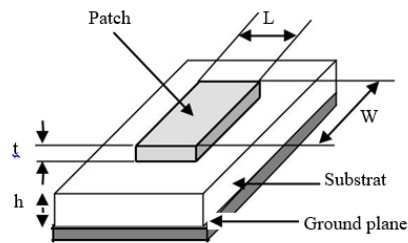
Beberapa penelitian lainnya menunjukkan pengaruh penambahan *U-Slot* terhadap peningkatan performansi *bandwidth* antena mikrostrip. Penelitian (Kevin, dkk, 2017) mengusulkan perancangan antena *rectangular patch* dengan *U-slot* pada frekuensi 15 GHz. Hasil penelitian ini dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 400 MHz dibandingkan dengan antena tanpa *U-slot*. Penelitian (Darimireddy, dkk, 2015) mengusulkan perancangan antena *triple layer* dengan *double U-slot* pada frekuensi 3.8 GHz menghasilkan performansi *bandwidth* sebesar 600 MHz. Selanjutnya penelitian (Suaibur, dkk, 2013) mengusulkan perancangan *double U-slot patch* antena untuk aplikasi WiMAX menghasilkan peningkatan *bandwidth* sebesar 4.22%, 1.87%, dan 3.51% pada setiap *band* WiMAX dan terakhir pada penelitian (Ardianto, dkk, 2019) penggunaan *U-slot* mampu menghasilkan *bandwidth* sebesar 1,62 GHz dan *gain* sebesar 7,52 dB pada frekuensi 28 GHz. Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *U-slot* pada elemen peradiasi (*patch*) antena mikrostrip telah terbukti mampu meningkatkan performansi *bandwidth* antena.

Sehingga dalam penelitian ini dikembangkan rekayasa *U-slot* dengan pengembangan desain *U-slot* ganda pada frekuensi *millimeter-wave* teknologi seluler 5G. Diharapkan hasil rekayasa

dan pengembangan desain *U-slot* ganda ini mampu memperlebar *bandwidth* dan meningkatkan *gain antenna* MIMO 5G dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya sehingga mampu memenuhi spesifikasi teknologi 5G pita lebar dan *high gain*.

2. DESAIN DAN PERANCANGAN ANTENA

2.1 Antena Mikrostrip



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip (Balanis, 2005)

Antena mikrostrip didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti potongan yang mempunyai ukuran sangat tipis/kecil. Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan. Lapisan tersebut adalah *conducting patch*, *substrate* dielektrik, dan *ground plane* seperti yang terdapat pada Gambar 1.

2.2 Spesifikasi Antena

Penentuan spesifikasi antena berdasarkan tujuan perancangan, yaitu membuat antena mikrostrip yang sesuai dengan kriteria pada aplikasi teknologi seluler 5G pada daerah frekuensi *millimeter-wave*. Adapun spesifikasi yang diharapkan dapat dicapai oleh antena yang akan dirancang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rancangan Antena

Parameter	Keterangan
Frekuensi Kerja	27 – 29 GHz
Frekuensi Tengah	28 GHz
<i>Bandwidth</i>	≥ 2 GHz
Impedansi	50Ω
<i>Gain</i>	≥ 9 dB
VSWR	$\leq 1,5$
<i>Return Loss</i>	≤ -20 dB
<i>Side Lobe Level</i>	≤ -13 dB

2.3 Perancangan Desain Antena

Metode dan proses perancangan antena 5G ini dimulai dari tahap kalkulasi untuk menentukan beberapa parameter dimensi *patch* dan *substrate* antena, yang dibutuhkan untuk frekuensi *millimeter-wave* 28 GHz. Perancangan dimensi antena ditentukan berdasarkan persamaan

yang umum digunakan dalam menghitung dimensi mikrostrip (**Balanis, 2005**). Untuk menghitung lebar *patch* (W) menggunakan Persamaan (1) :

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

c = Kecepatan cahaya pada ruang bebas (3×10^8 m/s)

f_r = Frekuensi kerja antena yang diinginkan (Hz)

ϵ_r = Permittivitas substrat

untuk menghitung panjang *patch* (L_p) dirumuskan sebagai berikut,

menghitung ϵ_{eff} ,

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{1} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} + 0.04 \left(1 - \frac{W_F}{h} \right)^2 \right] \quad (2)$$

menghitung ΔL ,

$$\Delta L = 0.42 \times h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

menghitung L (*patch*),

$$L = \frac{1}{2 \times f \times \sqrt{\epsilon_{eff}} \times \sqrt{\mu_0 \epsilon_r}} - 2 \times \Delta L \quad (4)$$

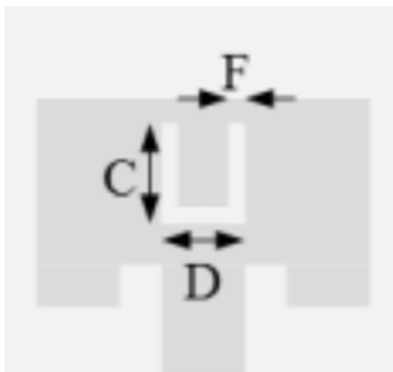
untuk menentukan lebar *ground plane* dan *substrate*,

$$W_g = 6h + W \quad (5)$$

untuk menentukan panjang *ground plane* dan *substrate*.

$$L_g = 6h + L \quad (6)$$

Untuk menentukan dimensi *U-slot* dirumuskan melalui pendekatan berikut, (**Kevin, dkk, 2017**).



Gambar 2. Struktur *U-slot* (Kevin, 2017)

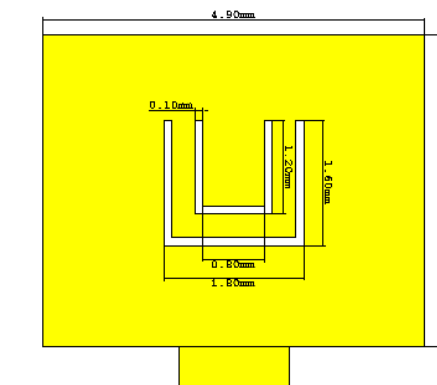
Penambahan struktur *U-slot* pada *patch* harus menggunakan perhitungan parameter C, D, dan F sesuai dengan persamaan berikut (Kevin, dkk, 2017):

$$\frac{C}{W} \geq 0.3 \quad (7)$$

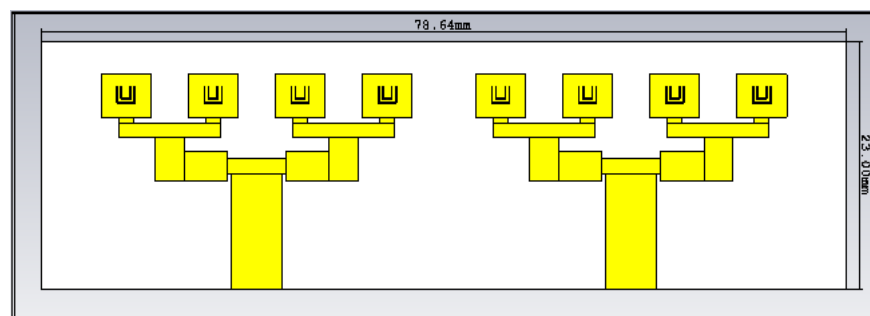
$$D = \frac{C}{f_{low}\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L + \Delta L - F) \quad (8)$$

$$F = \frac{\lambda}{60} \quad (9)$$

Bahan yang digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip ini adalah tembaga pada *patch* dan *groundplane* setebal 0,035 mm. Bahan *substrate* digunakan Duroid RT5880 dengan permitivitas (ϵ_r) sebesar 2,2 dan tebal yang digunakan adalah 1,575 mm. Hasil rancangan antenna *U-slot* ganda untuk antenna MIMO 5G *millimeter-wave* disimulasikan menggunakan software CST *Microwave Studio* 2016 seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Dimensi *U-Slot*



Gambar 4. Antena MIMO 2T2R (2 *Transmit* 2 *Receive*)

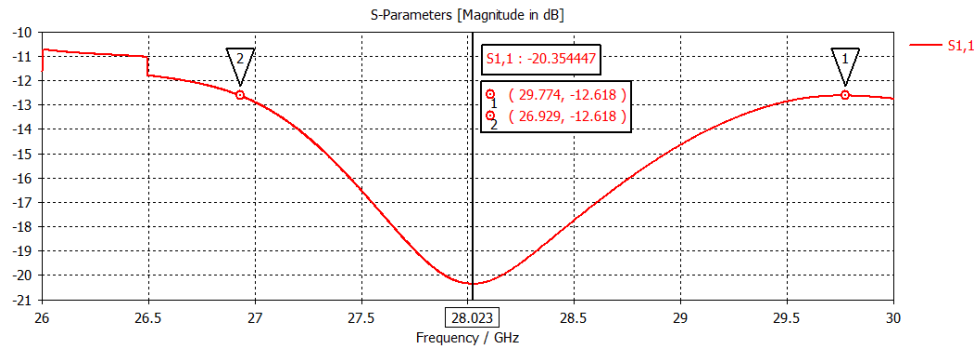
3. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

3.1 Hasil Simulasi Antena menggunakan *U-slot* Ganda

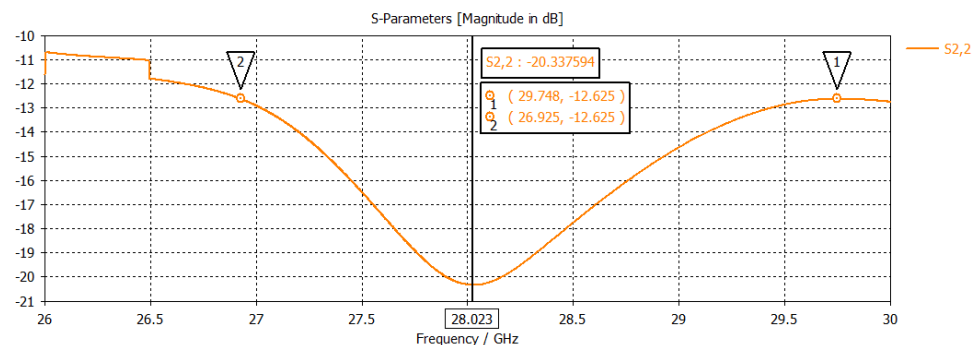
Proses simulasi akan menghasilkan nilai-nilai parameter performansi antenna yang dirancang sehingga pada saat proses fabrikasi performa antenna sudah dapat diketahui kemampuannya. Untuk mendapatkan frekuensi kerja sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka *return loss* pada

Desain *U-Slot* Ganda untuk Meningkatkan *Bandwidth* Antena MIMO
5G *Millimeter-Wave*

rentang frekuensi 27 GHz – 29 GHz bernilai ≤ -20 dB. Pada Gambar 5 didapatkan nilai *return loss* di ANTENA 1 pada frekuensi tengah 28,023 GHz sebesar -20,35 dB dengan *bandwidth* sebesar 2,845 GHz. Pada Gambar 6 diperoleh nilai *return loss* ANTENA 2 pada frekuensi tengah 28,023 GHz sebesar -20.34 dB dengan *bandwidth* sebesar 2,823 GHz.

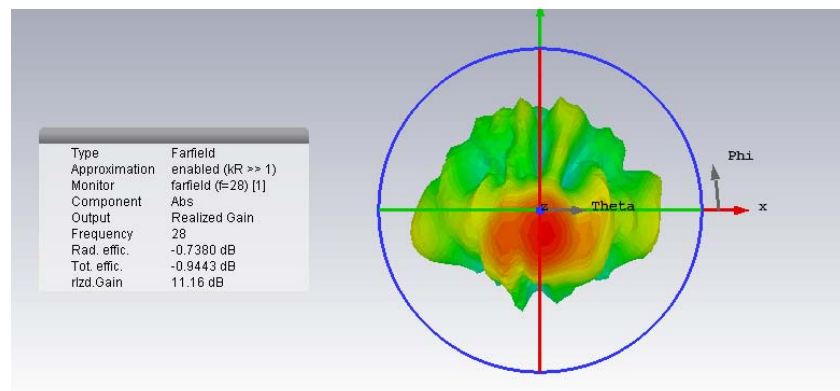


Gambar 5. Return Loss dan Bandwidth Antena 1

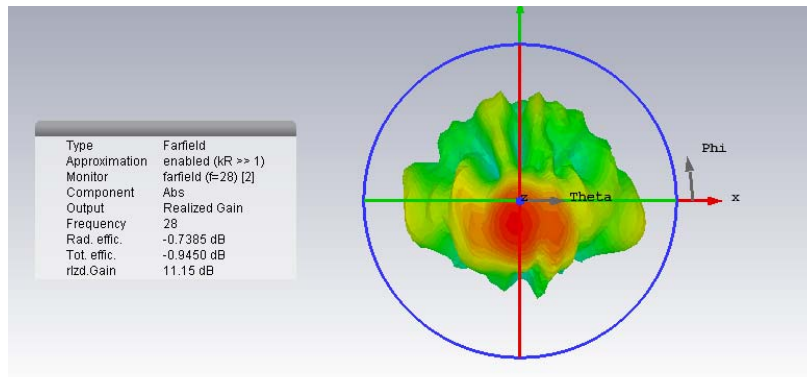


Gambar 6. Return Loss dan Bandwidth Antena 2

Besarnya *gain* yang diinginkan berdasarkan Tabel 1 adalah ≥ 9 dB. Pada Gambar 7 didapatkan nilai *gain* maksimum di ANTENA 1 pada frekuensi 28 GHz sebesar 11,16 dB dan pada Gambar 8 didapatkan nilai *gain* maksimum di ANTENA 2 pada frekuensi 28 GHz sebesar 11,15 dB.

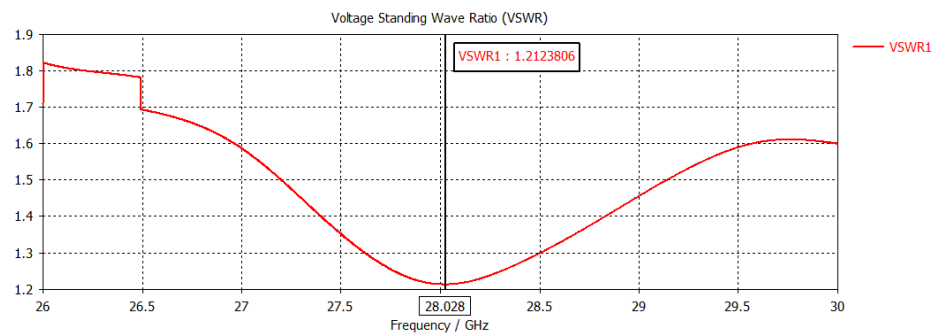


Gambar 7. Gain Antena 1

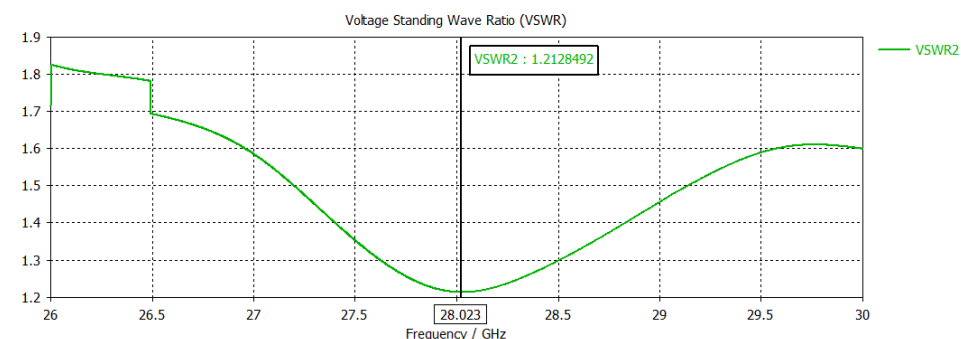


Gambar 8. Gain Antena 2

Besarnya VSWR yang diinginkan berdasarkan Tabel 1 adalah $\leq 1,5$. Pada Gambar 9 didapatkan nilai VSWR minimum di ANTENA 1 berada pada frekuensi tengah 28,028 GHz dengan nilai sebesar 1,212 dan pada Gambar 10 didapatkan nilai VSWR minimum di ANTENA 2 pada frekuensi tengah 28,023 GHz dengan nilai sebesar 1,213.



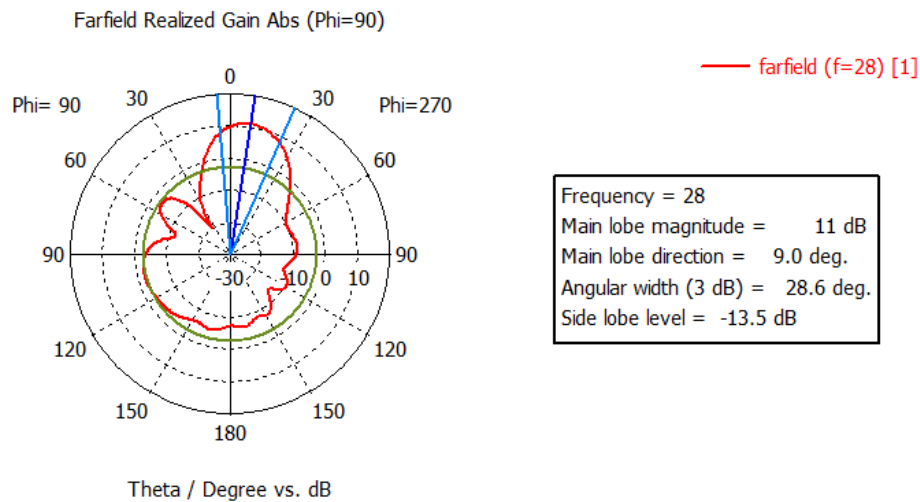
Gambar 9. VSWR Antena 1



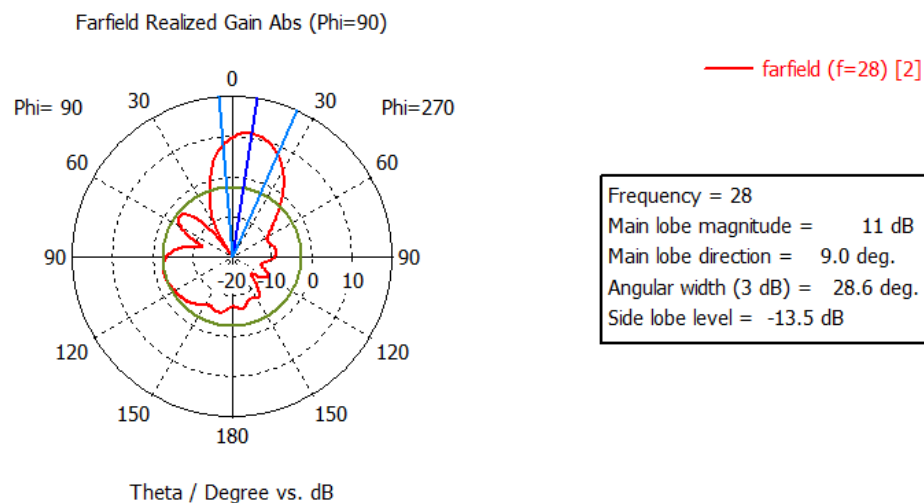
Gambar 10. VSWR Antena 2

Besarnya SLL yang diinginkan berdasarkan Tabel 1 adalah ≤ -13 dB. Pada Gambar 11 didapatkan nilai SLL minimum di ANTENA 1 pada frekuensi 28 GHz sebesar -13,5 dB. Pada Gambar 12 didapatkan nilai SLL minimum di ANTENA 2 juga sebesar -13,5 dB.

Desain *U-Slot* Ganda untuk Meningkatkan *Bandwidth* Antena MIMO
5G *Millimeter-Wave*



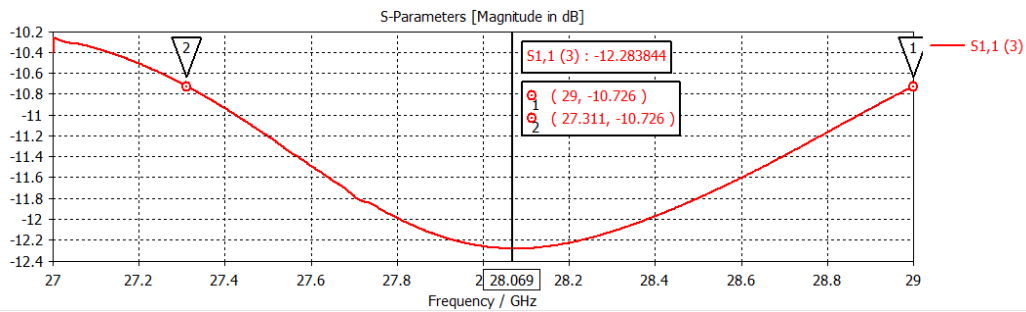
Gambar 11. Side Lobe Level Antena 1



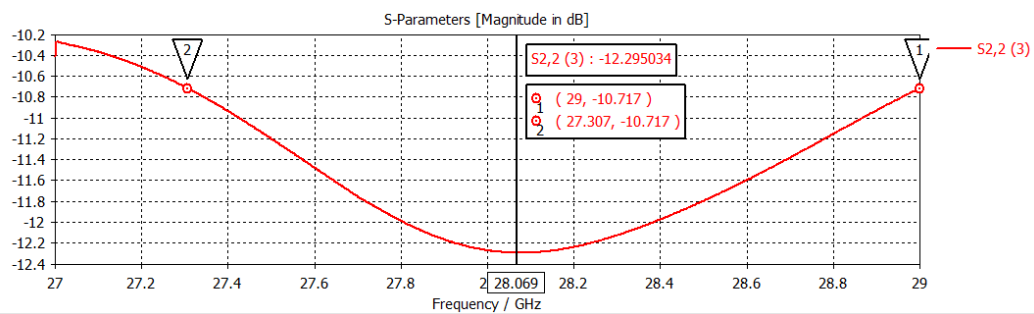
Gambar 12. Side Lobe Level Antena 2

3.2 Hasil Simulasi Antena tanpa *U-slot* Ganda

Untuk memperoleh perbandingan hasil pengembangan *U-slot* ganda, maka dilakukan simulasi rancangan antena tanpa *U-slot* ganda sebagai perbandingan. Pada Gambar 13 didapatkan nilai *return loss* di ANTENA 1 pada frekuensi tengah 28,069 GHz sebesar -12,284 dB dengan *bandwidth* sebesar 1,689 GHz. Pada Gambar 14 didapatkan nilai *return loss* di ANTENA 2 pada frekuensi tengah 28,069 GHz sebesar -12,295 dB dengan *bandwidth* sebesar 1,693 GHz.

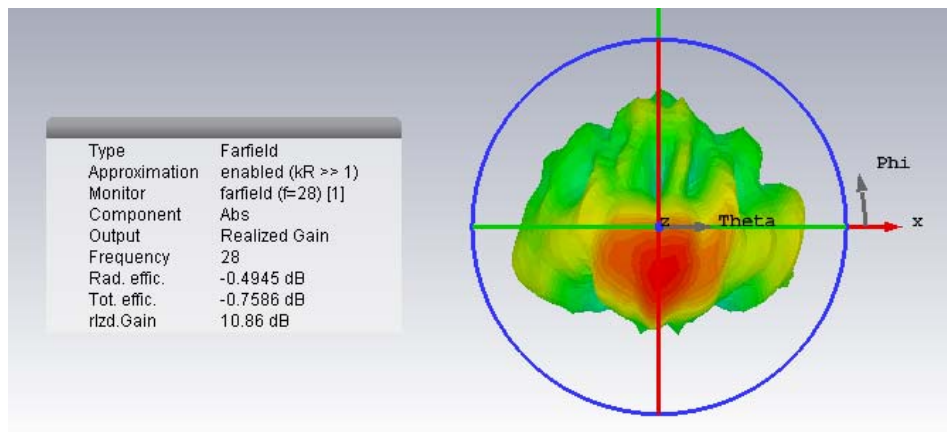


Gambar 13. Return Loss dan Bandwidth Antena 1



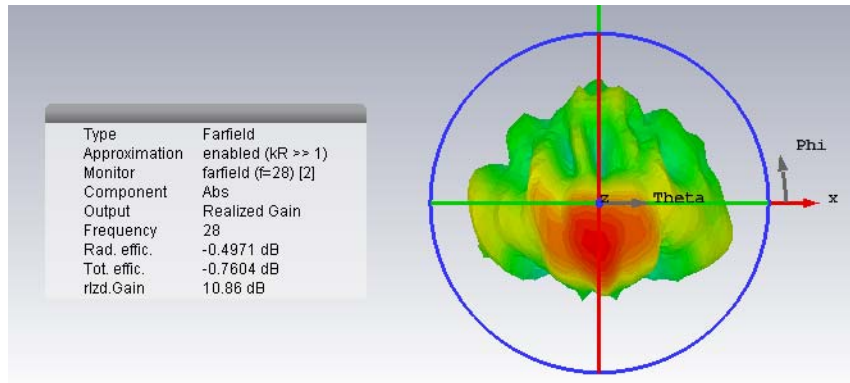
Gambar 14. Return Loss dan Bandwidth Antena 2

Besarnya *gain* yang diinginkan pada Tabel 1 spesifikasi antena adalah ≥ 9 dB. Pada Gambar 15 didapatkan nilai *gain* maksimum di ANTENA 1 pada frekuensi 28 GHz sebesar 10,86 dB dan pada Gambar 16 didapatkan nilai *gain* maksimum di ANTENA 2 pada frekuensi 28 GHz juga sebesar 10,86 dB.



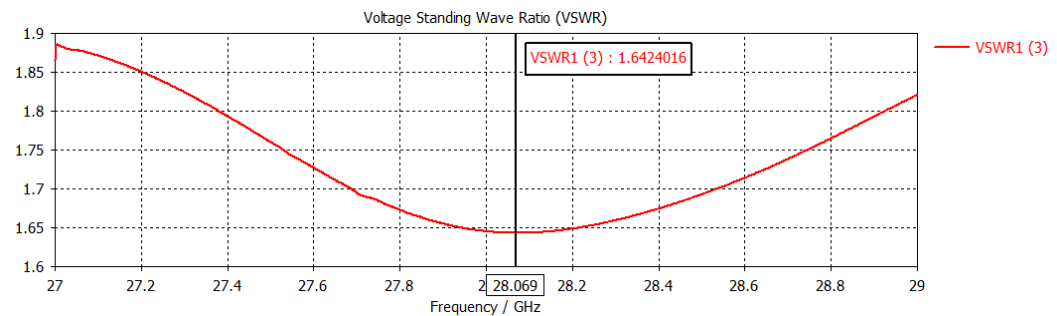
Gambar 15. Gain Antena 1

Desain *U-Slot* Ganda untuk Meningkatkan *Bandwidth* Antena MIMO
5G *Millimeter-Wave*

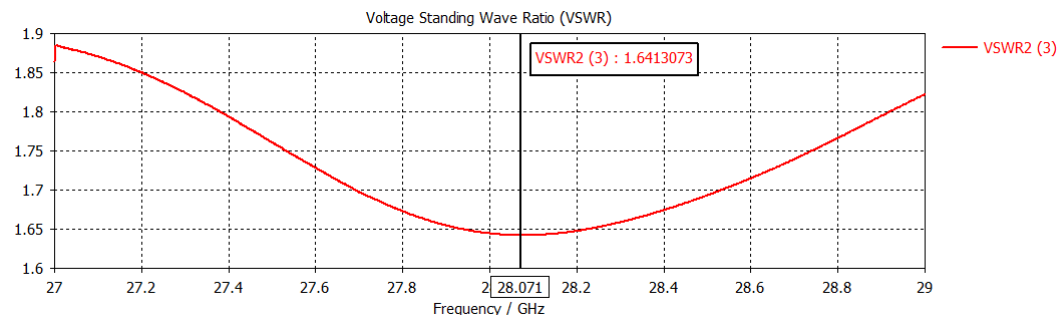


Gambar 16. Gain Antena 2

Pada Gambar 17 didapatkan nilai VSWR minimum di ANTENA 1 berada pada frekuensi tengah 28,069 GHz dengan nilai sebesar 1,642 dan pada Gambar 18 didapatkan nilai VSWR minimum di ANTENA 2 pada frekuensi tengah 28,071 GHz dengan nilai sebesar 1,641.

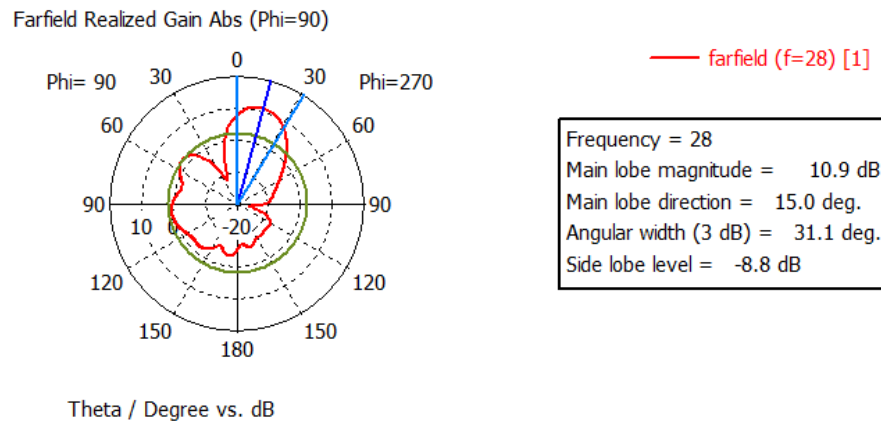


Gambar 17. VSWR Antena 1

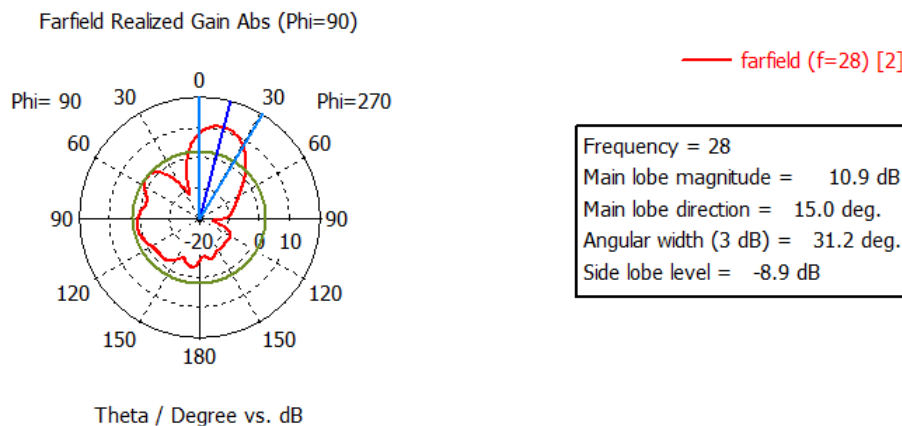


Gambar 18. VSWR Antena 2

Pada Gambar 19 didapatkan nilai SLL minimum di ANTENA 1 pada frekuensi 28 GHz ialah sebesar -8,8 dB. Pada Gambar 20 didapatkan nilai SLL minimum di ANTENA 2 sebesar -8,9 dB.



Gambar 19. Side Lobe Level Antena 1



Gambar 20. Side Lobe Level Antena 2

3.3 Analisis dan Perbandingan Peningkatan *Bandwidth* dan *Gain*

Hasil penelitian (Kevin, dkk, 2017) tentang perancangan antenna *rectangular patch* dengan *U-slot* pada frekuensi 15 GHz dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 400 MHz dibandingkan dengan antenna tanpa *U-slot*. Penelitian (Ardianto, dkk, 2019) diperoleh peningkatan *bandwidth* 230 MHz dan *gain* 0,44 dB jika dibandingkan tanpa rekayasa *U-slot*. Berdasarkan data pada penelitian menggunakan *U-slot* ganda, dihasilkan peningkatan *bandwidth* sebesar 1,156 GHz jika dibandingkan dengan antenna tanpa *U-slot* ganda. Penambahan *U-slot* ganda ini membuktikan peningkatan *bandwidth* 76% lebih besar dibandingkan dengan penggunaan *U-slot* tunggal pada penelitian-penelitian sebelumnya. Demikian juga peningkatan *gain* yang diperoleh mencapai 11,16 dB, jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya yang menghasilkan *gain* 9,2 dB. Perbandingan lengkap hasil penelitian *U-slot* ganda dengan tanpa *U-slot* dan penelitian sebelumnya seperti ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Performansi *Bandwidth* dan *Gain*

Parameter	Proposal <i>U-slot</i> Ganda	Tanpa <i>U-slot</i>	Ardianto, dkk, 2019	Kevin, dkk, 2017
Frekuensi (GHz)	28	28	28	15
<i>Bandwidth</i> (MHz)	2,845	1,689	1,62	1,0
<i>Gain</i> (dB)	11,16	10,86	7,52	9,2

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dirancang antena yang bekerja pada frekuensi 28 GHz sebagai salah satu kandidat frekuensi 5G *millimeter-wave* dengan menggunakan rekayasa *U-slot* ganda untuk meningkatkan performansi *bandwidth* dan *gain* antena. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rekayasa *U-slot* ganda yang diajukan mampu menghasilkan peningkatan *bandwidth* secara signifikan jika dibandingkan dengan tanpa *U-slot* dan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Rekayasa *U-slot* ganda ini juga dapat meningkatkan *gain* antenna, namun tidak terlalu signifikan. Hasil desain antena MIMO 5G ini mampu menghasilkan *bandwidth* sebesar 2,845 GHz dan *gain* antena sebesar 11,16 dB atau meningkatkan *bandwidth* sebesar 68% dibandingkan tanpa *U-slot* dan 76% dibandingkan hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian ini juga memberikan bukti tambahan bahwa rekayasa *U-slot* pada antena mikrostrip mampu meningkatkan *bandwidth* sehingga memberi kontribusi bagi pengembangan desain antena mikrostrip untuk berbagai aplikasi sistem komunikasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Ancans, G., Bobrovs, V., Ancans, A. and Kalibatiene D. (2017). Spectrum Consideration for 5G Mobile Communication Systems. *Procedia Comput. Sci.*, 104, 509 - 516.
- Ardianto, F. W., Renaldy, S., Lanang, F. F., Yunita, T. (2019). Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan *U-slot* Frekuensi 28 GHz. *Elkomika*, 7(1), 43 - 56.
- Balanis, C.A. (2005). *Antena Theory Analysis and Design 3rd Edition*. USA: Wiley Inter-science.
- Darimireddy, N.K., dkk. (2015). Design of triple-layer double U-slot patch antenna for wireless applications. *Journal of Applied Research and Technology*, 13(5), 526 - 534.
- Ericsson Mobility Report. (2016). 5G radio access What is 5G?.
- Garg, R. (2000). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston: Artech House.
- Hikmaturokhman, A., Ramli, K., Suryanegara, M. (2018). Spectrum Consideration for 5G in Indonesia. *International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev)*, (pp. 23-28).
- Kevin, J., Levy Olivia N & Syihabuddin. (2017). Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G. *JNETI*, 6(1), 93 - 98.

- Kim, Y., Lee, H., Hwang, P., Patro, R. K., Lee, J., Roh, W. and Cheun, K. (2016). Feasibility of Mobile Cellular Communications at Millimeter Wave Frequency. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10(3), 589 - 599.
- Recommendation ITU-R.2083-0. (2015). IMT Vision: Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond. *ITU-R Radio Communication Sector of ITU*.
- Suaibur, R., Mowla, M. & Mahabub Alam. (2013). Design & Simulation of Double U-Slot Microstrip Patch Antenna for WiMAX Application. *International Journal of Scientific Engineering Research*, 4(7), 2013.
- Swindlehurst, A. L., Ayanoglu, E., Heydari, P. and Capolino, F. (2014). Millimeter-Wave Massive MIMO: The Next Generation Revolution? *IEEE Communications Magazine*, 52(9), 56 - 62.
- V.P., Patil. (2012). Enhancement of Bandwidth of Rectangular Patch Antenna Using two Square Slots Techniques. *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 3(2), 1 - 12.
- Warren, D. and Dewar, C. (2014). Understanding 5G: Perspectives on Future Technological Advanced in Mobil. *GSMA Intelligence*.