

ANTENA MIMO PATCH TRIANGULAR DENGAN PENAMBAHAN SLOT UNTUK APLIKASI 5G

MIMO ANTENNA TRIANGULAR PATCH BY ADDING SLOTS FOR 5G APPLICATION

Hilmy Wahyu I¹, Ir. Bambang Sumajudin, M. T.², Trasma Yunita, S. T., M. T.³,
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹hawewahyu@student.telkomuniversity.ac.id, ²sumajudin@telkomuniversity.ac.id,
³trasmayunita@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Jaringan telekomunikasi nirkabel generasi kelima (5G) saat ini sedang menjadi perhatian dari kalangan ahli hingga awam. Padahal saat ini Indonesia baru saja menikmati teknologi jaringan telekomunikasi nirkabel generasi keempat (4G) secara merata. Adapun menurut *Global mobile Suppliers Association 2015* mengatakan untuk memenuhi kebutuhan jaringan telekomunikasi nirkabel akan menggunakan spektrum pada pita frekuensi sub-6 GHz, sedangkan untuk memenuhi kebutuhan IoT akan menggunakan panjang gelombang milimeter pada pita frekuensi 30 GHz – 80 GHz Menurut *World Radiocommunication conference 2015 (WRC-15)* telah menyepakati bahwa teknologi 5G akan menggunakan pita frekuensi pada 3,4 GHz - 3,6 GHz. Sedang Pemerintah Indonesia yaitu puslitbang, baru mempelajari teknologi ini dari berbagai bidang.

Antena yang di fabrikasi telah diukur pada frekuensi 3,5 GHz memiliki nilai *return loss* sebesar -22,383 dB, lebar *bandwidth* sebesar 100 MHz, nilai *mutual coupling* sebesar -19,477 dB, nilai *gain* meningkat menjadi 14,423 dBi. Adapun pada frekuensi 6 GHz memiliki nilai *return loss* sebesar -28,161 dB, lebar *bandwidth* sebesar 160 MHz, nilai *mutual coupling* sebesar -16,403 dB, dan nilai *gain* sebesar 6,023 dBi. Adapun perambatan antena berpolarisasi eliptikal, dan dimensi hasil realisasi sebesar 8,5cm × 8,5cm.

Kata kunci: 3,5 GHz, 5G, 6 GHz, *bandwidth*, *mutual coupling*, MIMO, *return loss*

Abstract

The fifth generation wireless telecommunications network (5G) is currently being a concern of experts to the layman. Even though Indonesia has just enjoyed even the fourth generation (4G) wireless telecommunications network technology. According to the 2015 Global Mobile Suppliers Association, to meet the needs of the wireless telecommunications network will use the spectrum in the sub-6 GHz frequency band, while to meet the needs of IoT it will use millimeter wavelengths in the 30 GHz - 80 GHz frequency band According to the World Radiocommunication Conference 2015 (WRC - 15) has agreed that 5G technology will use the frequency band at 3.4 GHz - 3.6 GHz. While the Indonesian Government, the Research and Development Center, is just learning this technology from various fields.

return loss value of -22,383 dB, a bandwidth of 100 MHz, a mutual coupling value of -19,477 dB, the gain value increases to 14,423 dBi. As for the 6 GHz frequency has a return loss value of -28,161 dB, bandwidth of 160 MHz, mutual coupling value of -16,403 dB, and a gain value of 6,023 dBi. The elliptical polarized antenna propagation, and the realization dimensions of 8.5 cm × 8.5 cm.

Keywords: 3,5 GHz, 5G, 6 GHz, *bandwidth*, *mutual coupling*, MIMO, *return loss*

1. Pendahuluan

Teknologi 5G dapat digunakan di frekuensi sub-6 GHz, dan untuk gelombang milimeter di sub-30 GHz [2]. Pada frekuensi ini mampu menyediakan lebar pita yang bervariasi dari berbagai

kebutuhan. Menurut Huawei, Ericsson, dan Qualcomm dalam *Global mobile Suppliers Association* di pita frekuensi di Sub-6 GHz, sudah dapat menghasilkan kualitas yang baik, dan menjangkau area yang luas [3]. Pada konferensi *World Radiocommunication Conference 2015* (WRC-15) menyepakati tentang frekuensi baru di rentang 3.4 – 3.6 MHz untuk seluruh layanan komunikasi nirkabel [4]. Dengan adanya pernyataan tersebut, mampu untuk memicu penelitian ini dengan mendesain antena MIMO dalam satu kesatuan terhadap pengaplikasian komunikasi nirkabel 5G. Adapun sistem antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan penggunaan lebih dari satu elemen antena baik dari sisi peradiasi maupun sisi penerima yang bertujuan meningkatkan kecepatan laju perpindahan data dengan meningkatkan estimasi kanal tanpa harus mengorbankan *bandwidth*, yang membuat kehandalan dalam jalur komunikasi [1][2][5].

2. Dasar Teori

2.1 KAJIAN 5G DI INDONESIA

Indonesia saat ini baru saja memasuki era teknologi jaringan telekomunikasi pita lebar generasi keempat (4G) dengan menerapkan pada pita frekuensi 900 MHz di tahun 2014. Kemudian teknologi ini berkembang menjadi 4G-LTE yang diterapkan pada pita frekuensi 1800 MHz di tahun 2015 [1]. Meskipun teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat pesat, masih terdapat tantangan terhadap peningkatan permintaan kecepatan akses data berikut dengan kehandalan dari layanan dimana teknologi 4G pun tidak dapat memenuhi dan hal ini yang memicu adanya penelitian terhadap teknologi terkini untuk memenuhi kebutuhan untuk mencetuskan teknologi 5G.

2.1.1 Visi Teknologi 5G

Melihat dari lini masa *International Mobile Telecommunication* di tahun 2020 (IMT-2020) menjadikan teknologi 5G sebagai bagiannya dikembangkan dengan cepat. Dalam layanannya teknologi komunikasi generasi ke-5 (5G) dituntut lebih baik dari generasi sebelumnya, terlebih dalam hal kecepatan, cakupan, dan kehandalan menjadi perhatian yang utama dalam kualitas layanan teknologi 5G tersebut [3][4]. Teknologi 5G ini memiliki beberapa parameter yang harus disyaratkan dalam melantaskan layanan yang baik, baik dari bidang bisnis, maupun bidang riset.

Berikut pada merupakan target standarisasi teknologi 5G menurut PUSLITBANG [1][5].

- Kecepatan laju data yang tinggi (1-10 Gbps)
- Memiliki latensi dibawah 1ms.
- Efisiensi yang tinggi terhadap biaya dan energi yang dikeluarkan.
- 1000 kali lipat dengan kapasitas 4G LTE.
- Cakupan wilayah yang luas dengan menggunakan jaringan heterogen.
- Kenektivitas yang stabil.

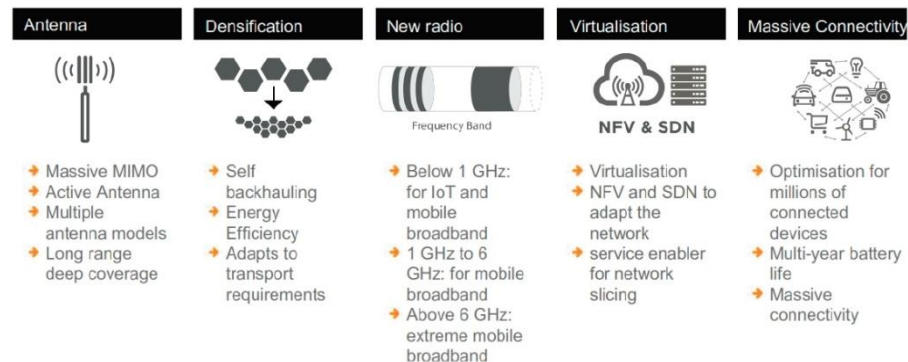
2.1.2 Teknologi Yang Mempengaruhi 5G

Sejak teknologi 5G ditemukan konspanya, banyak pihak yang telah melakukan kajian terkait dengan kandidat frekuensi yang akan digunakan dalam teknologi telekomunikasi nirkabel 5G. menurut PUSLITBANG pada studi lanjutan 5G di indonesia, 3GPP telah menyelesaikan dan melengkapi spesifikasi untuk *non-standalone* (NSA) 5G *New Radio* (NR). Rilisnya standar 5G ini telah membuka peluang bagi vendor dan pelaku industri untuk mulai mengembangkan chipset berdasarkan standar ini. Arsitektur NSA 5G NR ini berencana akan memanfaatkan antar muka teknologi LTE dan NR serta jaringan inti LTE yang ada. Adapun spesifikasi teknis umum yang diterapkan pada NSA 5G NR pada tahun 2015 pada Tabel 2.1 [5].

Tabel 2.1 Parameter Performansi 5G.

Parameter	Nilai
<i>Latency in the air link</i>	<1ms
<i>Latency end-to-end (device to core)</i>	<10ms
<i>Target mobilitas</i>	500km/h
<i>Area capacity density</i>	1 juta perangkat/km ² dalam lingkungan urban
<i>System spectral efficiency</i>	10bit/s/Hz/cell
<i>Peak throughput (downlink) per connection</i>	30bps/Hz untuk DL dan 15bps/Hz untuk UL
<i>Energy efficiency</i>	>90% lebih baik terhadap LTE

Dalam memenuhi parameter dari tabel 2.1. membutuhkan antenna diantaranya antenna MIMO dan *massive* MIMO dalam mentransmisikannya [5]. Menurut *Global mobile Suppliers Association* (GSA) yang diantaranya terdapat dari perusahaan Ericsson, Huawei, dan Qualcomm, berpendapat bahwa dalam skema 5G membutuhkan antenna seperti antenna MIMO, antenna *beam-forming* dalam mentransmisikannya, kemudian harus mengubah skema algoritma *multiplexing*, pengkodean skema, dan skema jaringan yang baru juga [2]. Berikut pada Gambar 2.1 merupakan teknologi yang akan mempengaruhi telekomunikasi 5G di Indonesia [5].



Gambar 2.1. Teknologi Yang Digunakan Pada Telekomunikasi 5G.

2.1.3 Penggunaan Spektrum Frekuensi 5G

Teknologi 5G merupakan evolusi dari berbagai teknologi seluler yang sudah dikembangkan sejak lama oleh para periset. Teknologi tersebut terus berlangsung dikembangkan dan disesuaikan dalam teknologi seluler yang saling mendukung satu sama lain. Masalah utama dalam teknologi seluler untuk 5G adalah ketersediaan dan pembagian tiap spektrum (Gomez, 2018). Teknologi 5G membutuhkan spektrum dalam tiga rentang frekuensi utama agar memberikan jangkauan luas dan dapat mendukung semua penggunaan yang terdapat pada teknologi 5G. rentang spektrum tersebut adalah sub-1 GHz (frekuensi di bawah 1 GHz); 1-6 GHz, dan di bawah 30 GHz [2][3][4].

Pada acara konferensi telekomunikasi dunia, di *World Radio Communication* pada tahun 2015 (WRC-15) yang diadakan oleh *International telecommunication Union* (ITU) membahas tentang penggunaan pita frekuensi yang akan digunakan pada telekomunikasi 5G ini dan mewakili regulator seluruh dunia. Menggunakan frekuensi sebagai berikut.

- L- band (1427 – 1518 MHz).
- C-band (3,4 – 3,6 GHz) dengan bandwidth minimal 80 MHz.
- Pita frekuensi 700 MHz (694 – 790 MHz) mengikuti keputusan awal yang telah dibuat pada WRC-12.
- Spektrum frekuensi tinggi dimulai dari 24,25 GHz hingga 86 GHz, dimana menjadi salah satu landasan untuk penggunaan IoT dengan spektrum frekuensi 5G dimasa depan dengan *microwave link*.
- Penggunaan pita frekuensi 694 – 894 MHz untuk memfasilitasi komunikasi seluler untuk layanan darurat yang dapat digunakan dalam hal kebencanaan.

Dalam menilai spektrum frekuensi 5G, bahwa penggunaan pita frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi yang cocok. Dimana pada frekuensi tersebut mempunyai kemampuan

ganda yang untuk menyediakan cakupan dan kapasitas yang tinggi, yang dimana akan menjadi peran utama dalam mengukung tiga kategori penggunaan sistem 5G yang berbeda yaitu, *enhanced Mobile Broadband* (eMMB), *massive Machine Type Communications* (mMTC) dan *Ultra Reliable Low Latency Communications* (URLLC) [3]. adapun menurut GSA juga menyepakati pembagian spektrum kanal yang telah disepakati oleh WRC-15.

Menurut Kepdirjen 235 tahun 2018 tentang penetapan pita frekuensi radio untuk uji coba penggunaan teknologi IMT-2020 disebutkan bahwa pita frekuensi radio yang dapat digunakan dalam uji coba penggunaan teknologi IMT-2020 adalah sebagai berikut.

- Pita frekuensi radio 3,5 GHz (3,3 – 4,2 GHz)
- Pita frekuensi radio 15 GHz (14,5 – 15,35 GHz)
- Pita frekuensi radio 26 GHz (24,2 – 27,5 GHz)
- Pita frekuensi radio 28 GHz (26,5 – 29,5 GHz)

Berikut merupakan parameter antenna yang akan di implementasikan sesuai standar IMT – 2020 pada Tabel 2.2 [5].

Tabel 2.2 Parameter Antena Hasil Uji Coba IMT-2020

Parameter	Nilai	Satuan
Bandwidth	100000	KHz
Antenna gain (GRx)	11	dBi
Temperatur	273	Kelvin
Thermal Noise	-94, 2395	dBm
I/N	-10	dB
Max Interference (It)	-104, 2395	dBm

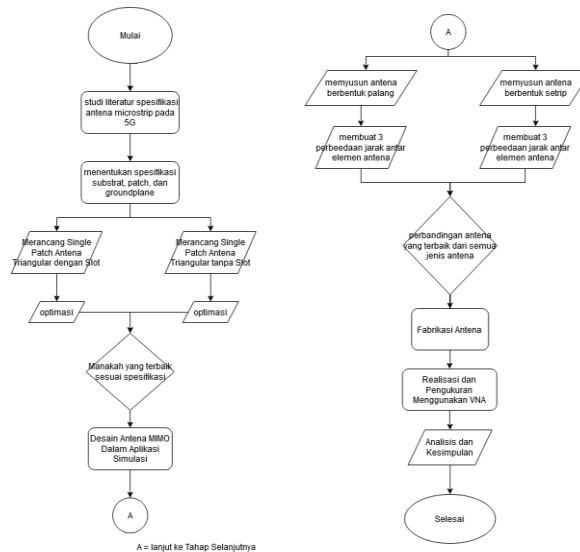
3. Perancangan

3.1 DIAGRAM ALUR PERANCANGAN

Dalam pengerjaan penelitian ini, penulis melakukan beberapa tahap perancangan yang nantinya hasil diperancangan tersebut akan sesuai dengan keluaran yang diharapkan/ Hal pertama yang dilakukan dalam alur perancangan MIMO yaitu dengan menentukan spesifikasi antenna MIMO yang dibuat dari perhitungan manual terhadap antenna mikrostrip dan patch antenna. Setelah melewati tahap pertama langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dari hasil perhitungan manual tersebut dan dilanjutkan ke tahap optimasi atau penyempurnaan rancangan antenna MIMO dengan bantuan aplikasi analisis dan simulasi, yaitu CST Studio 2018.

Tujuan penggunaan antenna MIMO dengan 4 elemen antenna dilakukan agar dapat diciptakan antenna dengan pemanfaatan yang lebih maksimal guna mendukung teknologi komunikasi 5G untuk mentransmisikan sinyal pada BTS di Indonesia. Dengan menggunakan 4 elemen antenna dapat dijadikan antenna MIMO 4×4 atau pun menjadi massive MIMO. Namun penelitian ini hanya menyelidiki bagaimana kinerja antenna MIMO 4×4 berdasarkan parameter pengukuran antenna.

Seperti pada gambar 3.1, apabila hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka diperlukan proses optimasi. Jika hasil simulasi telah sesuai dengan spesifikasi, maka proses realisasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan yang telah ditentukan sebelumnya pada perhitungan manual. Pada tahap ini terlihat perbedaan hasil saat optimasi terhadap pengukuran realisasi yang nantinya dapat terdapat perbedaan dan penyebab, selanjutnya akan dianalisis dan dapat diambil kesimpulan pada bagian akhir.



Gambar 3.1 Diagram Alur Perancangan.

3.2 DESAIN ANTENA MIKROSTRIP

Adapun variabel-variabel perancangan yang telah dihitung dan bentuk sehingga mendapat *layout* geometri pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variabel Dimensi Perancangan Antena Mikrostrip.

No	Variabel Dimensi	Keterangan	Ukuran (mm)
1	a	Panjang sisi segitiga	28,27
2	a2	Panjang Slot Sisi Segitiga	9,423
3	h	Tebal Substrat	1,6
4	lf	Panjang <i>Feedline</i>	10,325
5	lg	Panjang <i>Groundplane</i>	34,08
6	lp	Tinggi Segitiga	24,48
7	lp2	Tinggi Slot Segitiga	8,16
8	t	Tebal Konduktor Tembaga	0,035
9	wf	Lebar <i>Feedline</i>	3,057
10	wg	Lebar <i>Groundplane</i>	37,87

Optimasi yang dilakukan dengan cara merubah variabel-variabel perancangan yang ada pada dimensi patch, saluran *feedline*, dan substrat beserta groundplane (hanya panjang dan lebar, tidak beserta ketebalannya) pada antena. Berikut merupakan tabel variabel dimensi perancangan yang telah dioptimasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3 Perubahan Dimensi Variabel Perancangan Sebelum dan Sesudah Optimasi.

No	Parameter	Dimensi antena <i>single patch</i> (mm)		
		Slot segitiga sebelum optimasi	Slot Segitiga Simetris	Slot Seigitiga Terbalik
1	a	28,27	21,5	27,5
2	a2	9,423	7	5
3	lf	10,325	9,325	10,325
4	lg	34,08	31,08	31,08

5	lp	24,48	22,897	21,897
6	lp2	8,16	10,5	10
7	wf	3,057	1,057	2,057
8	wg	37,87	34,87	36,07

Dengan merubah dimensi dari antenna mikrostrip, berikut pada Gambar 3.9 merupakan perubahan konfigurasi antenna setelah dioptimasi, dan pada Gambar 3.10. merupakan hasil grafik yang didapatkan setelah dioptimasi.

Tabel 3.4 Perbandingan Antara Antena *Single Patch* Slot Segitiga Simetris Dengan Antena *Single Patch* Slot Segitiga Terbalik sebelum dan sesudah optimasi.

No	Parameter	Antena <i>Patch Triangular</i> Slot Segitiga Simetris		Antena <i>Patch Triangular</i> Slot Segitiga Terbalik	
		Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
1	<i>Return Loss</i> (3,5 GHz)	-6,6707 dB	-20,741 dB	-8,3641 dB	-24,336 dB
2	<i>Return Loss</i> (6 GHz)	-	-30,394 dB	-7,3079 dB	-21,29 dB
3	<i>Bandwidth</i> (3,5 GHz)	-	(3,5147 - 3,4335 GHz = 81,2 MHz)	-	(3,5752 - 3,4456 GHz = 129,6 MHz)
4	<i>Bandwidth</i> (6 GHz)	-	(6,4057 - 6,2526 GHz = 153,1 MHz)	-	(6,2841 - 6,0924 GHz = 191,7 MHz)

Dari Tabel 3.3. antenna *patch triangular* dengan slot segitiga terbalik memiliki hasil simulasi lebih baik dibanding dengan antenna *patch triangular* dengan slot segitiga simetris. Hal ini dibuktikan bahwa nilai *return loss* yang lebih kecil, dan *bandwidth* yang lebih lebar. Dalam hal ini antenna dengan *patch triangular* dengan slot segitiga terbalik terbukti mampu beroperasi dengan baik pada *dualband* [11]. Selanjutnya antenna *patch* segitiga dengan slot segitiga terbalik dipilih sebagai perancangan selanjutnya yaitu antenna MIMO.

3.3 Desain Antena MIMO

Perancangan antenna MIMO dengan menyusun 4 elemen antenna yang sama dengan memberikan jarak tiap elemen antenna untuk mencegah terjadinya *mutual coupling*. *Mutual coupling* sendiri dapat dilihat dari keselarasan S12 dan S21 (*scattering parameter*), yaitu seberapa besar tegangan yang dibalikkan (S12) dan seberapa besar tegangan diteruskan (S21).

Dalam perancangan kali ini terdapat dua percobaan yang dilakukan dalam perancangan antenna MIMO. percobaan pertama dengan menyusun empat elemen antenna berbentuk palang, lalu diujikan dengan tiga pengujian, pengujian pertama menyusun elemen antenna awal, pengujian kedua dengan mendekatkan jarak tiap elemen antenna, pengujian ketiga dengan menjauhkan jarak tiap elemen antenna. Percobaan kedua dengan menyusun empat elemen antenna bersampingan berbentuk setrip, lalu diujikan 3 pengujian seperti pada percobaan pertama. Hasil dari 2 percobaan tersebut dipilih yang terbaik untuk melanjutkan proses fabrikasi.

Dari hasil percobaan berikut terdapat enam hasil pengujian terhadap antenna MIMO. Dari hasil percobaan tersebut dibandingkan untuk melanjutkan ke tahap proses fabrikasi antenna MIMO. Berikut hasil dari percobaan ini akan dibandingkan dan ditampilkan pada Tabel 3.10.

Dengan mempertimbangkan dengan spesifikasi dan hasil simulasi yang telah dilakukan, dengan membandingkan hasil simulasi yang dapat dilihat pada tabel 3.10. Penulis memilih antenna MIMO Palang dengan menjauhkan jarak tiap antenna, karena memiliki nilai VSWR yang baik, dan *mutual coupling* yang rendah, meskipun lebar *bandwidth* lebih sempit, dibanding antenna MIMO palang awal

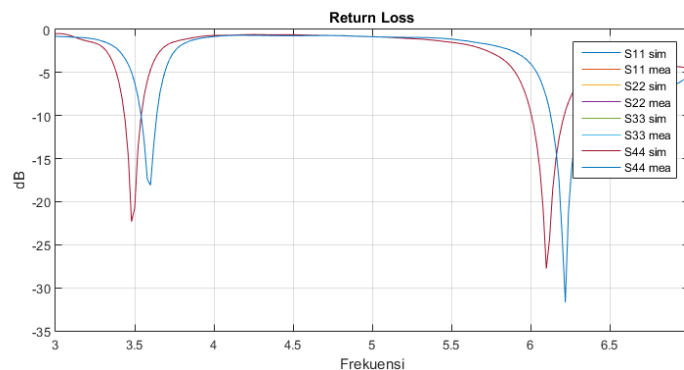
Tabel 3.11 Hasil perbandingan simulasi Antara Antena MIMO Palang Dengan Antena MIMO Setrip.

Spesifikasi	Antena MIMO Palang			Antena MIMO Setrip		
	Awal	Didekatkan	Dijauhkan	Awal	Didekatkan	dijauhkan
<i>Return Loss</i> (3,5 GHz)	-24,737 dB	-17,821 dB	-23,304 dB	-18,952 dB	-17,384 dB	-16,239 dB
<i>Return Loss</i> (6 GHz)	-29,329 dB	-13,41 dB	-28,826 dB	-36,408 dB	-	-
<i>Bandwidth</i> (3,5 GHz)	92 MHz	75 MHz	88,7 MHz	78,2 MHz	92,7 MHz	79,1 MHz
<i>Bandwidth</i> (6 GHz)	197,7 MHz	261,6 MHz	180,7 MHz	181,8 MHz	-	-
<i>Mutual Coupling</i>	-15,318 dB	-11,014 dB	-20,234 dB	-18,576 dB	-6,4519 dB	-24,503 dB

3.4. Pengujian

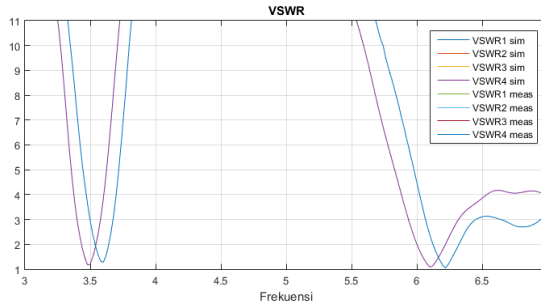
3.4.1 Analisa Hasil Pengukuran *Return Loss*

Hasil pengukuran mengalami perubahan terhadap hasil simulasi, pada hasil simulasi menghasilkan *return loss* sebesar -22,31 dB di frekuensi 3,49 GHz untuk frekuensi kecil, untuk frekuensi besar menghasilkan *return loss* sebesar -27,77 dB di frekuensi 6,1 GHz, sedangkan untuk hasil pengukuran menghasilkan *return loss* sebesar -18,1 dB di frekuensi 3,6 GHz untuk difrekuensi kecilnya, untuk frekuensi besarnya menghasilkan *return loss* sebesar -31,7 dB di frekuensi 6,22 GHz.

Gambar 4.3 Grafik Perbandingan *Return Loss* Hasil Simulasi dengan Pengukuran.

3.4.2. Analisa Hasil Pengukuran VSWR

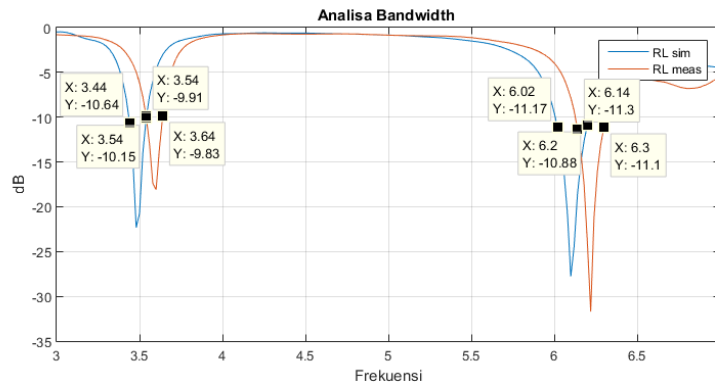
Perbandingan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 terjadi perubahan pada respon frekuensi. Berikut Grafik VSWR pada hasil simulasi di setiap elemennya memiliki nilai yang sama, begitu juga pada hasil pengukuran di setiap elemen antena menghasilkan nilai VSWR yang sama. Sehingga grafik VSWR pada hasil simulasi ditunjukkan pada grafik berwarna ungu, dan grafik hasil pengukuran ditunjukkan pada grafik berwarna biru. Hasil grafik pada simulasi menunjukkan bahwa VSWR bernilai 1,121 pada frekuensi 3,49 GHz untuk frekuensi kecil, dan bernilai 1,078 pada frekuensi 6,1 GHz. Sedangkan hasil grafik pada pengukuran menunjukkan bahwa VSWR bernilai 1,28 pada



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran.

3.4.3 Analisa Hasil Pengukuran Bandwidth

Grafik yang terdapat pada Gambar 4.5 pengamatan bandwidth ditinjau pada grafik return loss pada batas -10 dB. Penulis tidak mengacu pada batas -11 dB, karena pada data pengukuran yang dapat disajikan pada frekuensi 3,5 GHz hanya dapat ditinjau -10 dB, tidak bisa dilihat pada -11 dB. Hal ini terjadi karena penyimpanan data yang disimpan pada alat pengukur VNA terbatas dan pengolahan data hanya dapat dilakukan pada batas -10 dB.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Return Loss Terhadap Analisa Bandwidth.

Dari persentase yang diperoleh pada Tabel 4.1, *bandwidth* mengalami perubahan yang tidak signifikan. Pada hasil pengukuran, *bandwidth* pada frekuensi 3,5 GHz terdapat selisih 0,09 % terhadap hasil simulasi, untuk hasil pengukuran pada frekuensi 6 GHz, *bandwidth* mengalami selisih 0,38% pada hasil simulasi.

Tabel 4.1 Perbandingan *Bandwidth* Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran

No	Parameter	Simulasi		Pengukuran	
		Frekuensi 3,5 GHz	Frekuensi 6 GHz	Frekuensi 3,5 GHz	Frekuensi 6 GHz
1	Frekuensi Tinggi	3,54 GHz	6,2 GHz	3,64 GHz	6,3 GHz
2	Frekuensi Rendah	3,44 GHz	6,02 GHz	3,54 GHz	6,14 GHz
3	<i>Bandwidth</i> Absolut	100 MHz	180 MHz	100 MHz	160 MHz
4	Persentase <i>Bandwidth</i>	2,86 %	2,95 %	2,77 %	2,57%

3.4.4 Analisa Mutual Coupling

Pada Tabel 4.2. terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Perbedaan antara S21 hasil simulasi sebesar -20, 218 dB pada frekuensi 3,5 GHz, Dan pada hasil pengukuran sebesar -19, 477 dB pada 3,5 GHz dan sebesar -22,916 dB. Perbedaan yang berpengaruh terletak pada S21 frekuensi 6,1 GHz, S21 hasil simulasi sebesar -28, 789 dB, sedangkan S21 hasil pengukuran sebesar -22, 916 dB, perbedaan S21 ini membuat hasil *mutual coupling* ini terdapat penurunan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Terdapat asumsi bahwa nilai mutual coupling S14 memiliki hasil yang sama dengan S12, dan S41 memiliki hasil yang sama dengan S21.

Tabel 4.2 Perbandingan Mutual Coupling Antara Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran.

Parameter	Frekuensi 3,5 GHz		Frekuensi 6 GHz	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
S21	-20,218 dB	-19,477 dB	-28,789 dB	-22,916 dB
S31	-25,16 dB	-25,523 dB	-21,814 dB	-16,303 dB
S41	-20, 218 dB	= S21	-28,789 dB	= S21
S12	-20, 220 dB	-20,663 dB	-28,791 dB	-22, 471 dB
S32	-20, 216 dB	-	-28,789 dB	-
S42	-25, 162 dB	-	-21, 811 dB	-
S13	-25, 162 dB	-24,769 dB	-21,813 dB	-16,403 dB
S23	-20, 220 dB	-	-28, 791 dB	-
S43	-20, 220 dB	-	-28, 789 dB	-
S14	-20, 216 dB	= S12	-28, 789 dB	= S12
S24	-25, 162 dB	-	-21, 811 dB	-
S34	-20, 220 dB	-	-28, 791 dB	-

3.4.5 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi

menunjukkan hasil pola radiasi pada antenna fabrikasi untuk frekuensi 3,5 GHz dan 6 GHz. Antena hasil pengukuran menunjukkan pola radiasi *unidirectional*. Sedangkan hasil simulasi *omnidirectional*.

3.4.6 Analisa Hasil Pengukuran Polarisasi

Adapun pada Tabel 4.3 merupakan jenis polarisasi antenna hasil pengukuran per elemen di setiap frekuensinya yang menggunakan persamaan 4.2. dapat diambil kesimpulan, bahwa antenna hasil pengukuran memiliki jenis polarisasi sirkular.

Tabel 4.3 Jenis Polarisasi Hasil Pengukuran Antena MIMO

Elemen Antena ke-	Pwatt mayor		Pwatt minor		Axial Ratio		Jenis Polarisasi	
	3,5 GHz (Watt)	6 GHz (Watt)	3,5 GHz (Watt)	6 GHz (Watt)	3,5 GHz	6,2 Ghz	3,5 GHz	6,2 GHz
1	1.58489 E-06	1.99526 E-07	1.58489 E-08	3.16228 E-09	10	7.9432 82347	elipti kal	elipti kal
2	1.99526 E-06	1.99526 E-07	2.51189 E-08	5.01187 E-10	8.9125 09381	19.952 62315	elipti kal	elipti kal
3	1.99526 E-06	2.51189 E-07	2.51189 E-08	2.51189 E-09	8.9125 09381	10	elipti kal	elipti kal
4	1.99526 E-06	2.51189 E-07	2.51189 E-08	2.51189 E-09	8.9125 09381	10	elipti kal	elipti kal

3.4.7 Analisa Hasil Pengukuran Gain

Pada Tabel 4.3. dapat diketahui bahwa antenna hasil fabrikasi mengalami hasil penguatan yang baik dibanding hasil simulasi. Namun pada hasil pengukuran, di setiap elemen antenna memiliki penguatan yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena faktor kualitas

fabrikasi yang tidak dapat menjaga performansi antenna seperti pada simulasi, dan kesulitan dalam pembacaan daya pada *spectrum analyzer* yang nilainya berfluktuasi sehingga data yang diperoleh kurang begitu akurat.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran *Gain* Antena Elemen Pertama

Elemen Antena	GAUT		<i>Gain</i> Simulasi	
	3,5 GHz (dBi)	6 GHz (dBi)	3,5 GHz (dBi)	6 GHz (dBi)
1	15.823	6.323	0.2842	-1.61
2	15.323	6.823	0.2842	-1.609
3	15.123	6.023	0.2843	-1609
4	14.423	6.923	0.2843	-1.609

3.4.8 RINGKASAN ANALISIS HASIL SIMULASI DAN HASIL PENGUKURAN

Pada Tabel 4.4. menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran antenna. Pada hasil pengukuran antenna terjadi penurunan dibandingkan dengan hasil simulasi, hal ini dikarenakan beberapa faktor, seperti alat ukur yang menghasilkan nilai yang berfluktuasi sehingga data yang diperoleh kurang begitu akurat, dan faktor kualitas fabrikasi yang tidak dapat menjaga performansi antenna seperti pada simulasi. Dari hasil simulasi maupun pengukuran, didapatkan *mutual coupling* yang kurang dari spesifikasi awal. Hal ini dikarenakan bentuk antenna MIMO berbentuk palang.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran.

Parameter	Frekuensi 3,5 GHz			Frekuensi 6 GHz			Spesifikasi
	Hasil Simulasi		Pengukuran	Hasil Simulasi		Pengukuran	
	Tanpa Slot	Tambah Slot		Tanpa Slot	Tambah Slot		
<i>Return Loss</i> (dB)	-30,582 dB	-24,532 dB	-18,077 dB	-22,383 dB	-28,466 dB	-28,161 dB	< -11 dB
<i>Bandwidth</i> (MHz)	87,1 MHz	100 MHz	100 MHz	179,1 MHz	180 MHz	160 MHz	100 MHz
<i>Mutual Coupling</i>	-19,388 dB	-20,218 dB	-19,477 dB	-22,257 dB	-21,814 dB	-16,403 dB	< -20 dB
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional	Unidirectional	Omnidirectional	Omnidirectional	Unidirectional	-
Polarisasi	Sirkular	Sirkular	eliptikal	Sirkular	Sirkular	eliptikal	sirkular
<i>Gain</i>	0,6808 dBi	0.2842 dBi	14.423 dBi	1,602 dBi	-1.609 dBi	6.023 dBi	-

4. Kesimpulan

Penelitian tugas akhir tentang perancangan dan implementasi antenna Mikrostrip MIMO *patch* segitiga dengan penambahan slot segitiga terbalik memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknik penambahan slot pada *patch* antenna dapat membuat dua respon frekuensi, dan *bandwidth* yang dihasilkan hanya cukup memenuhi dalam syarat pembuatan komunikasi

- nirkabel 5G. Namun pada parameter *mutual coupling* antenna MIMO ini tidak memenuhi sesuai syarat yang ditentukan.
2. Penambahan slot segitiga terbalik, mampu dapat memperlebar *bandwidth* dibandingkan dengan slot segitiga biasa. Hal ini terjadi karena distribusi arus yang mengalir pada patch antenna lebih bagus, sehingga patch menimbulkan kesetaraan impedansi lebih baik.
 3. Pada pengukuran *return loss* terjadi perubahan frekuensi, pada frekuensi 3,5 GHz mengalami pergeseran dan penurunan nilai *return loss* menjadi -18, 077 dB pada frekuensi 3,6 GHz. Sedangkan pada frekuensi 6 GHz hanya mengalami pergeseran frekuensi dari 6,1 GHz, menjadi 6,2 GHz. Namun perbandingan hasil *return loss* pada hasil simulasi dengan hasil pengukuran masih berada pada rentang frekuensi yang diinginkan.
 4. Terdapat penurunan nilai *bandwidth* pada frekuensi 6 GHz pada hasil pengukuran terhadap hasil simulasi. Namun pada frekuensi 3,5 GHz hasil pengukuran tidak mengalami perubahan *bandwidth* terhadap hasil simulasi.
 5. Perubahan nilai *mutual coupling* pada hasil pengukuran, yakni mengalami penurunan nilai *mutual coupling* pada frekuensi 6 GHz menjadi tidak sesuai syarat *mutual coupling* yang diinginkan.
 6. Adanya perbedaan hasil pengukuran dan simulasi disebabkan beberapa faktor yaitu fabrikasi saat percetakan PCB, loss konektor. Tetapi faktor yang paling berpengaruh pada saat fabrikasi dimensi hasil implementasi berbeda dengan dimensi pada saat simulasi.
 7. Jika antenna MIMO patch triangular dengan slot segitiga terbalik diaplikasikan untuk komunikasi nirkabel 5G, akan kurang efisien dalam pengoperasiannya.
 8. Secara keseluruhan antenna MIMO bisa digunakan, namun harus diketahui bahwa gain menurun pada antenna MIMO dengan penambahan slot.

Daftar Pustaka:

- [1] A. F. S. Admaja, "Kajian Awal 5G Indonesia [5G Indonesia Early Preview]," *Bul. Pos dan Telekomunikasi.*, vol. 13, no. 2, pp. 97–114, 2015.
- [2] G. S. A. E. Report and G. mobile S. A. 2015 Copyright, Qualcomm, "The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development," *Ericsson, HUAWEI, QUALCOMM*, no. November, 2015.
- [3] WRC-15 Press Release, "World Radiocommunication Conference allocates spectrum for future innovation," [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2015/56.aspx
- [4] Friend, Graham.& Hobbs, Steve. 2018. "valuing 5G Spectrum: Valuing the 3.5 GHz and C-Band Frequency Range". Coleage Consulting Ltd 2018.
- [5] A. F. S. Admaja, dkk., 2018., " Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 – Spektrum Outlook dan Use Case Untuk Layanan 5g Indonesia"., Jakarta., Puslitbang-SDPPI.
- [6] Balanis. A.C., 2005 "Antenna Theory" New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Trevor S. Bird, "[Definition and Misuse of Return Loss](#)", *IEEE Antennas & Propagation Magazine*, vol.51, iss.2, pp.166-167, April 2009.
- [8] Henry Jasik, 1961 "Antenna Engineering Hand Book", USA, McGraw-Hill,inc.
- [9] Sotyohadi, Afandi, R., & Hadi, D.R. (2018). Design and Bandwidth Optimization on Triangle Patch Microstrip Antenna for WLAN 2.4 GHz. MATEC Web of Conferences 164, 01042
- [10] T. Yunita, K. Usman and A. Kurniawan, "Experiment of slotted triangular triple-band antenna for WiMAX/WLAN application in Indonesia," *2012 7th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, Bali, 2012, pp. 300-305. doi: 10.1109/TSSA.2012.6366072

- [11] Ariantono, R.A.Q., Sumajudin, B. and Yunita, T., 2019. Efek Slot Pada Antena Mikrostrip Triangular Dual Band Dengan Frekuensi Antena Awal 2, 4 Ghz. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- [12] [Elsdon, M.](#) 2005, [An investigation of reduced size planer fed microstrip patch antennas.](#) Doctoral thesis, Northumbria University.
- [13] Chang, K. and Hsieh, L.H., 2004. *Microwave ring circuits and related structures* (Vol. 156). John Wiley & Sons.
- [14] Sibille, A., Oestges, C. and Zanella, A., 2010. *MIMO: from theory to implementation*. Academic Press.
- [15] Yang, Hongwei. 2005. "A Road to Future Broadband Wireless Acces: MIMO-OFDM-Based Air Interface" Alcatel Shanghai Bell Co., Ltd., IEEE Communication Magazine
- [16] Roza, E. and Mujirudin, M., 2013. Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya. *Rekayasa Teknologi*, 6(2), Jakarta, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.
- [17] Kwabena, A.A., 2013. Multiple Input Multiple Output (MIMO) Operation Principles, Helsinki, Metropolia University of Applied Sciences, Thesis.
- [18] A.S., Kevin & N., Levy & Syihabuddin, Budi. (2017). Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*. 6. 10.22146/jnteti.v6i1.299.
- [19] Aziz ul Haq, M., Arif Khan, M., & Islam, M. R. (2016). MIMO Antenna Design for Future 5G Wireless Communication Systems. *Studies in Computational Intelligence*, 175–183. doi:10.1007/978-3-319-33810-1_14