

# Analisis Simulasi Antena MIMO 4×4 Susunan Persegi dan Sirkular pada Frekuensi 15 GHz

Fajar Wahyu Ardianto<sup>1</sup>, Nachwan Mufti A.<sup>2</sup>, Budi Syihabuddin<sup>3</sup>

**Abstract**—One of the frequency that becomes 5G candidate is 15 GHz. Utilizing high frequency can produce wider bandwidth but susceptible to reflection or scattering and it causes multipath fading. MIMO is believed to be able to fix the problem. Beside that, utilizing high frequency causes the antenna dimension become smaller so 5G technology requires an easily integrated antenna. Therefore, microstrip antenna becomes a suitable candidate for this technology. This paper discusses about rectangular and circular patch analysis for 5G radio access made into 1×2 array and added T-slotted patch to produce wider bandwidth and arranged four elements to form MIMO to reduce effects due to the multipath fading. The results show that the addition of a slotted-patch antenna in rectangular patch produces 2.3 GHz bandwidth in frequency range 14.3 – 15.6 GHz with minimal return loss of -23.91 dB, while in circular patch produces 2.8 GHz bandwidth in frequency range 14.5 – 17.3 GHz with minimal return loss of -19.19 dB. Maximum gain of rectangular and circular antennas are 10.30 dB and 9.95 dB, respectively, while mutual coupling values are -24.75 dB and -24.26 dB. Both patches produce same radiation patterns which are unidirectional and polarized linearly.

**Intisari**—Salah satu frekuensi yang menjadi kandidat 5G yaitu 15 GHz. Penggunaan frekuensi tinggi dapat menghasilkan lebar pita yang besar, tetapi rentan terhadap terjadinya pemantulan/scattering sehingga dapat menimbulkan *multipath fading*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibuatlah antena susunan MIMO. Selain itu, penggunaan frekuensi tinggi menyebabkan dimensi suatu antena menjadi kecil, sehingga teknologi 5G membutuhkan antena yang mudah diintegrasikan. Oleh karena itu, antena mikrostrip menjadi kandidat yang cocok untuk teknologi tersebut. Pada makalah ini, dilakukan pembahasan tentang analisis bentuk *patch* persegi dan sirkular untuk akses radio 5G yang disusun menjadi antena larik 1×2 dan ditambahkan *slotted-patch* yang berbentuk huruf T untuk menghasilkan lebar pita yang besar serta disusun menjadi empat elemen sehingga membentuk susunan MIMO untuk mengurangi akibat yang ditimbulkan dari *multipath fading*. Hasil menunjukkan bahwa penambahan *slotted-patch* pada antena *patch* persegi menghasilkan lebar pita sebesar 2,3 GHz pada frekuensi 14,3–15,6 GHz dengan *return loss* minimum -23,91 dB, sedangkan *patch* sirkular sebesar 2,8 GHz pada frekuensi 14,5 – 17,3 GHz dengan *return loss* minimum -19,19 dB. Nilai *gain* maksimum untuk *patch* persegi dan sirkular sebesar 10,30 dB dan 9,95 dB, sedangkan nilai *mutual coupling* sebesar -24,75 dB

dan -24,26 dB. Kedua bentuk *patch* menghasilkan pola radiasi yang sama, yaitu *unidirectional* dan berpolarisasi linear.

**Kata Kunci**— 5G, 15 GHz, MIMO, *Patch* Persegi, *Patch* Sirkular, *slotted-patch*.

## I. PENDAHULUAN

Permintaan kapasitas dan *peak data rate* yang sangat tinggi di jaringan seluler diperkirakan dibutuhkan dalam waktu dekat. Tujuan dibuatnya sistem komunikasi seluler generasi kelima (5G) yaitu untuk memenuhi tuntutan tersebut, sehingga diperlukan lebar pita yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi seluler saat ini. Cara untuk mengakses lebar pita yang lebih besar yaitu dengan menggunakan pita frekuensi tinggi (10-100 GHz) [1]. Salah satu kandidat frekuensi untuk sistem komunikasi 5G adalah 15 GHz. Pada frekuensi kerja 15 GHz untuk teknologi 5G telah dilakukan penelitian oleh perusahaan telekomunikasi terkemuka di dunia, yaitu Ericsson dan NTT Docomo di Tokyo, Jepang [2]–[5].

Penggunaan frekuensi yang tinggi dapat menyebabkan panjang gelombang yang dihasilkan menjadi semakin kecil, sehingga sinyal lebih rentan terhadap terjadinya pemantulan akibat dari gelombang yang merambat melalui objek berukuran lebih besar yang dapat menimbulkan *multipath fading* yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem antena *Multiple Input, Multiple Output* (MIMO) baik pada sisi pengirim maupun penerima sebagai solusi untuk menghadapi kemungkinan terjadinya pemantulan, difraksi, dan *scattering* gelombang.

Dalam sistem komunikasi nirkabel, antena adalah salah satu komponen yang sangat penting. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang mampu bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki ukuran yang kecil dan tipis sehingga cocok diterapkan pada komunikasi nirkabel seperti 5G. Namun, antena mikrostrip memiliki kekurangan, yaitu lebar pita yang sempit, sehingga diperlukan teknik yang tepat untuk meningkatkan lebar pita.

Antena mikrostrip memiliki bentuk yang beragam. Bentuk *patch* persegi dan sirkular merupakan bentuk yang sederhana dan dapat digunakan dengan mudah untuk berbagai macam aplikasi serta sudah banyak penelitian yang menggunakan bentuk *patch* tersebut. Telah diteliti perbandingan penggunaan bentuk *patch* persegi dan sirkular pada frekuensi X-Band yang menghasilkan lebar pita *patch* sirkular lebih lebar 8% dibandingkan dari bentuk *patch* persegi [6]. Penelitian lain meneliti perbandingan antena mikrostrip bentuk *patch* persegi dan sirkular pada frekuensi 2,45 GHz [7]. *Patch* persegi mampu menghasilkan lebar pita 24 MHz dengan *gain* 7,11 dB, dan bentuk *patch* sirkular menghasilkan lebar pita 27 MHz dengan *gain* 6,96 dB. Namun, pada penelitian-penelitian

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Jalan Telekomunikasi No.1 Bandung, 40257 INDONESIA (telp: 022-7564 108; fax: 022-7564 108; e-mail: fajarwahyuar7@gmail.com)

<sup>2, 3</sup>Dosen, Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Jalan Telekomunikasi No.1 Bandung, 40257 INDONESIA (telp: 022-7564 108; fax: 022-7564 108; e-mail: {nachwanma, budisyihab}@telkomuniversity.ac.id)

tersebut tidak dilakukan pengujian secara MIMO untuk kedua bentuk *patch*.

Selain itu, alasan lain bentuk *patch* persegi dan sirkular banyak digunakan adalah kemudahan dalam menyusun antenna menjadi larik dan ditambahkan *slot*. Pada sebuah penelitian telah diteliti mengenai antenna MIMO dengan dua elemen berbentuk *patch* persegi yang disusun secara larik 1x2 dengan catuan *inset feed* dan ditambahkan *U-Slot* hanya menghasilkan lebar pita 1 GHz dengan *gain* lebih dari 9 dB pada frekuensi 15 GHz [8]. Penelitian lainnya meneliti bahwa bentuk *patch* sirkular yang telah ditambahkan beberapa jenis *slot* dapat meningkatkan lebar pita antenna pada frekuensi C-Band [9]. Penambahan *T-Slot* pada antenna mikrostrip *patch* persegi dapat meningkatkan lebar pita sebesar 25,23% dengan *return loss* -10 dB pada frekuensi 2,4 GHz [10]. Namun, pada dua penelitian terakhir ini simulasi pengujian hanya dilakukan untuk satu elemen antenna saja [9], [10]. Oleh karena itu, pada makalah ini dibahas mengenai penggunaan bentuk *patch* persegi dan sirkular pada frekuensi 15 GHz yang disusun secara larik 1 x 2 dengan *slotted-patch* bentuk T untuk meningkatkan lebar pita dan dibuat sebanyak empat elemen sehingga membentuk susunan MIMO untuk mengurangi *scattering* gelombang serta meningkatkan *data rate* pada pemancar.

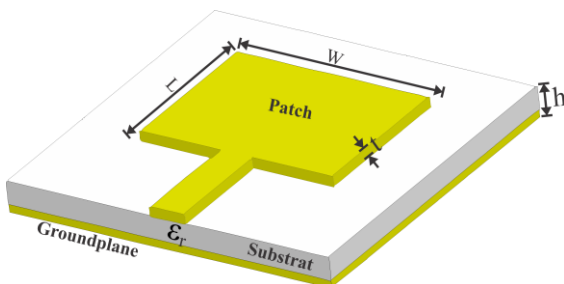
Makalah ini tersusun menjadi lima bagian. Bagian pertama berisi pendahuluan; bagian kedua membahas tentang antenna mikrostrip; catuan antenna, dan *slotted-patch*; bagian ketiga berisi tentang desain antenna menggunakan bentuk *patch* persegi dan sirkular; bagian keempat berisi analisis dari parameter kinerja antenna; dan bagian kelima berisi kesimpulan.

## II. ANTENA MIKROSTRIP

Berdasarkan *IEEE Standard Definitions of Terms of Antenna*, antenna dapat diartikan sebagai sebuah alat yang dapat memancarkan dan menerima gelombang radio [11]. Secara garis besar, antenna berfungsi sebagai transduser dari sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik ataupun sebaliknya. Salah satu jenis antenna adalah antenna mikrostrip. Antenna mikrostrip memiliki susunan yang terdiri atas *groundplane* sebagai *reflector*, substrat yang berisi bahan dielektrik, dan *patch* sebagai elemen peradiasinya [11].

### A. Antena Mikrostrip Patch Persegi

*Patch* persegi merupakan salah satu bentuk *patch* dari antenna mikrostrip yang paling banyak digunakan. Gbr. 1 menunjukkan bentuk *patch* persegi.



Gbr. 1 Patch persegi.

Penentuan ukuran dimensi *patch* persegi secara umum mengacu pada (1) sampai (4) [11].

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

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

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

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

dengan  $W$  merupakan lebar *patch* ( $m$ ),  $L$  merupakan panjang *patch* ( $m$ ),  $c$  merupakan kecepatan cahaya di ruang hampa ( $3 \times 10^8 m/s$ ),  $f$  merupakan frekuensi resonansi,  $\epsilon_r$  merupakan permitivitas relatif bahan,  $\Delta L$  merupakan pertambahan panjang dari  $L$  yang diakibatkan oleh *fringing effect*,  $\epsilon_{eff}$  merupakan permitivitas efektif konstan, dan  $h$  merupakan ketebalan bahan substrat.

### B. Antena Mikrostrip Patch Sirkular

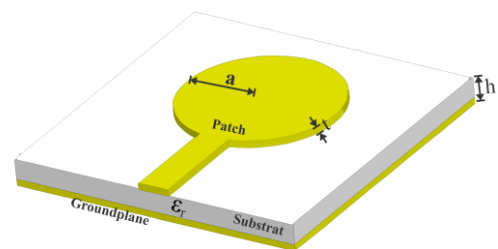
Antena mikrostrip *patch* sirkular merupakan antenna mikrostrip bentuk lain yang sering digunakan selain *patch* persegi. Pada perancangannya, parameter yang digunakan adalah jari-jari antenna. Gbr. 2 menunjukkan bentuk *patch* sirkular.

Untuk menentukan ukuran dimensi jari-jari ( $a$ ) *patch* sirkular, secara umum digunakan (5) dan (6) [11].

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

dengan  $F$  merupakan fungsi logaritmik elemen peradiasi,  $f_r$  merupakan frekuensi resonansi, dan  $\epsilon_r$  merupakan permitivitas bahan.

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$



Gbr. 2 Patch sirkular.

### C. Catuan Antena

Catuan antenna pada *patch* persegi maupun sirkular menggunakan metode *inset microstrip feed line*. Metode *inset feed* dipilih pada perancangan antenna larik karena lebih sesuai untuk diterapkan. Metode *inset-feed* juga mampu memberikan *gain* dan lebar pita yang lebih besar [12]. Perhitungan lebar

( $Wf$ ) dan panjang ( $Lf$ ) dari *microstrip feed line* mengacu pada (7) dan (8) [11].

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (7)$$

$$Lf = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (8)$$

Untuk menghitung nilai  $B$  dan  $Z_0$  sebagai nilai impedans saluran catu, digunakan (9) dan (10) [13].

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

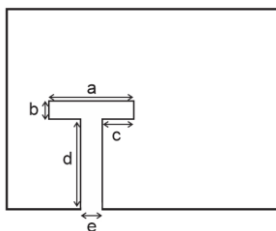
$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[ \frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right] \quad (10)$$

**D. Slotted-Patch**

*Slotted-patch* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan lebar pita antenna. Dalam pengaplikasian pada antenna mikrostrip, sudah banyak yang menggunakan *slotted-patch* dengan tujuan meningkatkan lebar pita antenna. Terdapat banyak bentuk *slotted-patch* yang telah diteliti, antara lain U, H, T, dan E. Pada makalah ini digunakan *slotted-patch* berbentuk T, karena memiliki bentuk yang sederhana dan telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya [10]. Desain *T-Slot* ditunjukkan pada Gbr. 3 dan penentuan ukuran dimensi *T-Slot* ditunjukkan pada Tabel I.

TABEL I  
DIMENSI *T-SLOT*

Segmen	Panjang
a	$0,2 \lambda$
b	$0,05 \lambda$
c	$0,078 \lambda$
d	$0,278 \lambda$
e	$0,05 \lambda$



Gbr. 3 Desain *T-Slot*.

**E. Jarak Antar Elemen**

Jarak antar elemen sangat diperlukan pada antenna MIMO untuk meminimalkan terjadinya efek *mutual coupling* pada elemen yang berdekatan. Efek ini terjadi karena munculnya tegangan di satu elemen dari elemen lain akibat letak elemen yang terlalu dekat sehingga berdampak pada kinerja antenna. Jarak antar elemen dapat diminimalkan untuk mengurangi ukuran antenna, dengan syarat tetap memenuhi kondisi *mutual*

*coupling* di bawah -20 dB. Penentuan jarak antar elemen mengacu pada (11).

$$S = \frac{\lambda}{2} \quad (11)$$

**III. DESAIN ANTENA**

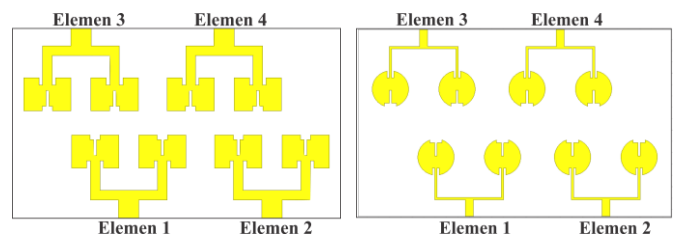
Bahan yang digunakan dalam antenna mikrostrip ini adalah tembaga (*copper*) pada *patch* dan *groundplane* dengan ketebalan 0,035 mm. *Copper* umumnya digunakan pada pembuatan antenna mikrostrip karena mudah ditemukan dan memiliki konduktivitas cukup baik. Selain itu, bahan substrat yang digunakan adalah Rogers RT/duroid 5880 (tm). Duroid 5880 memiliki permitivitas,  $\epsilon_r$ , sebesar 2,2 dan memiliki ketebalan,  $h$ , 1,575 mm. Bahan Duroid 5880 dipilih karena memiliki permitivitas dielektrik yang kecil serta mampu bekerja pada perangkat yang berfrekuensi tinggi.

Antena yang akan dianalisis yaitu bentuk *patch* persegi dan sirkular yang disusun secara larik  $1 \times 2$  dengan menggunakan *T-junction* sebagai pembagi daya dan ditambahkan *slotted-patch* untuk masing-masing *patch*. Impedans yang digunakan pada *feeder* yang terhubung dengan saluran *lossless* sebesar  $50 \Omega$ , sedangkan pada *feeder* untuk *patch* sebesar  $100 \Omega$ . Selain itu, pada masing-masing *patch* dicatu menggunakan *inset feed*. Spesifikasi antenna dan parameter yang ditargetkan ditunjukkan pada Tabel II.

Pada makalah ini dianalisis pengaruh kedua bentuk *patch* serta penambahan *slotted-patch* terhadap kinerja antenna untuk susunan MIMO dengan empat elemen. Kinerja antenna yang dianalisis antara lain *return loss*, lebar pita, *mutual coupling*, *axial ratio*, pola radiasi, dan *gain*. Apabila parameter tersebut belum memenuhi spesifikasi yang ditentukan, maka perlu dilakukan optimasi dimensi antenna dengan cara memperbesar atau memperkecil dimensi antenna sehingga didapatkan nilai parameter antenna yang sesuai. Selain itu, dilakukan perhitungan ulang kembali apabila ditemukan kesalahan pada saat perhitungan dimensi. Perhitungan dimensi antenna mengacu pada (1) sampai (10).

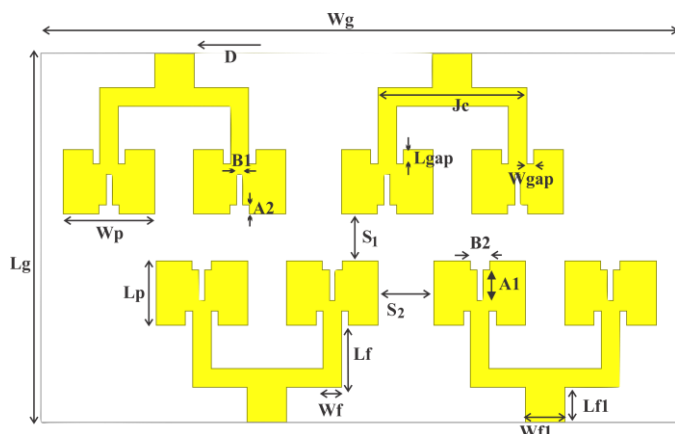
TABEL II  
SPESIFIKASI ANTENA

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi resonansi	15 GHz
<i>Return loss</i>	$\leq -12$ dB
Polarisasi	Linear
<i>Gain</i>	$\geq 9$ dB
Pola radiasi	<i>Unidirectional</i>
<i>Mutual coupling</i>	$\leq -20$ dB

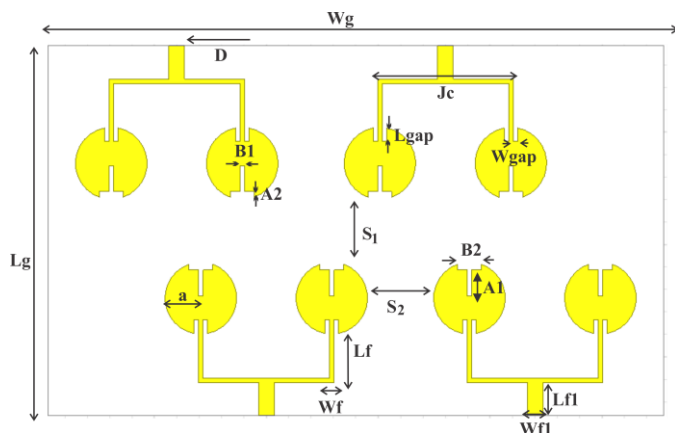


Gbr. 4 Susunan posisi antenna MIMO dengan empat elemen.

Pada perancangannya, antenna disusun terlebih dahulu dengan susunan larik 1x2 menggunakan *patch* bentuk persegi maupun sirkular tanpa penambahan *slotted-patch*. Kemudian, disusun empat elemen sehingga membentuk susunan MIMO. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kinerja antenna apabila ditambahkan *slotted-patch* pada kedua bentuk *patch* antenna. Setelah itu, dilakukan penambahan *slotted-patch* yang berbentuk huruf T. Ukuran dimensi *slotted-patch* ditunjukkan pada Tabel III dan dapat dihitung menggunakan persamaan pada Tabel I. Bentuk dan posisi antenna yang didesain seperti tampak pada Gbr. 4. Desain antenna yang menggunakan tambahan *slotted-patch* ditunjukkan pada Gbr. 5 dan Gbr. 6. Hasil optimasi dimensi antenna untuk kedua bentuk *patch* ditunjukkan pada Tabel III. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



Gbr. 5 Desain antenna MIMO empat elemen *patch* persegi dengan *slotted*.



Gbr. 6 Desain antenna MIMO empat elemen *patch* sirkular dengan *slotted*.

Selain itu, pada perancangannya perlu dibuat jarak antar elemen baik secara vertikal maupun horizontal agar mengurangi efek *mutual coupling* antar elemen yang berdekatan. Jarak secara vertikal dilambangkan dengan  $S_1$  sedangkan jarak secara horizontal dilambangkan dengan  $S_2$ . Selain diberi jarak tersebut, pada perancangannya juga diberikan jarak pergeseran antar elemen. Pergeseran dilakukan dengan menggeser elemen ke kanan/kiri dari posisi awal elemen, seperti terlihat pada Gbr. 5 dan Gbr. 6. Pada makalah

ini, dilakukan pergeseran ke kiri. Hal ini dilakukan untuk menjaga nilai *mutual coupling* elemen  $< -20$  dB. Pergeseran elemen disimbolkan dengan  $D$ . Ukuran jarak dan pergeseran antar elemen ditunjukkan pada Tabel III.

Sebelum dilakukan simulasi, perlu ditambahkan suatu batasan yang berupa ruang hampa. Hal ini dilakukan untuk mengondisikan simulasi antenna sesuai dengan kondisi nyata. Ukuran dari ruang hampa yang digunakan adalah  $\geq \frac{1}{4}\lambda$ .

TABEL III  
DIMENSI ANTENA

Variabel	Ukuran Dimensi (mm)		Deskripsi
	Persegi	Sirkular	
$L_g$	35,73	31,44	Panjang <i>groundplane</i>
$W_g$	57,0	53,7	Lebar <i>groundplane</i>
$L_p$	7,9056	-	Panjang <i>patch</i>
$W_p$	5,5668	-	Lebar <i>patch</i>
$a$	-	3,27	Jari-Jari <i>patch</i>
$L_f$	3,7	3,9	Panjang <i>feeder</i> 100 $\Omega$
$W_f$	1,6	0,4	Lebar <i>feeder</i> 100 $\Omega$
$L_{f1}$	2,6	3,4	Panjang <i>feeder</i> 50 $\Omega$
$W_{f1}$	3,4	2,2	Lebar <i>feeder</i> 50 $\Omega$
$W_{gap}$	0,6	0,4	Lebar <i>gap</i> pada <i>patch</i>
$L_{gap}$	1,25	1,25	Panjang <i>gap</i> pada <i>patch</i>
$J_c$	12,865	12,1	Lebar T-junction
$D$	8,0	9,4	Pergeseran elemen
$S_1$	27,0	22,3	Jarak antar elemen horizontal
$S_2$	12,0	10,3	Jarak antar elemen vertical
$A_1$	3,4	2,5	Panjang <i>slot</i> tengah
$B_1$	0,5	0,5	Lebar <i>slot</i> tengah
$A_2$	1,1	1,0	Panjang <i>slot</i> atas
$B_2$	0,9	0,8	Lebar <i>slot</i> atas

#### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

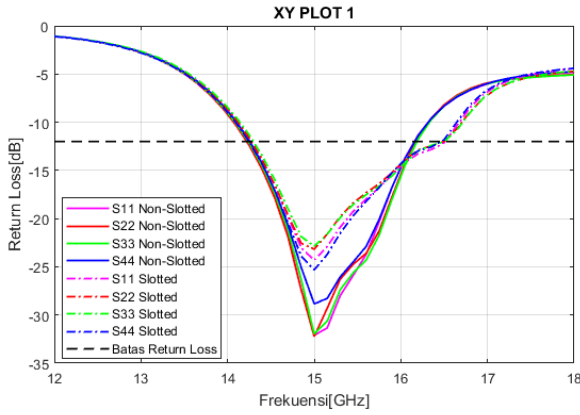
Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap hasil simulasi dari kedua bentuk *patch*. Parameter yang digunakan untuk dianalisis antara lain nilai *return loss*, lebar pita, *mutual coupling* antar elemen, nilai *axial ratio* yang digunakan untuk mengetahui jenis polarisasi, serta *gain* secara dua dimensi dan tiga dimensi untuk mengetahui pola radiasi. Hasil simulasi seluruh parameter antenna diperlihatkan pada Gbr. 7 sampai Gbr. 21 untuk kedua bentuk *patch* yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*.

##### A. Return Loss

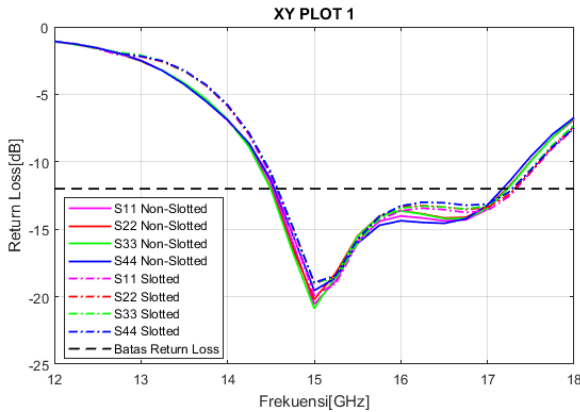
Gbr. 7 menunjukkan hasil simulasi nilai *return loss* ( $S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}$ ) untuk *patch* persegi yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*. Dari kurva tersebut, didapatkan nilai rata-rata  $S_{11}, S_{22}, S_{33}$ , dan  $S_{44}$  untuk antenna *non-slotted* mencapai nilai di bawah -12 dB dari rata-rata empat elemen pada frekuensi 14,2 GHz dan terakhir pada frekuensi 16,15 GHz. Nilai *return loss* minimum terjadi pada frekuensi 15 GHz pada nilai -32,10 dB, -32,23 dB, -31,96 dB, dan -28,84 dB dengan rata-rata sebesar -31,28 dB. Hal ini menandakan bahwa antenna bekerja pada frekuensi resonansi

yang diinginkan. Berdasarkan nilai *return loss*, besar lebar pita *patch* persegi *non-slotted* adalah sebesar 1,95 GHz.

Nilai rata-rata  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , dan  $S_{44}$  antenna dengan menggunakan *slotted-patch* yang didapatkan adalah dibawah -12 dB dari rata-rata empat elemen pada frekuensi 14,3 GHz dan terakhir pada frekuensi 16,6 GHz. Nilai *return loss* minimum dapat dicapai pada -24,31 dB, -23,17 dB, -22,85 dB, dan -25,32 dB dengan rata-rata sebesar -23,91 dB.



Gbr. 7 Nilai *return loss* *patch* persegi *non-slotted* dan *slotted-patch*.

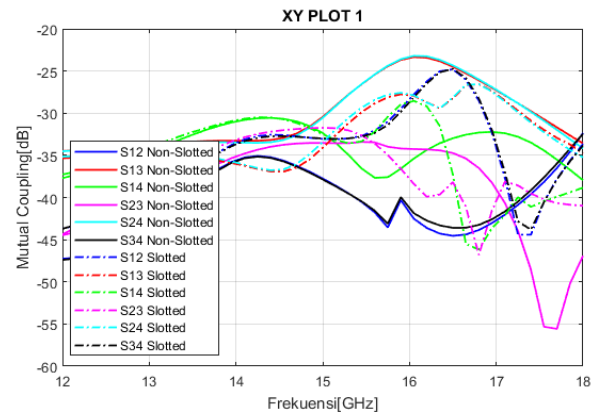


Gbr. 8 Nilai *return loss* *patch* sirkular *non-slotted* dan *slotted-patch*.

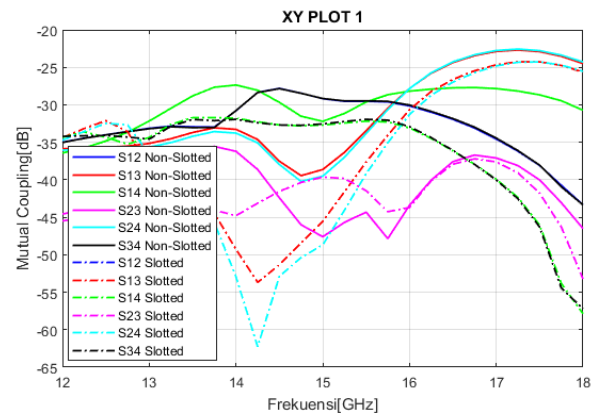
Dengan demikian, antenna bentuk *patch* persegi dengan *slotted-patch* dapat bekerja pada frekuensi 14,3 GHz – 16,6 GHz dengan lebar pita antenna mencapai 2,3 GHz. Oleh karena itu, terjadi peningkatan nilai lebar pita antenna sebesar 350 MHz dari antenna *patch* persegi *non-slotted*. Selain itu, penambahan *slotted-patch* berbentuk T pada *patch* persegi dengan batas *return loss* -12 dB dapat menghasilkan lebar pita lebih besar 800 MHz apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *U-Slot* pada *patch* persegi [8].

Gbr. 8 menunjukkan hasil simulasi nilai *return loss* untuk *patch* sirkular yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*. Dari kurva tersebut, didapatkan nilai rata-rata  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , dan  $S_{44}$  untuk antenna *non-slotted* mencapai nilai di bawah -12 dB dari rata-rata empat elemen pada frekuensi 14,5 GHz dan terakhir pada frekuensi 17,2 GHz. Nilai *return loss* minimum terjadi pada frekuensi 15 GHz pada nilai -20,55 dB, -20,20 dB, -20,86 dB, dan -19,53 dB, dengan rata-rata sebesar

-20,28 dB. Hal ini menandakan bahwa antenna dapat bekerja pada frekuensi resonansi yang diinginkan. Berdasarkan nilai *return loss* tersebut, maka lebar pita *patch* sirkular *non-slotted* adalah sebesar 2,7 GHz.



Gbr. 9 Nilai *mutual coupling* *patch* persegi *non-slotted* dan *slotted-patch*.



Gbr. 10 Nilai *mutual coupling* *patch* sirkular *non-slotted* dan *slotted-patch*.

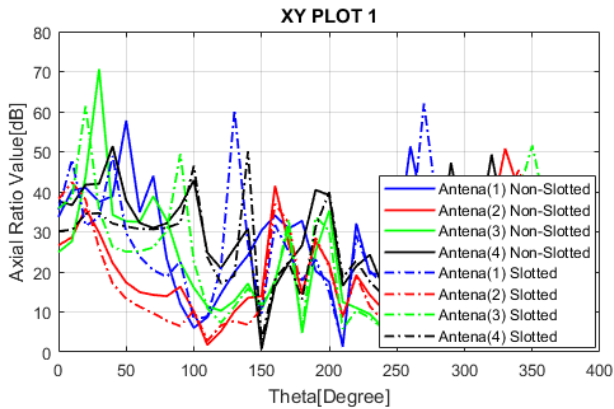
Selain itu, nilai rata-rata  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$ , dan  $S_{44}$  antenna dengan menggunakan *slotted-patch* adalah di bawah -12 dB dari rata-rata empat elemen pada frekuensi 14,5 GHz dan terakhir pada frekuensi 17,3 GHz. Sementara itu, untuk nilai *return loss* minimum dapat dicapai pada nilai -19,89 dB, -18,99 dB, -18,93 dB, dan -18,95 dB dengan rata-rata sebesar -19,19 dB. Hasil tersebut menandakan bahwa antenna bentuk *patch* sirkular dapat bekerja pada frekuensi 14,5 GHz – 17,3 GHz, sedangkan nilai lebar pita antenna mencapai 2,8 GHz. Dengan demikian, terjadi peningkatan nilai lebar pita antenna sebesar 100 MHz dari antenna *patch* sirkular *non-slotted*. Hal tersebut juga ditunjukkan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan *slot* pada *patch* sirkular antenna dapat meningkatkan lebar pita antenna [9].

**B. Mutual Coupling**

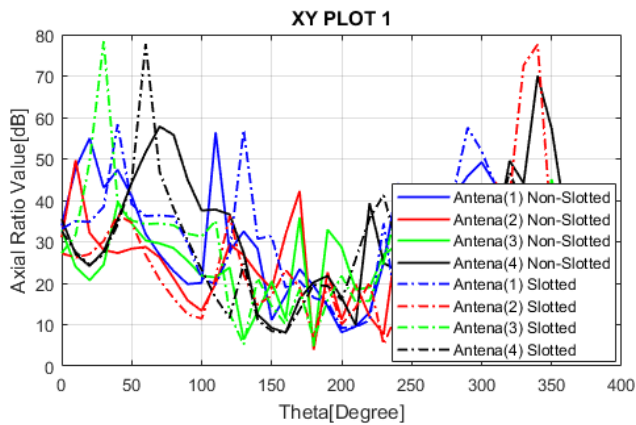
Gbr. 9 menggambarkan nilai *mutual coupling* masing-masing elemen untuk *patch* persegi yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*. Dari hasil tersebut, didapatkan bahwa nilai *mutual coupling* pada port 1, 2, 3, dan 4 identik, baik untuk antenna *non-slotted* maupun menggunakan *slotted-patch*, sehingga Gbr. 9 hanya



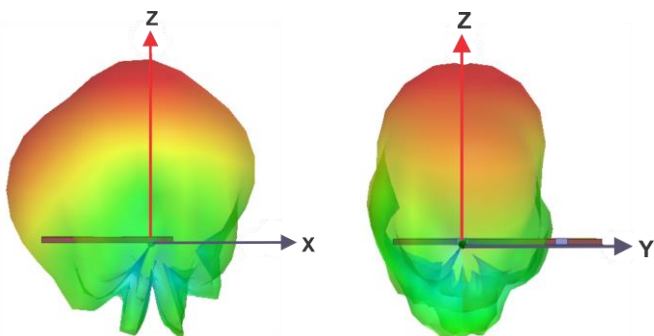
menampilkan nilai  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$ ,  $S_{23}$ ,  $S_{24}$ , dan  $S_{34}$  saja. Nilai *mutual coupling* terbesar untuk antenna *non-slotted* terjadi pada frekuensi 16,05 GHz dengan nilai -23,19 dB pada  $S_{13}$  dan  $S_{24}$ . Sementara, pada rentang frekuensi 14,2 GHz – 16,16 GHz nilai *mutual coupling* terbesar juga pada  $S_{13}$  dan  $S_{24}$ . Meskipun demikian, nilai *mutual coupling* pada rentang 14,2 GHz – 16,15 GHz tetap memenuhi kondisi di bawah -20 dB.



Gbr. 11 Nilai *axial ratio patch* persegi *non-slotted* dan *slotted-patch*.



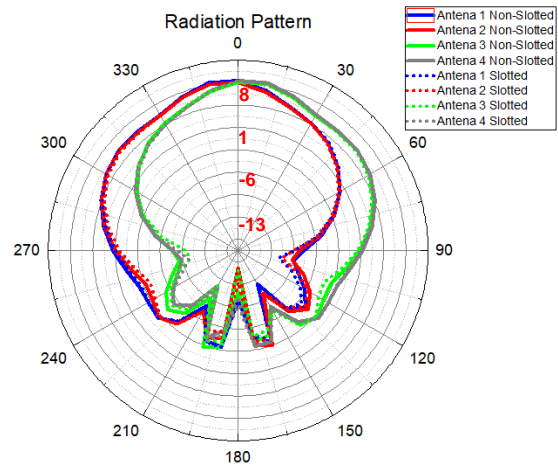
Gbr. 12 Nilai *axial ratio patch* sirkular *non-slotted* dan *slotted-patch*.



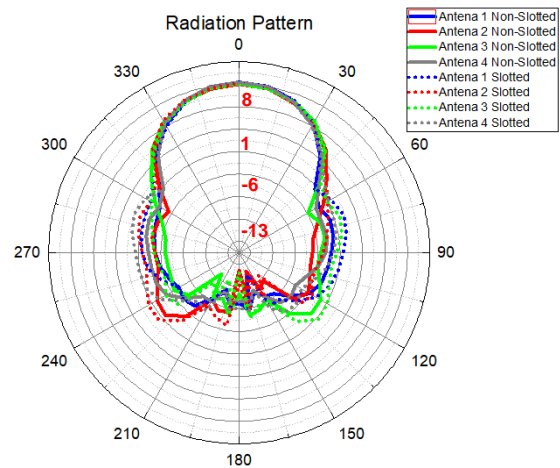
Gbr. 13 Sistem koordinat penentuan pola radiasi secara elevasi (kiri) dan azimut (kanan).

Pada antenna yang menggunakan *slotted-patch*, nilai *mutual coupling* terbesar terjadi pada frekuensi 16,5 GHz dengan nilai -24,79 dB dan -24,75 pada  $S_{12}$  dan  $S_{34}$ . Meskipun demikian, nilai *mutual coupling* pada rentang 14,3 GHz hingga 16,6 GHz memiliki nilai di bawah -24,75 dB dan tetap memenuhi kondisi di bawah -20 dB. Dari grafik tersebut,

dapat disimpulkan pula bahwa penambahan *slotted-patch* pada *patch* persegi dapat menurunkan nilai *mutual coupling* suatu antenna, sedangkan pada penelitian sebelumnya, dengan menggunakan *U-Slot* dapat meningkatkan nilai *mutual coupling* [8].



Gbr. 14 Pola radiasi *patch* persegi secara elevasi.

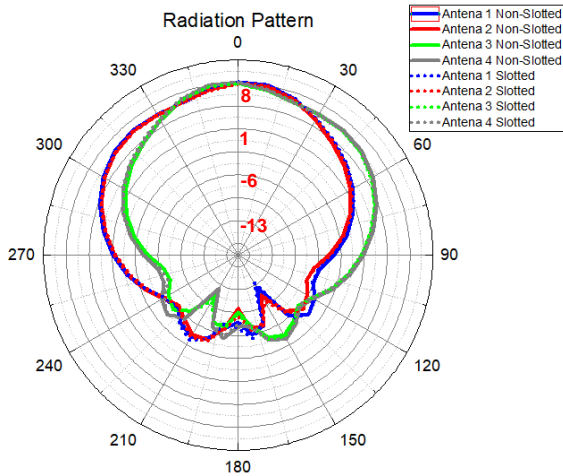


Gbr. 15 Pola radiasi *patch* persegi secara azimut.

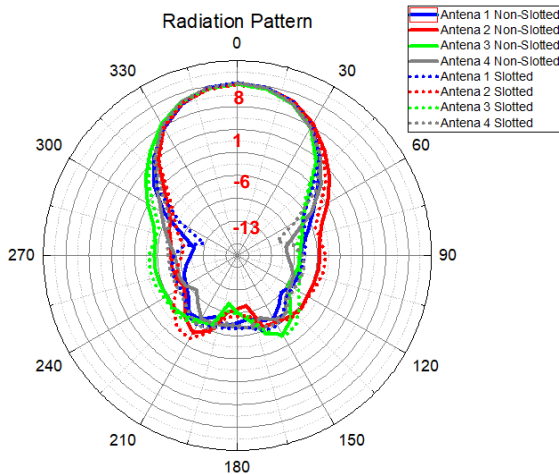
Gbr. 10 menunjukkan nilai *mutual coupling* masing-masing elemen untuk *patch* sirkular yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*. Sama halnya dengan *patch* persegi, nilai *mutual coupling* pada port 1, 2, 3, dan 4 identik, baik untuk antenna *non-slotted* maupun menggunakan *slotted-patch*, sehingga Gbr. 10 hanya menampilkan nilai  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$ ,  $S_{23}$ ,  $S_{24}$ , dan  $S_{34}$  saja. Nilai *mutual coupling* terbesar untuk antenna *non-slotted* terjadi pada frekuensi 17,25 GHz dengan nilai -22,56 dan -22,68 dB pada  $S_{13}$  dan  $S_{24}$ . Sementara, pada rentang frekuensi 14,5 GHz – 17,2 GHz nilai *mutual coupling* terbesar adalah -22,56 yaitu pada  $S_{13}$ . Meskipun demikian, pada rentang 14,5 – 17,2 GHz nilai *mutual coupling* berada di bawah -22,56 dB dan tetap memenuhi kondisi di bawah -20 dB.

Selain itu, untuk antenna yang menggunakan *slotted-patch*, nilai *mutual coupling* terbesar terjadi pada frekuensi 17,5 GHz dengan nilai -24,26 dB dan -24,27 dB di  $S_{13}$  dan  $S_{24}$ . Meskipun demikian, pada rentang 14,5 - 17,24 GHz nilai

*mutual coupling* berada di bawah -24,26 dB dan tetap memenuhi kondisi di bawah -20 dB. Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan *slotted-patch* pada sirkular dapat menurunkan nilai *mutual coupling* suatu antenna.



Gbr. 16 Pola radiasi *patch* sirkular secara elevasi.

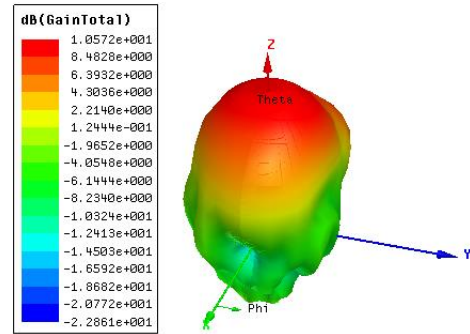


Gbr. 17 Pola radiasi *patch* sirkular secara azimuth.

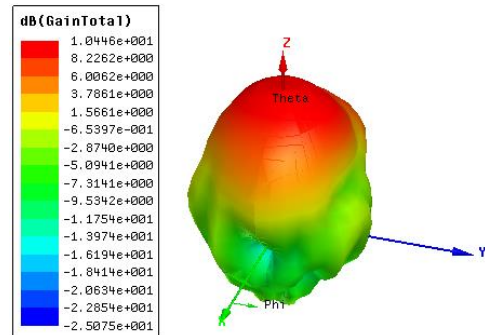
C. Axial Ratio

Gbr. 11 dan Gbr. 12 menunjukkan kurva nilai *axial ratio* untuk kedua bentuk *patch* antenna, baik yang menggunakan *slotted-patch* maupun *non-slotted*. Pada simulasi dengan kondisi  $\theta = 360^\circ$  dan  $\varphi = 0^\circ$ , untuk *patch* persegi dan sirkular rata-rata nilai *axial ratio* maksimum dari empat elemen untuk *non-slotted* adalah sebesar 40,58 dB dan 35,64 dB, sedangkan dengan menggunakan *slotted-patch* sebesar 41,32 dB dan 43,76 dB dengan rata-rata mengarah ke sudut  $0^\circ$  sampai  $60^\circ$ . Antena *patch* persegi maupun sirkular yang menggunakan *slotted-patch* bekerja dengan polarisasi linear, sedangkan *non-slotted* bekerja dengan polarisasi elips untuk *patch* sirkular. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan *slotted-patch* yang berbentuk huruf T dapat meningkatkan nilai *axial ratio*. Peningkatan nilai *axial ratio* dapat menyebabkan perubahan jenis polarisasi. Hal ini juga telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan *U-Slot* sebagai *slotted-patch*, bahwa

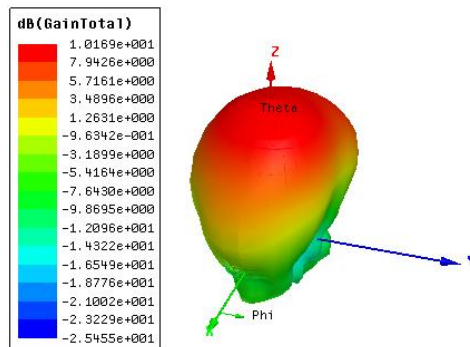
penambahan *slotted-patch* dapat meningkatkan nilai *axial ratio* [8].



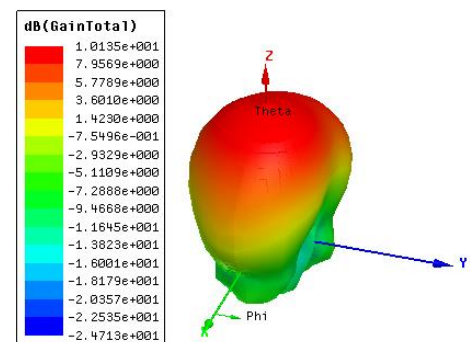
Gbr. 18 Pola radiasi tiga dimensi *patch* persegi *non-slotted* (elemen 1).



Gbr. 19 Pola radiasi tiga dimensi *patch* persegi *slotted-patch* (elemen 1).



Gbr. 20 Pola radiasi tiga dimensi *patch* sirkular *non-slotted* (elemen 1).



Gbr. 21 Pola radiasi tiga dimensi *patch* sirkular *slotted-patch* (elemen 1).

D. Pola Radiasi

Gbr. 13 menunjukkan sistem koordinat pola radiasi antenna pada arah azimuth dan elevasi dengan melihat posisi antenna.

Koordinat sumbu XZ digunakan untuk menentukan arah pancar secara elevasi yang dilihat dari sisi samping antenna, sedangkan koordinat sumbu YZ untuk arah pancar azimut yang dilihat dari sisi depan antenna.

TABEL IV  
HASIL SIMULASI GAIN ANTENA

Antena	Gain Maximum Antena (dB)			
	Persegi Non-Slot	Persegi Slotted	Sirkular Non-Slot	Sirkular Slotted
Antena 1	10,57	10,44	10,16	10,13
Antena 2	10,19	10,23	10,07	9,77
Antena 3	10,28	10,08	9,94	9,82
Antena 4	10,53	10,46	10,13	10,10
Rata-rata	10,39	10,30	10,07	9,95

TABEL V  
PERBANDINGAN HASIL SIMULASI KINERJA ANTENA

Parameter	Bentuk Patch			
	Persegi Non-Slot	Persegi Slotted	Sirkular Non-Slot	Sirkular Slotted
Return loss	-31,28 dB	-23,91 dB	-19,53 dB	-19,19 dB
Frekuensi cut-off	14,2 GHz	14,3 GHz	14,5 GHz	14,5 GHz
	16,15 GHz	16,6 GHz	17,2 GHz	17,3 GHz
Lebar pita	1,95 GHz	2,3 GHz	2,7 GHz	2,8 GHz
Gain maksimum	10,39 dB	10,30 dB	10,07 dB	9,95 dB
Axial ratio	40,58 dB	41,32 dB	35,64 dB	43,76 dB
Mutual coupling	-23,19 dB	-24,75 dB	-22,56 dB	-24,26 dB

Gbr. 14 sampai Gbr. 17 menunjukkan pola radiasi antenna secara dua dimensi arah azimut dan elevasi untuk antenna bentuk patch persegi maupun sirkular. Pada arah azimut dan elevasi, kedua bentuk antenna, baik patch persegi maupun sirkular yang menggunakan slotted-patch maupun non-slotted, yaitu elemen 1, 2, 3, dan 4, memiliki arah pancar maksimum pada sudut 0°, sehingga dari arah pancar tersebut, dapat disimpulkan bahwa kedua bentuk patch antenna dengan menggunakan slotted-patch maupun non-slotted memiliki pola radiasi unidirectional secara elevasi maupun azimut. Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan U-Slot sebagai slotted-patch, juga telah dibuktikan bahwa antenna tanpa slot maupun dengan slot menghasilkan jenis pola radiasi yang sama, yaitu unidirectional [8].

#### E. Gain

Hasil simulasi gain antenna untuk kedua patch ditunjukkan pada Tabel IV. Gain antenna pada patch persegi non-slotted diperoleh gain maksimum rata-rata dari empat elemen yang membentuk susunan MIMO sebesar 10,39 dB, sedangkan dengan menggunakan slotted-patch sebesar 10,30 dB. Pada patch sirkular non-slotted diperoleh gain maksimum rata-rata sebesar 10,07, sedangkan dengan menggunakan slotted-patch sebesar 9,95 dB. Dengan demikian, terjadi penurunan gain pada kedua bentuk patch antenna yang diberikan slotted-patch

sebesar 0,09 dB untuk patch persegi dan 0,12 dB untuk patch sirkular. Selain itu, pada penelitian sebelumnya telah dibuktikan bahwa penambahan slotted-patch pada patch persegi juga dapat mengakibatkan penurunan gain antenna [8], tetapi pada penelitian yang lain untuk patch sirkular yang ditambahkan slot terjadi peningkatan gain antenna [9]. Gbr. 18 sampai Gbr. 21 adalah pola radiasi antenna tiga dimensi dan gain maksimum yang didapatkan dari simulasi. Gambar tersebut merepresentasikan pola radiasi untuk elemen ke-1 yang terletak di pojok kiri bawah pada Gbr. 4. Alasan pemilihan posisi tersebut karena elemen 1 sebagai acuan awal pada perancangan MIMO dengan empat elemen baik untuk patch persegi maupun sirkular.

Perbandingan hasil simulasi kinerja antenna dengan kedua bentuk patch, baik dengan non-slotted maupun menggunakan slotted-patch ditunjukkan pada Tabel V. Penambahan slotted-patch untuk kedua patch dapat memengaruhi kinerja antenna. Dari perspektif lebar pita dan axial ratio antenna, bentuk patch sirkular menunjukkan hasil yang lebih bagus dari patch persegi, sedangkan untuk nilai gain, return loss, dan mutual coupling, bentuk patch persegi menunjukkan hasil yang lebih bagus daripada patch sirkular. Selain itu, kedua bentuk patch antenna menunjukkan jenis pola radiasi dan polarisasi yang sama.

#### V. KESIMPULAN

Studi analisis hasil simulasi kinerja antenna dari kedua bentuk patch, yaitu persegi dan sirkular yang disusun secara larik 1x2 serta ditambahkan slotted-patch, kemudian antenna disusun sebanyak empat elemen menjadi susunan MIMO telah dilakukan. Dengan penambahan slotted-patch, kedua bentuk patch antenna memberikan hasil maksimal untuk masing-masing parameter. Bentuk antenna patch sirkular menghasilkan nilai lebar pita sebesar 2,8 GHz dan axial ratio sebesar 43,76 dB, sehingga memberikan hasil yang lebih bagus dari patch persegi yang menghasilkan lebar pita 2,3 GHz dan axial ratio 41,32 dB. Sementara, pada patch persegi didapatkan nilai gain 10,30 dB, mutual coupling sebesar -24,75 dB, dan return loss sebesar -23,91 dB, sehingga memberikan hasil yang lebih bagus daripada patch sirkular yang mendapatkan nilai gain 9,95 dB, mutual coupling sebesar -24,26 dB, dan return loss sebesar -19,19 dB. Selain itu, pola radiasi dan polarisasi untuk kedua patch sama yaitu unidirectional dan linear.

#### REFERENSI

- [1] K. Hiltunen, A. Simonsson, P. Ökvist, and B. Halvarsson, "5G Trial System Coverage Evaluation Utilizing Multi-Point Transmission in 15 GHz Frequency Band," *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, 2017, hal. 1-5.
- [2] B. Halvarsson, E. Karam, M. Nyström, and R. Pirinen, "Distributed MIMO Demonstrated with 5G Radio Access Prototype," *2016 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, 2016, hal. 1-5.
- [3] D. Kurita, K. Tateishi, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, A. Simonsson, and P. Ökvist, "Indoor and Outdoor Experiments on 5G Radio Access Using Distributed MIMO and Beamforming in 15 GHz Frequency Band," *Proceeding of 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps 2016)*, 2016, hal. 1-6.
- [4] P. Ökvist, H. Asplund, A. Simonsson, B. Halvarsson, J. Medbo, and N. Seifi, "15 GHz Propagation Properties Assessed with 5G Radio Access



- Prototype,” *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, 2015, hal. 2220-2224.
- [5] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, and Y. Kishiyama, “Experimental Evaluation on 5G Radio Access Employing Multi-user MIMO at 15 GHz Band,” *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 2017, hal. 951-956.
- [6] T. Ferdous, A. Nayna, and F. Ahmed, “Comparative Study of Rectangular and Circular Microstrip Patch Antennas in X Band,” *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*, 2014, hal. 1-5.
- [7] M. M. Khan, A. K. M. M. Alam, and R. H. Ashique, “A Comparative Study of Rectangular and Circular Microstrip Fed Patch Antenna at 2.45 GHz,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 5, No. 10, hal. 1028–1032, 2014.
- [8] K. J. Sinaga, L. O. Nur, and B. Syihabuddin, “Perancangan Antena MIMO  $2 \times 2$  Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 6, No. 1, hal. 93–98, 2017.
- [9] N. M. Thaker and V. Ramamoorthy, “A Review on Circular Microstrip Patch Antenna with Slots for C Band Applications,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 5, No. 12, hal. 1039–1043, 2014.
- [10] L. L. K. Singh, B. Gupta, and P. P. Sarkar, “T-slot Broadband Rectangular Patch Antenna,” *International Journal of Electronic and Electrical Engineering*, Vol. 4, No. 1, hal. 43–47, 2011.
- [11] C. A. Balanis, *Antena Theory Analysis and Desain 3rd Edition*, 3rd Editio. United States: Wiley InterScience, 2003.
- [12] M. Ramesh and K. B. Yip, “Design Inset Fed Microstrip Patch Antenna,” *Microw. RF*, Vol. 3, hal. 5–10, 2003.
- [13] I. Singh and V. Tripathi, “Micro strip Patch Antenna and its Applications: a Survey,” *Int. J. Comp. Tech. Appl*, Vol. 2, No. 5, hal. 1595–1599, 2011.