

# Desain Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array* 1×2 dengan *U-Slot* Frekuensi 28 GHz

FAJAR WAHYU ARDIANTO, SETYAWAN RENALDY, FARHAN FATHIR  
LANANG, TRASMA YUNITA

S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom  
Email: [fajarwahyuar7@gmail.com](mailto:fajarwahyuar7@gmail.com)

*Received* 30 April 2018 | *Revised* 2 Juni 2018 | *Accepted* 8 November 2018

## ABSTRAK

*Kebutuhan pengguna yang semakin meningkat harus diimbangi dengan peningkatan kecepatan data dan kapasitas suatu jaringan, sehingga diperlukan bandwidth yang lebar. 5G merupakan salah satu teknologi yang akan diresmikan tahun 2020 yang menjadi solusi terhadap peningkatan kecepatan data dan kapasitas layanan. Salah satu kandidat yang menjadi frekuensi kerja 5G yaitu 28 GHz. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang dapat digunakan untuk teknologi 5G. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, diantaranya bandwidth dan gain yang kecil. Untuk itu, dibutuhkan teknik yang dapat meningkatkan bandwidth dan gain antena. Pada penelitian ini dirancang antena mikrostrip bentuk rectangular patch yang ditambahkan slot berbentuk U dengan tujuan meningkatkan bandwidth dan disusun secara array 1×2 untuk meningkatkan gain antena. Hasil dari simulasi didapatkan antena mampu bekerja pada rentang frekuensi 27,5 GHz – 29,12 GHz pada batas return loss kurang dari -15 dB dengan bandwidth sebesar 1,62 GHz. Nilai gain yang dihasilkan sebesar 7,52 dB. Pola radiasi yang dihasilkan, yaitu unidireksional dan berpolarisasi secara linear.*

**Kata kunci:** 5G, 28 GHz, mikrostrip, rectangular patch, array, U-Slot

## ABSTRACT

*Data rate and network capacity improvements offset the increase of user needs, hence it requires a wider bandwidth. The most current high-end technology, which can solve the problem is 5G. One of the frequency that becomes the candidate of 5G is 28 GHz. For 5G, it could apply one of the antenna types, micro strip antenna. However, micro strip antenna has a shortage of narrow bandwidth and small gain. Therefore, it requires a technique to increase the bandwidth and gain of the antenna. In this study, the form of micro strip of antenna design is a rectangular patch with the addition of U-Slot and arranged 1x2 to increase the bandwidth and antenna gain. The results of the simulation show that the antenna is working well at the range frequency of 27.5 GHz - 29.12 GHz, with a return loss limit of -15 dB with bandwidth of 1.62 GHz, the resulting gain value is 7.52 dB, the resulting radiation pattern is unidirectional and linearly polarized.*

**Keywords:** 5G, 28 GHz, microstrip, rectangular patch, array, U-Slot

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia khususnya pada bidang telekomunikasi sangatlah cepat. Hal ini sebanding dengan kebutuhan pengguna perangkat *mobile* seperti *smartphone* yang setiap tahunnya mengalami peningkatan. Pengguna selalu menginginkan untuk mendapatkan akses pertukaran informasi yang sangat cepat dan mampu melayani kebutuhan akses data tanpa adanya *delay*. Maka dari itu, dibutuhkan kapasitas jaringan dan lebar pita yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi saat ini (**Ardianto, Adriansyah, & Syihabuddin, 2018**). Selain itu, perkembangan teknologi memungkinkan perangkat pengguna baik yang *mobile* maupun *fixed* untuk bisa saling terkoneksi satu sama lain dengan delay yang sangat kecil. Hal inikarena tidak ada sistem tanpa delay. Sebagai contoh di 5G untuk *Ultra Reliable and Low Latency* (URLL) mensyaratkan *latency* atau delay kurang dari 1 ms untuk mobil *self driving*, robot *sugery*, dll. Teknologi telekomunikasi generasi kelima atau 5G sebagai penerus 4G diharapkan mampu menjawab tantangan permintaan kapasitas dan *data rate* yang tinggi serta dapat mengurangi *delay*. Pada saat ini, teknologi 5G masih belum memiliki standarisasi yang mengatur secara baku penerapan dari teknologi tersebut (**5G Americas White Paper on 5G Spectrum Recommendations, 2017**). Semua operator berlomba-lomba dan bahkan sudah mulai komersialisasi, kemungkinan 2019 sudah mulai banyak komersialisasinya.

Telah banyak inovasi yang ditawarkan untuk dapat dijadikan teknologi pendukung komunikasi 5G. Penggunaan gelombang yang bekerja di atas frekuensi 6 GHz menjadi salah satu arah pengembangan teknologi 5G. Sudah banyak alokasi frekuensi yang ditawarkan menjadi frekuensi utama komunikasi 5G. Para peneliti telah memberikan beberapa usulan kandidat frekuensi yang dijadikan sebagai frekuensi utama pada 5G, yaitu 15 GHz (**Tateishi, et al., 2017**), 28 GHz dan 38 GHz (**Qamar, Siddiqui, Dimyati, Noordin, & Majed, 2017**). Salah satu kandidat frekuensi 5G yang telah banyak dilakukan penelitian, yaitu frekuensi 28 GHz. Hal ini juga diusulkan oleh *Federal Communications Commission* (FCC) yang mengusulkan frekuensi kerja teknologi 5G pada frekuensi 28 GHz dengan rentang frekuensi 27,5 GHz – 29,5 GHz (**5G Americas White Paper on 5G Spectrum Recommendations, 2017**).

Pada sistem telekomunikasi selular, antena merupakan salah satu komponen yang sangat penting. Penggunaan frekuensi tinggi dapat menyebabkan dimensi suatu antena mengecil, sehingga teknologi 5G membutuhkan antena yang mudah untuk diintegrasikan. Salah satu jenis antena yang cocok untuk menjadi kandidat teknologi 5G, yaitu antena mikrostrip. Antena mikrostrip memiliki ukuran yang, tipis, kecil, mudah diintegrasikan dan dapat beroperasi pada frekuensi tinggi. Namun, antena mikrostrip mempunyai kekurangan, yaitu *bandwidth* yang sempit (**Balanis, 2005**), sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk dapat meningkatkan *bandwidth* antena mikrostrip. Selain itu, antena mikrostrip menghasilkan *gain* yang kecil, sehingga diperlukan teknik penyusunan antena secara *array*. Penyusunan antena secara *array* dapat meningkatkan *gain* dan direktivitas dari suatu antena (**Balanis, 2005**), sehingga arah pancar antena menjadi lebih terarah. Hal ini sangat diperlukan pada teknologi 5G (**Hakimi & Rahim, 2014**).

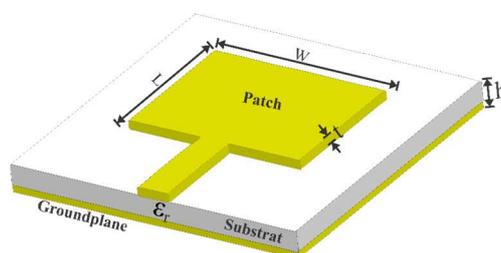
Salah satu teknik untuk meningkatkan *bandwidth* antena dengan menggunakan penambahan *slot* pada *patch* antena. Pada tahun 2015, penelitian yang telah dilakukan oleh Firmansyah (**Firmansyah, Purnomo, Fatonah, & Nugroho, 2015**) dan timnya, telah melakukan analisis pengujian antena mikrostrip yang menggunakan *rectangular patch* hanya mampu menghasilkan *bandwidth* sebesar 100 MHz. Pada tahun 2017, penelitian yang dilakukan oleh Kevin (**Sinaga, Nur, & Syihabuddin, 2017**) dan timnya, telah melakukan penelitian mengenai penggunaan U-*Slot* pada *rectangular patch* dapat meningkatkan *bandwidth* antena sebesar 400 MHz. Namun, antena yang dianalisis bekerja pada frekuensi 15 GHz. Untuk sistem

komunikasi 5G pada frekuensi 28 GHz, dirancang antena *Bent Line Grid Array* yang memiliki *bandwidth* sesuai dengan standar FCC, tetapi antena tersebut memiliki bentuk yang rumit (**Hakimi & Rahim, 2014**). Pada penelitian ini dirancang antena mikrostrip dengan bentuk *rectangular patch* yang ditambahkan U-slot pada bagian *patch*-nya dengan tujuan untuk meningkatkan *bandwidth* antena dan mampu bekerja pada frekuensi 28 GHz, kemudian disusun secara *array* 1×2 untuk meningkatkan *gain* antena. Selain itu, antena yang dirancang memiliki pola radiasi unidireksional dan berpolarisasi secara linear. Sehingga, dengan demikian antena digunakan untuk kepentingan komunikasi pada teknologi 5G.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Gambar 1 menunjukkan gambaran bentuk antena mikrostrip *rectangular patch* yang tersusun atas tiga bagian.



**Gambar 1. Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*.**

Menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), antena diartikan sebagai sebuah alat yang mampu memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik (**Balanis, 2005**). Secara umum, antena memiliki fungsi sebagai *transducer* dari gelombang listrik menjadi gelombang elektromagnetik atau sebaliknya. Salah satu jenis antena yang dapat digunakan adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip memiliki susunan yang terdiri dari *groundplane* sebagai reflektor gelombang elektromagnetik, substrat yang berisi bahan dielektrik sebagai penyalur gelombang elektromagnetik dan *patch* sebagai elemen peradiasi (**Balanis, 2005**). Antena mikrostrip bentuk *rectangular patch* merupakan bentuk *patch* yang paling banyak digunakan, karena memiliki bentuk yang sederhana. Secara umum, perhitungan dimensi *rectangular patch* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai (4) (**Balanis, 2005**),

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$\Delta L = 0,412h \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0,3}{\epsilon_{eff} - 0,258}\right) \left(\frac{\frac{W}{h} + 0,264}{\frac{W}{h} - 0,8}\right), \quad (2)$$

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L, \quad (3)$$

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

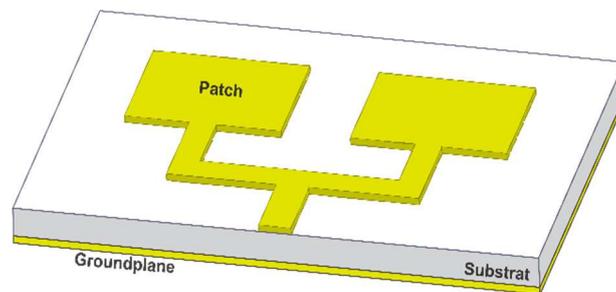
dengan  $L$  merupakan panjang dari *patch* (m) dan  $W$  merupakan lebar dari *patch* (m),  $f$  merupakan frekuensi resonansi yang digunakan,  $c$  merupakan kecepatan cahaya pada ruang hampa ( $3 \times 10^8$  m/s),  $\epsilon_r$  merupakan permitivitas relatif suatu bahan,  $\epsilon_{eff}$  merupakan

permitivitas efektif konstan dan  $h$  merupakan ketebalan dari bahan substrat.  $\Delta L$  merupakan pertambahan panjang dari  $L$  yang terjadi karena oleh *fringing effect*.

## 2.2 Array Antena

Pada umumnya antena dengan satu elemen *patch* menghasilkan *gain* yang rendah, sehingga pola radiasi antena yang dihasilkan melebar. Beberapa aplikasi perlu mendesain antena dengan karakteristik yang memiliki *directivity* tinggi. Hal ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan komunikasi jarak jauh. Walaupun hal ini dapat dicapai dengan cara memperbesar dimensi suatu antena, sehingga ukuran antena menjadi lebih besar (**Balanis, 2005**).

Memperbesar dimensi elemen tunggal antena dapat menghasilkan direktivitas menjadi lebih terarah. Cara lain untuk memperbesar dimensi antena tanpa harus meningkatkan ukuran elemen-elemen tunggal adalah membentuk antena menjadi susunan *array*. Dalam implementasinya, elemen-elemen pada antena *array* adalah identik. Selain menghasilkan direktivitas yang tinggi, *array* juga dapat meningkatkan nilai *gain* maksimum suatu antena. Semakin tinggi *gain* suatu antena, maka direktivitas antena menjadi lebih besar atau terarah, sedangkan pola radiasinya cenderung menyempit sehingga menyebabkan nilai *beamwidth* menjadi kecil (**Balanis, 2005**). Gambar 2 menggambarkan antena yang disusun secara *array* 1×2 dengan menggunakan *patch* berbentuk *rectangular*.



**Gambar 2. Antena Susunan Array.**

## 2.3 Metode U-Slot

Antena mikrostrip memiliki kekurangan dalam hal *bandwidth*. Salah satunya, *bandwidth* yang sempit. Salah satu teknik yang digunakan untuk memperbesar *bandwidth* antena mikrostrip adalah dengan melakukan penambahan *slot* pada *patch* antena. *Slot* antena dapat memiliki bentuk yang beragam seperti U, H, T, E dan V. Penelitian (**Ather & Singhal, 2013**) menunjukkan bahwa dengan penambahan U-Slot dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 50,7%, sedangkan penambahan H-Slot hanya dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 21,2%. Penambahan *slot* yang berbentuk huruf U memiliki bentuk yang sederhana dan telah terbukti pada penelitian sebelumnya dapat meningkatkan *bandwidth* antena (**Sinaga, Nur, & Syihabuddin, 2017**).

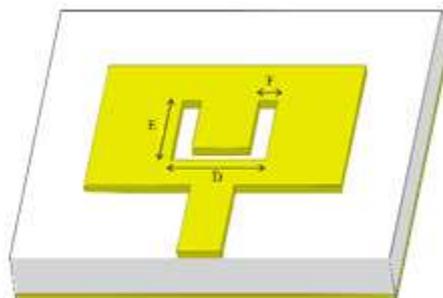
Antena mikrostrip yang telah ditambahkan *slot* menyebabkan kopling induktif dihantarkan dari catuan menuju ke *slot*. Kopling induktif yang semakin besar dapat menyebabkan faktor kualitas antena menjadi berkurang. Penurunan faktor kualitas berdampak pada *bandwidth* antena menjadi lebih lebar (**Balanis, 2005**). Perhitungan ukuran-ukuran dari U-Slot, dapat menggunakan Persamaan (5) sampai (7) (**Sinaga, Nur, & Syihabuddin, 2017**),

$$F = \frac{\lambda}{60}, \quad (5)$$

$$\frac{E}{W} \geq 0,3, \quad (6)$$

$$D = \frac{c}{f_{low}\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L + 2\Delta L - F), \quad (7)$$

Dimana  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari frekuensi resonansi,  $W$  merupakan lebar *patch*,  $F$  merupakan lebar *slot*,  $E$  merupakan panjang *slot* secara vertikal, dan  $D$  merupakan panjang *slot* secara horizontal. Gambar 3 menunjukkan gambaran bentuk antena mikrostrip *rectangular patch* yang telah ditambahkan U-Slot.



**Gambar 3. Dimensi U-Slot.**

## 2.4 Catuan Antena

Untuk mencatu energi elektromagnetik dari saluran *lossless* ke antena, terdapat berbagai macam teknik seperti *aperture coupling*, *coaxial feed*, *coplanar waveguide* dan *microstrip feed line*. Berbagai macam teknik tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Teknik catuan yang digunakan bertujuan untuk transfer daya yang efisien antara struktur *feeding* dengan struktur peradiasi dan impedansi keduanya harus *matched*.

Pada penelitian ini, catuan menggunakan metode *microstrip feed line*. Metode tersebut lebih sesuai untuk diterapkan pada perancangan antena yang disusun secara *array*. Penentuan dimensi lebar ( $W_f$ ) dan panjang ( $L_f$ ) dari *microstrip feed line* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (8) dan (9) (Balanis, 2005),

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}, \quad (8)$$

$$L_f = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (9)$$

Perhitungan nilai  $B$  dan  $Z_0$  sebagai impedansi saluran catu seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (9) dan (10) (Singh & Tripathi, 2011),

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (10)$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[ \frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right]. \quad (11)$$

Selain itu, antena yang disusun secara *array* membutuhkan teknik pembagi daya, sehingga arus yang mengalir pada saluran transmisi dapat seimbang. Teknik yang dipakai menggunakan *T-junction*. Perhitungan dimensi *T-junction* dengan lebarnya ( $W_{junction}$ ) dapat dihitung seperti Persamaan (12).

$$W_{\text{junction}} = \frac{\lambda}{2}. \quad (12)$$

## 2.5 Spesifikasi Antena

Pada penelitian ini, antena yang dirancang memiliki rentang frekuensi kerja 27,5 GHz – 29,1 GHz yang rentang frekuensi tersebut masuk rekomendasi untuk digunakan di Jepang (**5G Americas White Paper on 5G Spectrum Recommendations, 2017**). Untuk batas nilai *return loss* yang digunakan adalah  $\leq 15$  dB yang berarti daya yang dipantulkan kembali ke sumber sebesar 3,1% (**Ruswanditya, Wijanto, & Wahyu, 2017**). Kemudian untuk nilai *gain* yang dirancang  $\geq 7$  dB (**Kakkar, Nirdosh, Tripathy, & Singh, 2017**). Spesifikasi antena ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi Antena.**

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Tengah	28 GHz
Frekuensi Kerja	27,5 GHz – 29,1 GHz
<i>Return Loss</i>	$\leq 15$ dB
<i>Bandwidth</i>	1,6 GHz
Gain	$\geq 7$ dB
Pola radiasi	Unidireksional
Polarisasi	Linear

Rogers RT/duroid 5880 (tm), digunakan sebagai bahan substrat antena. Rogers RT/duroid 5880 mempunyai permitivitas bahan ( $\epsilon_r$ ) sebesar 2,2 dengan ketebalan bahan ( $h$ ) sebesar 1,575 mm. Alasan pemilihan bahan Duroid 5880 dikarenakan bahan ini mampu digunakan untuk menghasilkan bentuk dimensi yang lebih besar dan dapat bekerja di frekuensi tinggi serta memiliki permitivitas bahan yang kecil. Selain itu, bahan yang digunakan untuk *groundplane* dan *patch* adalah *cooper* dengan ketebalan 0,035 mm. *Cooper* pada umumnya digunakan untuk antena mikrostrip dikarenakan sangat mudah ditemukan dan memiliki konduktivitas yang cukup baik.

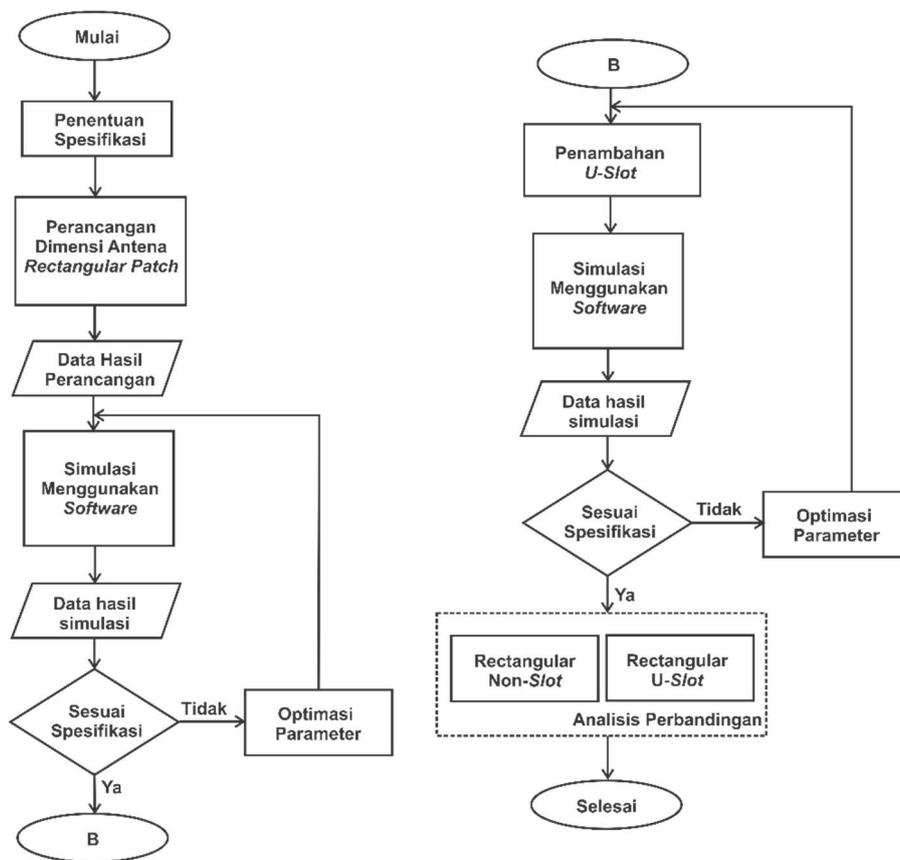
## 2.6 Perancangan Simulasi

Pada penelitian Eddy (**Wiyanto, Alam, & Harsono, 2018**) dan timnya, dilakukan penelitian tentang antenna mikrostrip *array* 1x4 diperoleh *gain* sebesar 9.04 dB. Pada penelitian yang dilakukan oleh Prabhu (**Prabhu, Archana, Mercy, & Sree, 2017**) dan timnya, dilakukan penelitian tentang antena *array* 1x3 diperoleh *gain* sebesar 7,8 dB. Pada penelitian Kevin (**Sinaga, Nur, & Syihabuddin, 2017**) dan timnya, telah dilakukan penelitian tentang mengenai penggunaan U-*Slot* pada *array* 1x2 *rectangular patch* diperoleh *gain* sebesar 9,2 dB. Namun penelitian (**Prabhu, Archana, Mercy, & Sree, 2017**) dan (**Sinaga, Nur, & Syihabuddin, 2017**) tidak menggunakan frekuensi 28 GHz. Pada penelitian ini akan dirancang antena mikrostrip *patch* berbentuk *rectangular* dengan tambahan *slotted-patch* berbentuk huruf U dan disusun secara *array* 1x2 yang bentuk dimensi antena tersebut lebih sederhana dibanding antena *array* 1x3. Antena didesain untuk kepentingan komunikasi 5G, khususnya pada frekuensi 28 GHz.

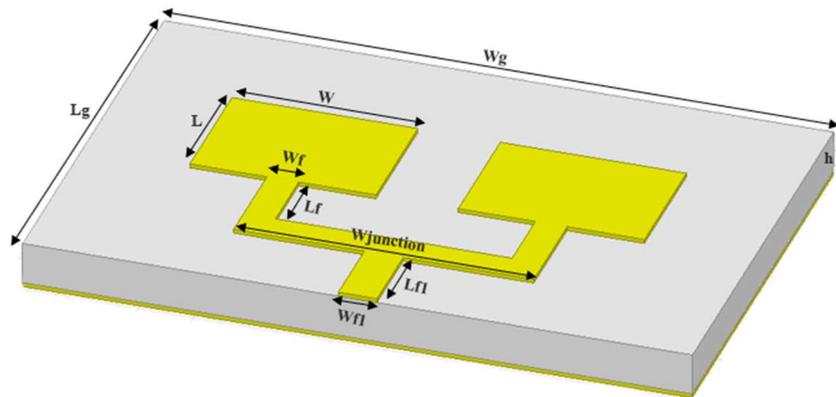
Adapun tahapan perancangan diawali dengan menentukan spesifikasi dan bentuk dari antena yang akan dirancang. Kemudian, dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan-Persamaan yang telah didapat dari berbagai referensi untuk kemudian didesain pada *software*. Dalam perancangannya, antena didesain terlebih dahulu tanpa penambahan U-*slot*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kinerja antena apabila ditambahkan U-*slot* pada *patch* antena. Setelah didesain, antena disimulasikan dan ditinjau apakah sudah memenuhi parameter yang

diinginkan. Parameter yang dilihat pada saat pengujian adalah frekuensi resonansi dari antena, *return loss*, *bandwidth*, pola radiasi, *gain*, dan *axial ratio*. Parameter tersebut akan diuji terlebih dahulu melalui simulasi. Apabila belum mencapai spesifikasi, maka dilakukan optimisasi atau melakukan perhitungan ulang menggunakan Persamaan (1) sampai (12). Optimisasi dilakukan dengan cara memperbesar atau memperkecil dimensi yang telah didapat dari perhitungan.

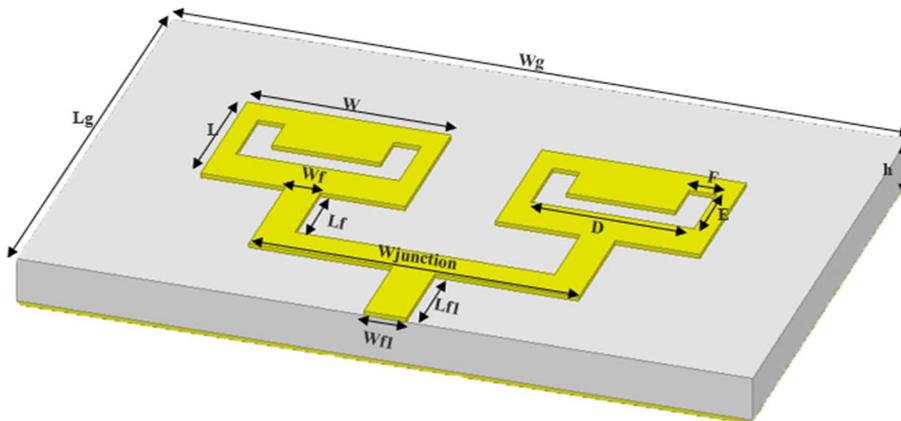
Gambar 4 menunjukkan diagram alir pengerjaan simulasi dalam merancang antena *rectangular patch array* 1×2 yang bekerja pada frekuensi 28 GHz. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan desain dari antena mikrostrip *rectangular patch* yang disusun secara *array* 1×2 yang tanpa penambahan *slot* dan dengan penambahan *slot*, sedangkan untuk dimensi ukuran antena dapat dilihat pada Tabel 2. Dimensi antena tersebut merupakan hasil optimisasi dari simulasi sehingga parameter yang didapat memenuhi spesifikasi antena yang diinginkan.



**Gambar 4. Diagram Alir Pengerjaan Simulasi.**



**Gambar 5. Desain Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array* 1x2 Tanpa *Slot*.**



**Gambar 6. Desain Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array* 1x2 dengan *U-Slot*.**

Pada perancangannya, impedansi yang digunakan pada *feeder* yang terhubung dengan saluran *lossless* sebesar  $50 \Omega$ , sedangkan pada *feeder* untuk *patch* sebesar  $100 \Omega$ . Sebelum dilakukan simulasi, perlu ditambahkan suatu batasan yang berupa ruang hampa. Hal ini dilakukan untuk mengkondisikan simulasi antena sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Ukuran dari ruang hampa yang digunakan pada umumnya  $\geq \frac{1}{4} \lambda$  (Ruswanditya, Wijanto, & Wahyu, 2017).

**Tabel 2. Dimensi Antena.**

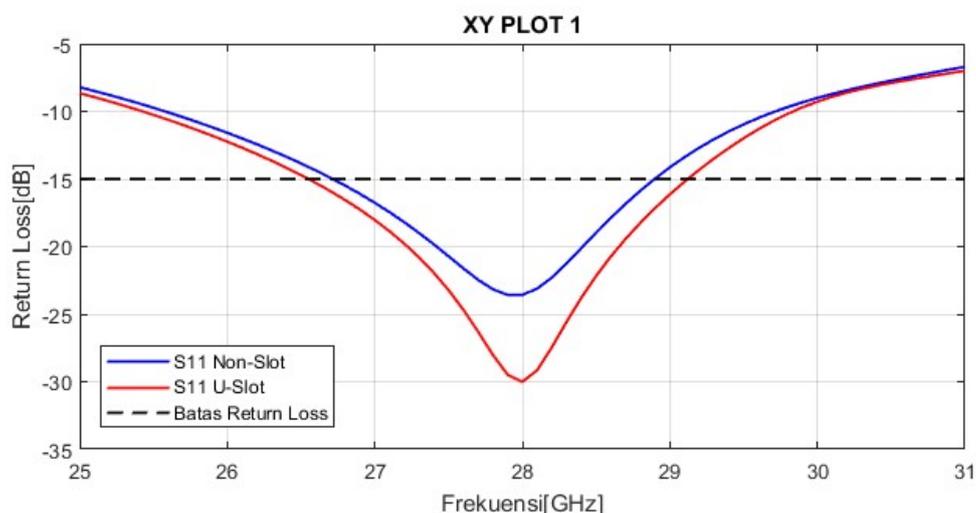
Variabel	Dimensi (mm)	Deskripsi
$Wg$	24,3	Lebar <i>groundplane</i>
$Lg$	16,198	Panjang <i>groundplane</i>
$Wp$	6,75	Lebar <i>patch</i>
$Lp$	4,82	Panjang <i>patch</i>
$Lf$	2,665	Panjang <i>feeder</i> $100 \Omega$
$Wf$	1,15	Lebar <i>feeder</i> $100 \Omega$
$Lf1$	4,15	Panjang <i>feeder</i> $50 \Omega$
$Wf1$	1,4	Lebar <i>feeder</i> $50 \Omega$
$Wjunction$	10,89	Lebar T-junction
$E$	2,3	Panjang <i>slot</i> vertikal
$D$	5,4	Panjang <i>slot</i> horisontal
$F$	0,9	Lebar <i>slot</i>
$h$	1,575	Tebal substrat

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari simulasi antena yang menggunakan *rectangular patch* yang disusun secara *array* 1×2 dilakukan analisis baik yang menggunakan U-*Slot* maupun tanpa *slot*. Parameter yang digunakan untuk dianalisis antara lain nilai *return loss* ( $S_{11}$ ), *bandwidth*, nilai *axial ratio* yang digunakan untuk mengetahui jenis polarisasi, serta *gain* secara dua dimensi dan tiga dimensi untuk mengetahui pola radiasi.

#### 3.1 Analisis Perubahan *Bandwidth*

*Bandwidth* merupakan rentang frekuensi yang dibatasi oleh nilai *return loss* ( $S_{11}$ ) tertentu. Pada penelitian ini batas nilai *return loss* yang digunakan yaitu kurang dari -15 dB. *Return loss* sebuah parameter yang digunakan untuk mengetahui seberapa daya yang hilang akibat pantulan dari saluran transmisi sehingga tidak dapat diradiasikan secara utuh oleh antena. Hasil grafik *return loss* hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil Simulasi *Return Loss Rectangular Patch Array* 1×2 Non-*Slot* dan *Slot*.

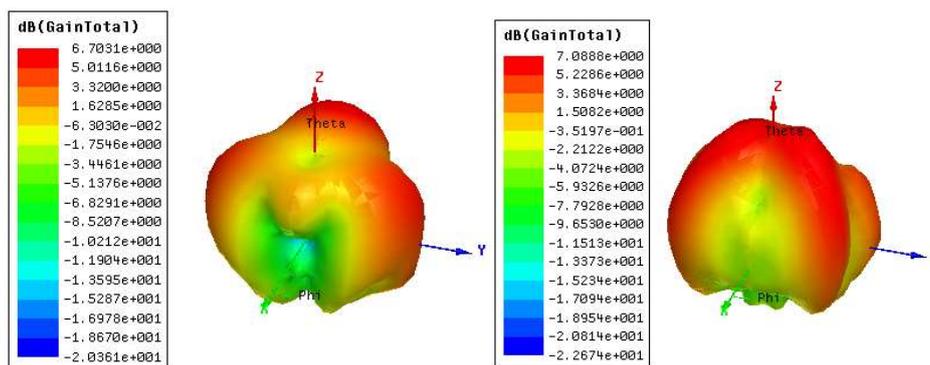
Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi nilai *return loss* menggunakan *rectangular patch* yang disusun secara *array* 1×2 baik menggunakan *slot* maupun tanpa *slot*. Dari kurva tersebut, didapatkan nilai *return loss* untuk antena non-*slot* mencapai nilai di bawah -15 dB pada rentang frekuensi 27,5 GHz - 28,89 GHz, sedangkan untuk antena yang menggunakan *slot* memiliki frekuensi kerja dari 27,5 GHz - 29,12 GHz. Hal ini berarti bahwa masih terdapat 380 MHz untuk mencapai frekuensi 29,5 GHz. Nilai *return loss* minimum terjadi pada frekuensi 28 GHz baik yang tanpa *slot* maupun menggunakan *slot* dengan nilai -23,57 dB dan -29,38 dB. Hal ini menandakan bahwa antena dapat bekerja pada frekuensi resonansi yang diinginkan, yaitu 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi *return loss* tersebut, besar *bandwidth* antena yang tanpa menggunakan *slot* sebesar 1,39 GHz, sedangkan dengan *slot* sebesar 1,62 GHz. Terjadi peningkatan *bandwidth* antena sebesar 230 MHz atau sebesar 16,54 % dari *bandwidth* awal antena. Dengan demikian antena yang menggunakan *slot* telah memenuhi spesifikasi *bandwidth* yang diinginkan. Selain itu, dengan melakukan penambahan *slot* pada *patch* antena dapat menurunkan nilai *return loss*, semakin kecil nilai *return loss* maka daya yang dipantulkan semakin kecil.

#### 3.2 Analisis Perubahan *Gain*

*Gain* merupakan nilai perbandingan intensitas daya kearah tertentu terhadap intensitas daya yang didapatkan dari antena referensi yang meradiasikan daya secara isotropis. Pengukuran *gain* berkaitan dengan seberapa keterarahan antena untuk meradiasikan pada arah tertentu.

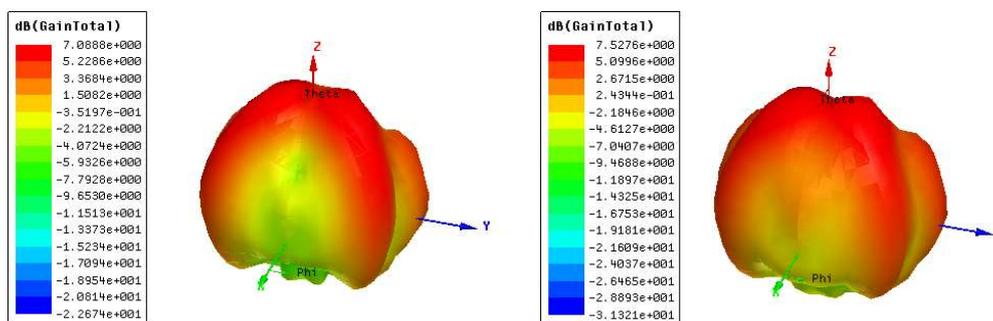
Semakin tinggi *gain* antenna, maka arah radiasi antenna semakin terarah ke sudut yang diinginkan. Pada Gambar 7 dan 8 dapat dilihat hasil simulasi nilai *gain* maksimum antenna.

Pada Gambar 7 merupakan hasil simulasi nilai *gain* antenna maksimum secara tiga dimensi menggunakan *rectangular patch* dengan *rectangular patch array* 1x2. Dimana didapat nilai *gain* maksimum antenna *rectangular patch* sebesar 6,70 dB, sedangkan untuk antenna *rectangular patch array* 1x2 sebesar 7,08 dB. Dengan demikian, dengan melakukan penyusunan antenna *array* dapat meningkatkan *gain* antenna sebesar 1,09 kali. Penggunaan elemen yang semakin banyak dapat menghasilkan *gain* yang semakin besar (Errifi, Baghdad, Badri, & Sahel, 2010).



**Gambar 7. Hasil Simulasi Gain Rectangular Patch dan dengan Rectangular Patch Array 1x2 Non-Slot (kanan).**

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi nilai *gain* maksimum secara tiga dimensi menggunakan *rectangular patch* yang disusun secara *array* 1x2 baik menggunakan *slot* maupun tanpa *slot*. Nilai *gain* maksimum antenna tanpa menggunakan *slot* sebesar 7,08 dB, sedangkan untuk antenna yang menggunakan *slot* sebesar 7,52 dB. Dengan demikian, antenna yang dirancang telah sesuai dengan spesifikasi yang telah diharapkan, yaitu lebih dari 7 dB. Selain itu, penambahan *slot* dapat meningkatkan *gain* antenna sebesar 1,1 kali. Sehingga penyusunan antenna menjadi *array* 1x2 dengan penambahan U-Slot dapat meningkatkan *gain* sebesar 20,34% dari *gain* antenna tanpa *array*. Hal ini menandakan bahwa antenna yang disusun secara *array* 1x2 telah memenuhi spesifikasi yang dirancang.



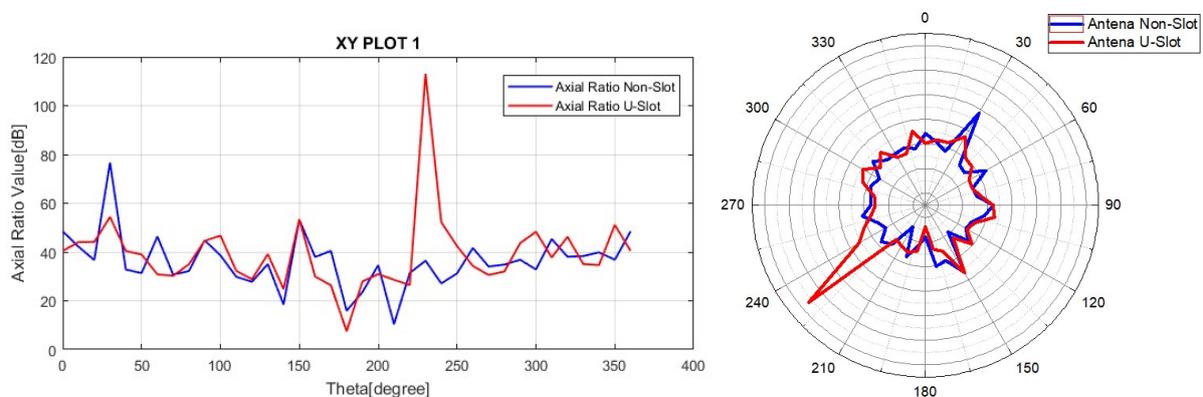
**Gambar 8. Hasil Simulasi Gain Rectangular Patch Array 1x2 Non-Slot (kiri) dan dengan Slot (kanan).**

### 3.3 Analisis Perubahan Axial Ratio

*Axial ratio* merupakan nilai perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor pada bidang medan listrik suatu antenna yang dinyatakan dalam dB. Nilai *axial ratio* dapat dijadikan acuan untuk menentukan jenis polarisasi suatu antenna. Nilai *axial ratio* yang berada pada rentang

3 dB – 40 dB menandakan antena memiliki polarisasi ellips, sedangkan jika memiliki nilai *axial ratio* lebih dari 40 dB menandakan antena berpolarisasi secara linear. Nilai *axial ratio* dapat dilihat pada Gambar 9.

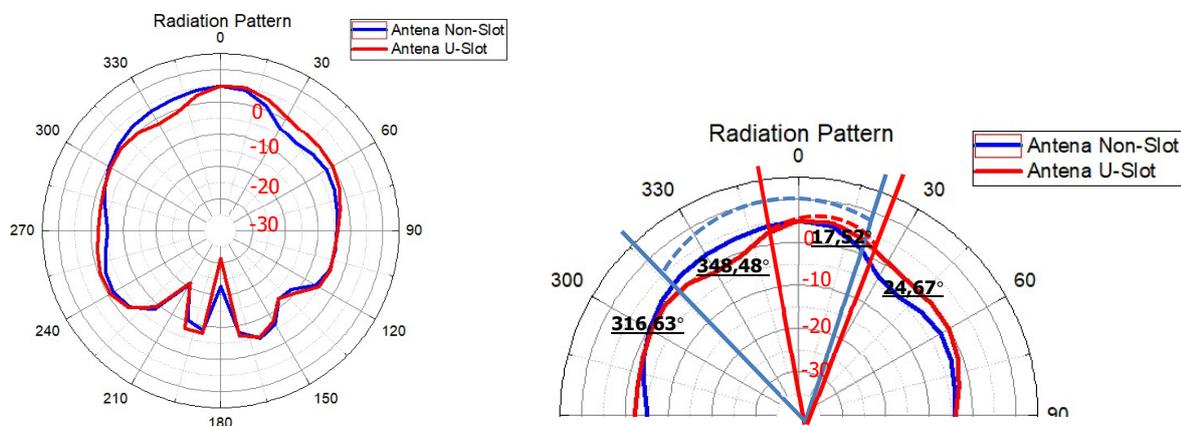
Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi nilai *axial ratio* menggunakan *rectangular patch* yang disusun secara *array* 1×2 baik menggunakan *slot* maupun tanpa *slot*. Dari kurva tersebut, pada kondisi arah pancar utama yaitu pada  $\varphi = 0^\circ$  (antena mengarah ke depan) didapatkan nilai *axial ratio* untuk antena tanpa menggunakan *slot* memiliki nilai sebesar 48,45 dB dan nilai terbesar berada pada sudut 30°. Antena yang menggunakan *slot* pada kondisi arah pancar utama yaitu pada  $\varphi = 0^\circ$  (antena mengarah ke depan) memiliki nilai *axial ratio* sebesar 40,42 dB dan nilai terbesar pada sudut 230°. Untuk sudut lainnya memiliki nilai rata-rata *axial ratio* diatas 40 dB. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, maka antena yang dirancang menghasilkan polarisasi linear sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Hal ini dikarenakan antena memiliki nilai *axial ratio* lebih dari 40 dB meskipun penambahan *slot* menyebabkan penurunan nilai *axial ratio* suatu antena.



**Gambar 9. Hasil Simulasi Nilai Axial Ratio Rectangular Patch Array 1×2 Non-Slot dan dengan Slot.**

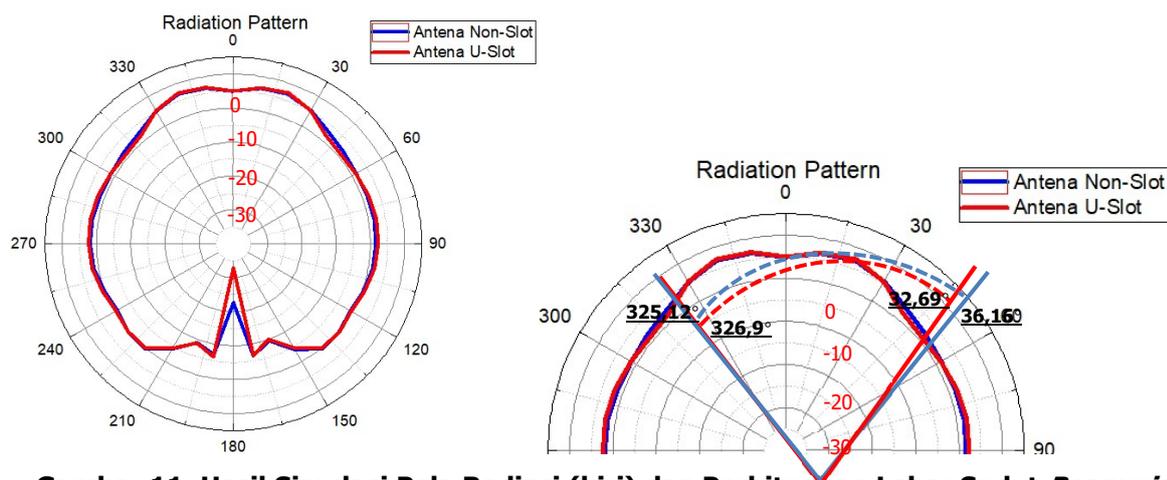
### 3.4 Analisis Perubahan Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan bentuk grafis dua dimensi yang menggambarkan sifat pancaran dari antena. Terdapat dua hal dalam peninjauan pola radiasi, yaitu secara elevasi yang direpresentasikan sebagai theta ( $\theta$ ) dan secara azimuth yang direpresentasikan sebagai phi ( $\varphi$ ). Pada Gambar 9 dan Gambar 10 dapat dilihat bentuk Pola Radiasi secara dua dimensi.



**Gambar 10. Hasil Simulasi Pola Radiasi (kiri) dan Perhitungan Lebar Sudut Beamwidth (kanan) Rectangular Patch Array 1×2 secara Elevasi.**

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan pernyataan secara grafis pola radiasi secara dua dimensi antenna *rectangular patch array* 1×2 yang menggunakan *slot* dan non-*slot*. Pada arah elevasi antenna yang menggunakan *slot* maupun non-*slot* memiliki arah pancar maksimum pada sudut 10° dan 0°, sedangkan untuk arah azimuth pada sudut -20° baik menggunakan *slot* maupun non-*slot*. Sehingga, dari arah elevasi maupun azimuth antenna memiliki pola radiasi secara unidireksional, hal ini juga dibuktikan dengan arah pancar lebih dominan ke arah atas (sumbu positif). Selain itu, penambahan *slot* tidak terlalu berpengaruh pada perubahan pola radiasi antenna. Meski demikian, antenna yang dirancang dapat memenuhi spesifikasi pola radiasi antenna, yaitu unidireksional.



**Gambar 11. Hasil Simulasi Pola Radiasi (kiri) dan Perhitungan Lebar Sudut *Beamwidth* (kanan) *Rectangular Patch Array* 1×2 secara Azimuth.**

Tabel 3 menunjukkan perubahan nilai HPBW suatu antenna. HPBW atau *Half Power Beamwidth*. *Beamwidth* merupakan lebar berkas pola radiasi pada *main lobe* yang dinyatakan dalam derajat. Pengukuran HPBW meninjau *beamwidth* dengan pengurangan daya sebesar 3 dB terhadap *peak gain* dari antenna. Dari tabel tersebut, menunjukkan hasil simulasi nilai HPBW secara elevasi dan azimuth pada antenna *rectangular patch array* 1×2 yang menggunakan *slot* dan non-*slot*. Nilai HPBW antenna tanpa menggunakan *slot* dan dengan *slot* pada arah elevasi sebesar 60,89° dan 36,19°, sedangkan pada arah azimuth sebesar 71,04° dan 65,79°. Dengan demikian, penambahan *slot* yang berbentuk huruf U dapat mengurangi nilai HPBW antenna baik secara elevasi maupun azimuth.

**Tabel 3. Perubahan Nilai HPBW Antena.**

Parameter	Jenis Antena	
	Tanpa <i>Slot</i>	Dengan U- <i>Slot</i>
HPBW Elevasi	60,89°	36,19°
HPBW Azimuth	71,04°	65,79°

### 3.5 Analisis Kinerja Simulasi

Perbandingan hasil simulasi parameter antenna pada frekuensi 28 GHz menggunakan *slot* dan tanpa *slot* serta spesifikasi antenna yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 4. Perancangan antenna dengan penambahan *slot* yang berbentuk huruf U pada *patch* antenna berdampak pada peningkatan *bandwidth* antenna hingga 230 MHz serta menurunkan nilai *return loss* pada antenna dan meningkatkan *gain* antenna. Antenna yang dirancang telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu 27,5 GHz – 29,1 GHz dengan *gain* ≥ 7 dB dan memiliki pola radiasi unidireksional.

**Tabel 4. Perbandingan Hasil Simulasi Kinerja Antena.**

Parameter	Spesifikasi	Tanpa Slot	Dengan U-Slot
Frekuensi Resonansi	28 GHz	28 GHz	28 GHz
Rentang Frekuensi	27,5 GHz – 29,1 GHz	27,5 GHz – 28,89 GHz	27,5 GHz – 29,12 GHz
<i>Return Loss</i>	< -15 dB	-23,57 dB	-29,38 dB
<i>Bandwidth</i>	1,6 GHz	1,39 GHz	1,62 GHz
<i>Gain Maximum</i>	≥ 7 dB	7,08 dB	7,52 dB
<i>Axial Ratio</i>	> 40 dB	48,45 dB	40,42 dB
Polarisasi	Linear	Linear	Linear
Polaradiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian dan analisis simulasi antena mikrostrip *rectangular patch array* 1×2 pada frekuensi 28 GHz telah dilakukan. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa antena dengan penambahan *slot* yang berbentuk U dapat menghasilkan nilai *return loss* sebesar -29,38 dB, sehingga terjadi peningkatan *bandwidth* antena sebesar 230 MHz atau 16,54% dari *bandwidth* antena awal. *Gain* maksimum yang dihasilkan memenuhi spesifikasi, yaitu sebesar 7,52 dB. Penambahan *slot* dapat meningkatkan *gain* antena sebesar 20,34%. Pola radiasi yang dihasilkan baik secara elevasi maupun azimuth, yaitu unidireksional. Penambahan *slot* dapat menurunkan derajat HPBW. Polarisasi yang dihasilkan, yaitu polarisasi linear dengan nilai *axial ratio* lebih dari 40 dB. Penambahan *slot* dapat menurunkan nilai *axial ratio* suatu antena. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa antena yang dirancang berpotensi untuk digunakan pada teknologi 5G, karena telah memenuhi standar yang direkomendasikan. Langkah kedepannya, akan dilakukan pengukuran terhadap antena yang telah dirancang.

#### DAFTAR RUJUKAN

- 5G Americas White Paper on 5G Spectrum Recommendations*. (2017). 5G Americas.
- Ardianto, F. W., Adriansyah, N. M., & Syihabuddin, B. (2018). Analisis Simulasi Antena MIMO 4 4 Susunan Persegi dan Sirkular pada Frekuensi 15 GHz. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 174-182.
- Ather, S. N., & Singhal, P. K. (2013). Truncated Rectangular Microstrip Antenna with H and U Slot for Broadband. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 114-118.
- Balanis, C. A. (2005). *Antena Theory Analysis and Design 3rd Edition*. USA: Wiley Interscience.
- Errifi, H., Baghdad, A., Badri, A., & Sahel, A. (2010). Design and Simulation of Microstrip Patch Array Antenna with High Directivity for 10 GHz Applications. *International Symposium on Signal Image Video and Communications* (hal. 19-21). Marrakech, Maroc: ISIVC.

- Firmansyah, T., Purnomo, S., Fatonah, F., & Nugroho, T. H. (2015). Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575,42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 2301 - 4156.
- Hakimi, S., & Rahim, S. K. (2014). Millimeter-wave microstrip Bent line Grid Array antenna for 5G mobile communication networks. *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)* (hal. 622 - 624). Japan: IEEE.
- Kakkar, A., Nirdosh, Tripathy, M. R., & Singh, A. K. (2017). Design and Analysis of Slotted Antenna Array for 5G Application. *Progress In Electromagnetics Research Symposium — Fall (PIERS — FALL)* (hal. 459-463). Singapore, Singapore: IEEE.
- Prabhu, V. S., Archana, R., Mercy, A. M., & Sree, G. B. (2017). Design and Simulation of Single patch and Linear Array (1x3) for Smart Antenna Applications. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 208-212.
- Qamar, F., Siddiqui, M. H., Dimiyati, K., Noordin, K. A., & Majed, M. B. (2017). Channel Characterization of 28 and 38 GHz MMWave Frequency Band Spectrum for the Future 5G. *IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCOReD)* (hal. 291-296). Putrajaya, Malaysia: IEEE.
- Ruswanditya, A. S., Wijanto, H., & Wahyu, Y. (2017). Mimo 8x8 Antenna with Two H-Slotted rectangular patch array for 5G access radio at 15 GHz. *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCREC)* (hal. 221 - 226). Yogyakarta, Indonesia: IEEE.
- Sinaga, K. J., Nur, L. O., & Syihabuddin, B. (2017). Perancangan Antena Array 1x2 Rectangular Patch Dengan U-Slot Untuk Aplikasi 5G. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017*, (hal. B34.1 - B34.9). Malang.
- Singh, I., & Tripathi, V. (2011). Micro strip Patch Antenna and its Applications: a Survey. *International Journal of Computer Techonlogy and Applications*, 1595–1599.
- Tateishi, K., Kurita, D., Harada, A., Kishiyama, Y., Itoh, S., Murai, H., . . . Ökvist, P. (2017). Experimental Evaluation on 5G Radio Access Employing Multi-user MIMO at 15 GHz Band. *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)* (hal. 951 - 956). Las Vegas: IEEE.
- Wiyanto, E., Alam, S., & Harsono, B. (2018). Realisasi dan Pengujian Antena Mikrostrip Array 4 Elemen dengan Polarisasi Melingkar untuk Aplikasi 4G/LTE. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 244-258.