

ANTENA SUSUN 2×2 RECTANGULAR PATCH 3,5 GHZ EMPAT SEKTOR UNTUK BASE STATION 5G

FOUR SECTORIZED ARRAY 2×2 RECTANGULAR PATCH ANTENNA 3.5 GHZ FOR 5G BASE STATION

GalihRakasiwi¹, HeroeWijanto², Edwar³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹galihrakaaa@students.telkomuniversity.ac.id, { ²heroe, ³edwarm}@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada saat ini alokasi frekuensi 5G salah satunya berada pada frekuensi 3,5 GHz dan frekuensi tersebut sama dengan band yang digunakan oleh komunikasi satelit. Hal tersebut mengakibatkan adanya interferensi satu sama lain sehingga perlu adanya sistem yang bisa mengatasi hal tersebut. Tugas Akhir ini akan berfokus pada perancangan sebuah antenna susun 2×2 rectangular patch 3,5 GHz empat sektor untuk base station 5G. Pada perancangan antenna ini antenna akan disektor 60 derajat sebanyak empat buah antenna sehingga salah satu bagian akan memiliki blank spot, blank spot bertujuan untuk menghindari ground station satelit. Tugas Akhir ini menggunakan software dan merealisasikan antenna dengan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,4 dengan ketebalan 1,6 mm. Antena didesain untuk memenuhi spesifikasi yang diharapkan pada frekuensi 3,5 GHz. Hasil realisasi antenna susun 2×2 rectangular patch 3,5 GHz empat sektor memiliki bandwidth 720 MHz. Parameter return loss dan VSWR sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan dengan pola radiasi unidirectional dengan blankspot agar dapat meminimalisir interferensi sinyal

Kata Kunci: antenna, patch rectangular, 5G, array,

sektor. Abstract

At this time the 5G frequency allocation is one of them at 3.5 GHz frequency and the frequency is the same as the band used by satellite communication. This results in interference with each other so there is a need for a system that can overcome this. This Final Project will focus on designing a four sectorized array 2×2 rectangular patch antenna 3.5 GHz for 5G base station

. In this antenna design, the antenna will be screened 60 degrees by four antennas so that one part will have a blank spot, the blank spot aims to avoid the satellite ground station. This Final Project uses software and realizes antennas with FR-4 substrate with dielectric constant 4.4 with thickness of 1.6 mm. The antenna is designed to meet the expected specifications at a frequency of 3.5 GHz. The results of the realization of the stacking four sectorized antenna 2×2 rectangular patch 3.5 GHz have a bandwidth of 720 MHz. Return loss and VSWR parameters already meet the expected specifications with unidirectional radiation patterns with blankspots in order to minimize signal interference.

Keywords: antenna, rectangular patch, 5G, array, sector.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi selalu berkembang pesat setiap tahunnya, sehingga kebutuhan akan informasi jauh lebih besar. Efektivitas dan efisiensi teknologi sangat dibutuhkan seiring dengan pertumbuhan teknologi contohnya penggunaan frekuensi dalam suatu sistem komunikasi jarak jauh. Dalam konteks ini, 5G membayangkan tidak hanya satu teknologi saja yang ditemukan atau dikembangkan, tetapi sebuah ekosistem jaringan nirkabel yang bekerja secara sinergis untuk menyediakan media komunikasi tanpa batas bagi pengguna [1]. Pada hal ini antenna menjadi salah satu komponen pendukung untuk teknologi 5G.

Penggunaan frekuensi sudah memiliki regulasi dan alokasinya masing – masing, contohnya penggunaan frekuensi untuk kebutuhan militer, stasiun TV, satelit serta seluler. Hal tersebut menyebabkan penggunaan frekuensi generasi keempat (5G) memiliki keterbatasan. Rentang pita frekuensi 3,3 – 4,2 GHz merupakan salah satu kandidat untuk teknologi 5G di dunia pada

spektrum pita tengah dibawah 6 GHz. Pada rentang frekuensi 3,4 – 3,6 GHz merupakan band frekuensi 5G hasil harmonisasi dari ITU untuk digunakan secara global [2]. Hal tersebut kemudian frekuensi 3.5 GHz digunakan untuk penelitian Tugas Akhir ini.

Pada hal ini, rentang frekuensi yang digunakan tersebut juga digunakan untuk Fixed Satellite Service (FSS). Oleh sebab itu komunikasi Fixed Satellite Service (FSS) pada stasiun bumi dan base station (BTS) 5G menjadi suatu perhatian dalam tugas akhir ini. Pada hal ini frekuensi pada komunikasi FSS serta frekuensi pada komunikasi 5G berada pada band frekuensi yang sama, sehingga perlu adanya sharing frekuensi antara frekuensi FSS dan frekuensi 5G agar tidak terjadi interferensi satu dengan yang lain. Jepang secara intensif telah mempelajari tiga teknologi untuk improve sharing, yaitu Multiple Input Multiple Output (MIMO), sector disabling, dan Dynamic Spectrum Access/Allocation (DSA). Studi-studi ini dijelaskan dalam laporan ITU-R M.2019. Selain itu, Jepang berpendapat bahwa sharing scenario seperti small cell dengan menggunakan low power dan low antenna height dapat lebih meningkatkan pembagian antara IMT dan FSS [3].

Untuk mengatasi masalah tersebut, dibuat sebuah antenna susun 2×2 rectangular patch 3,5 GHz empat sektor untuk base station 5G dengan memperhatikan studi sector disabling. Pada tugas akhir ini antenna akan disektor sebesar 60 derajat sebanyak empat buah antenna, sehingga ada bagian dari pola radiasi yang memiliki blank spot, pada bagian blank spot tersebut akan digunakan untuk menghindari ground station satelit sehingga dapat meminimalisir terjadinya interferensi. Penggunaan teknik array 2×2 berfungsi untuk memperbesar gain pada antenna karena akan ditempatkan pada base station.

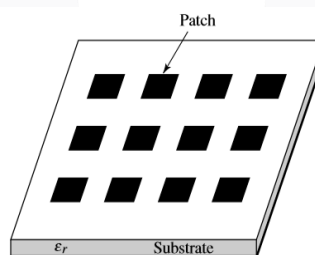
2. Dasar Teori

2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah sebuah antenna konduktor yang menempel pada *groundplane* dan diantara antenna konduktor dan *groundplane* terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antenna yang memiliki massa ringan, dan mudah untuk difabrikasi dengan sifat yang konformal sehingga antenna mikrostrip dapat ditempatkan di hampir semua permukaan [3].

2.2 Antena Mikrostrip Array

Teknik *array* digunakan karena dapat meningkatkan nilai *gain* dan *directivity* yang tidak bisa ditingkatkan jika hanya menggunakan *single* antenna, tetapi dengan demikian *beamwidth* yang dihasilkan akan menjadi sempit. Biasanya istilah *array* merujuk pada pengaturan dimana peradiator disusun secara terpisah seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini [4].



Gambar 1. Antena mikrostrip *rectangulat patch array* [4].

2.3 Antena Sektoral

Antena sektoral yang juga disebut dengan *Antenna Patch Panel* pada dasarnya sama dengan antenna *omnidirectional*. Pada umumnya antenna sektoral memiliki polarisasi secara vertikal namun ada beberapa antenna sektoral yang memiliki polarisasi horizontal. Antena sektoral umumnya memiliki penguatan yang lebih tinggi dari antenna *omnidirectional*. Antena sektoral bisanya ditempatkan pada *base station* yang letaknya paling tinggi diantara komponen lainnya, oleh karena itu bisanya antenna sektoral harus di *tilting* terlebih dahulu agar bisa diarahkan sesuai dengan daerah diinginkan.

2.4 Teknik Pencatuan

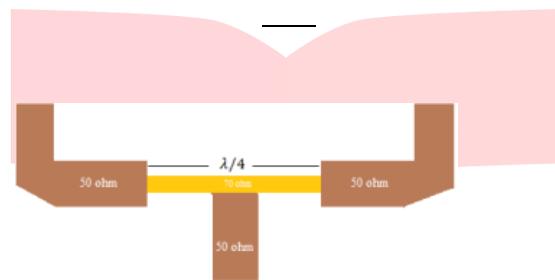
Teknik pencatuan proximity coupled seperti Gambar 2.4 menggunakan dua lapis substrat dengan *feed line* berada diantara dua buah substrat tersebut. Teknik ini memiliki keunggulan pada

bandwidth yang lebih besar dari teknik pencatutan lainnya dan juga radiasi tambahan (*spurious radiation*) yang bernilai kecil [5]. Kerugiannya adalah dalam hal fabrikasi karena memiliki dua buah substrat (multilayer), dan ukuran antar lapisnya harus sejajar untuk mendapatkan direktivitas dan *matching impedance* yang sesuai [6].

2.5 Matching Impedance

Perancangan pada sebuah antena pasti memerlukan adanya saluran transmisi yang pada saluran tersebut perlu dilakukannya penyetaraan impedansi. Ketidakesesuaian impedansi antena dengan saluran transmisi akan mempengaruhi transfer daya yang akan dipancarkan oleh antena. Dalam perancangan antena mikrostrip *array* perlu adanya saluran *feed* yang terbagi ke masing-masing *patch*. Untuk membagi *feed* ini dapat menggunakan transformator $\lambda/4$ sebagai *T-junction* seperti pada Gambar 3. Panjang dari saluran *T-junction* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$Z_T = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad (1)$$



Gambar 2. Transformator $\lambda/4$ pada T-junction.

2.6 Power Divider

Power divider adalah suatu komponen pasif yang memiliki fungsi untuk memisahkan sinyal dari satu buah input menjadi dua atau lebih sinyal output identik (amplitudo dan fase sama), atau untuk menggabungkan beberapa sinyal input untuk menjadi satu sinyal output. Power divider standar, syarat dalam hal fungsi penggabungan atau pemisahan sinyal ini adalah untuk mempertahankan nilai impedansi konstan Z_0 (impedansi sumber) di semua port melebihi batas frekuensi pengaplikasian perangkat.

2.7 Sharing 5G dan FSS pada 3.5 GHz

Interferensi merupakan saat dimana pada sistem transmisi sinyal data mengalami gangguan. Interferensi didefinisikan sebagai sinyal pengganggu yang tidak diharapkan yang dapat terjadi karena frekuensinya berdekatan atau sama, dengan memiliki daya yang besar. Potensi interferensi yang akan dialami oleh sistem FSS terkait penggunaan frekuensi secara bersamaan dengan IMT-2020 antara lain sebagai berikut [3] :

a. In-band emission dari IMT-2020

Interferensi ini disebabkan oleh lokasi stasiun bumi dekat dengan sistem IMT-2020. Jarak yang jauh antara stasiun bumi dan satelit menyebabkan daya yang dipancarkan oleh satelit menurun dengan signifikan saat diterima oleh antena stasiun bumi, sementara sinyal yang dihasilkan pada sistem IMT-2020 yang berada dekat dengan stasiun bumi dipancarkan dengan kuat. Hal tersebut mengakibatkan terganggunya sinyal yang diterima oleh stasiun bumi dari satelit.

b. Adjacent band emission dari IMT-2020

Interferensi ini pada dasarnya hampir sama dengan interferensi in-band emission, sinyal pengganggu dari sistem IMT-2020 berada pada frekuensi yang berdekatan dengan frekuensi yang digunakan pada transmisi sinyal FSS ke stasiun bumi.

2.8 Sector Disibling

Sector disibling merupakan salah satu dari tiga teknologi yaitu Multiple Input Multiple Output (MIMO), dan Dynamic Spectrum Access/Allocation (DSA) untuk teknologi dari improve sharing. Tujuan dari teknik ini adalah untuk mengurangi daya yang dikeluarkan sebuah antena yang

ditransmisikan dari base station ke arah stasiun bumi FSS yang terganggu. Secara umum, base station 5G menggunakan antena sektoral (misalkan konfigurasi sektoral 3 – 6). Oleh karena itu, salah satu sisi dapat menonaktifkan antena yang mengarah ke stasiun bumi FSS, dengan catatan area tersebut yang menjadi dampak dinonaktifkannya antena pada base station tidak akan dilayani oleh pita frekuensi 3400 – 3600 MHz yang akan diidentifikasi lebih lanjut oleh IMT melalui perencanaan frekuensi yang tepat. Teknik ini akan mendapatkan hasil seperti yang diharapkan, dengan syarat ground station berada pada lokasi yang sudah diketahui dan hanya dalam satu arah [7].

3. Perancangan dan Simulasi

3.1 Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena yang diharapkan adalah sebagai berikut:

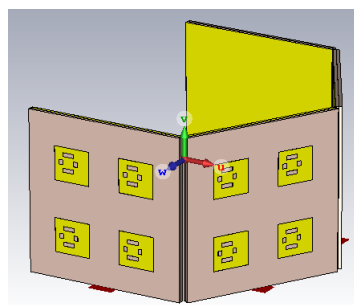
Tabel 1. Spesifikasi Antena

Spesifikasi	Keterangan
Frekuensi Kerja	3,5 GHz
<i>Bandwidth</i>	≥ 200 MHz
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
Pola Radiasi	Unidirectional
<i>Gain</i>	≥ 3 db
VSWR	≤ 2

Untuk mendukung sistem yang ingin dibuat, maka antena harus memenuhi spesifikasi seperti pada Tabel 3.1. Antena yang dirancang perlu memiliki nilai VSWR ≤ 2 , dan frekuensi 3,4 – 3,6 GHz dengan bandwidth 200 MHz yang merupakan band frekuensi 5G hasil harmonisasi dari ITU untuk digunakan secara global. Return loss yang ingin dicapai harus bernilai ≤ -10 . Pola radiasi yang digunakan adalah omnidirectional karena akan diletakkan pada base station. Serta perhitungan Link Budget digunakan untuk menghitung besar gain yang harus digunakan pada base station.

3.2 Perancangan Antena

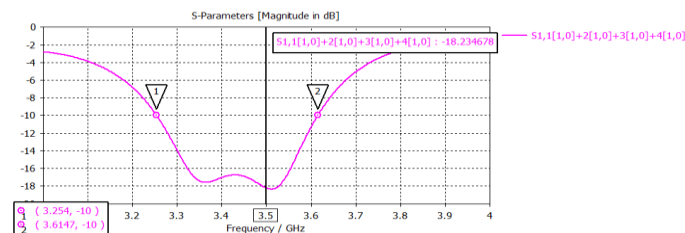
Tahapan perancangan dimulai dengan menentukan spesifikasi yang diinginkan untuk membuat antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor untuk base station 5G. . Kemudian, tahap selanjutnya adalah simulasi. Perhitungan yang sudah dibuat kemudian di simulasikan menggunakan *software* yang digunakan. Jika hasil simulasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, setelah itu melakukan pemodelan untuk antena susun 2×2 . Setelah antena sesuai dengan spesifikasi, lalu antena tersebut disektor sebanyak empat buah yang masing-masing membentuk sudut 60° . Apabila tidak sesuai maka dilakukan optimasi sehingga sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Terakhir antena difabrikasi dan direalisasikan untuk bisa melakukan tahapan pengukuran. Hasil pengukuran kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan. Hasil perancangan antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor dapat dilihat pada Gambar 3.



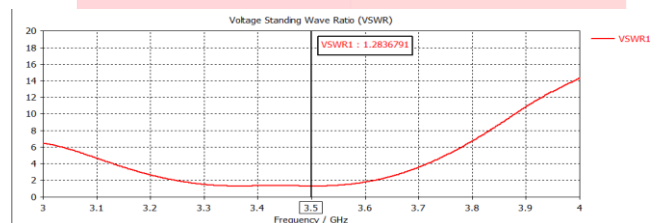
Gambar 3. Antena susun 2×2 *patch rectangular* 3,5 GHz empat sektor.

3.3 Hasil Simulasi Perancangan Antena

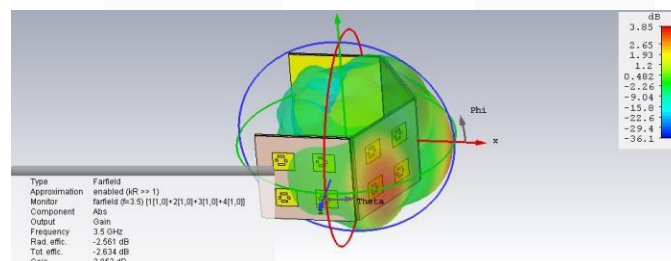
Setelah dilakukan perancangan pada *software* perancangan antena didapatkan nilai hasil dari parameter-parameter yang akan ditinjau. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan terbagi menjadi dua yaitu parameter dalam dan parameter luar. Parameter dalam yang perlu diperhatikan antara lain *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth*. Parameter luar antara lain pola radiasi dan *gain*. Gambar 4 menunjukkan hasil dari simulasi *return loss* sebesar -18,23 dB, Gambar 5 menunjukkan hasil dari simulasi *VSWR* sebesar 1,28, dan Gambar 6 menunjukkan hasil dari pola radiasi dengan nilai *gain* sebesar 3,853 dBi.



Gambar 4. Grafik nilai *return loss* antena susun 2×2 *patch rectangular* 3,5 GHz empat sektor.



Gambar 5. Grafik nilai *VSWR* antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor.



Gambar 6. Pola radiasi antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor.

3.4 Realisasi Antena

Setelah dilakukan proses simulasi dan optimasi pada *software* perancangan antena, maka dipilih antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor yang akan direalisasikan. Antena direalisasikan karena hasil dari simulasi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan mampu mengatasi permasalahan yang diangkat. Dengan dimensi hasil realisasi antena 84 mm \times 84 mm \times 1,6 mm. Antena hasil realisasi dapat dilihat pada Gambar 7. Realisasi antena dilakukan dengan caramengkonversi hasil dari simulasi kedalam format gambar. Fabrikasi antena menggunakan bahan FR-4 sebagai substrat dengan konstanta dielektri 4,4 dan ketebalan 1,6 mm. Sedangkan untuk bagian *patch* dan *groundplane* menggunakan bahan tembaga dengan ketebalan 0,035 mm.



Gambar 7. Hasil realisasi antenna susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor.

4. Analisis Hasil Pengukuran

Antena yang telah selesai di realisasikan diukur parameter kerjanya. Hasil pengukuran kemudian akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Pengukuran parameter dalam dilakukan di Laboratorium Elektronika Komunikasi, dan untuk parameter dilakukan di Laboratorium Antena.

4.1 Hasil Pengukuran *Return Loss*, *Bandwidth*, dan *VSWR*

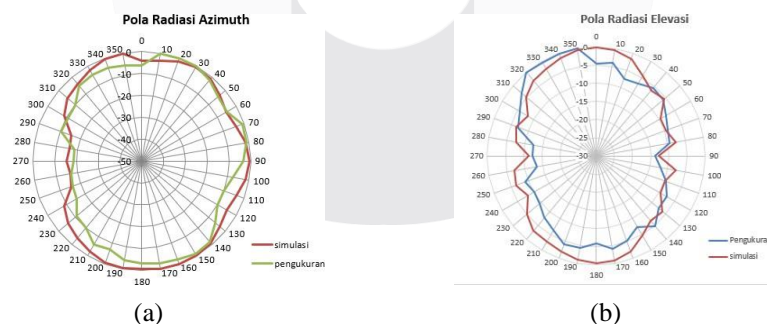
Hasil dari pengukuran antenna setelah realisasi menghasilkan nilai *return loss* sebesar -17,59. Untuk bandwidth antenna yang dihasilkan pada saat pengukuran adalah sebesar 720 MHz. Sedangkan untuk nilai *VSWR* yang dihasilkan sebesar 1,3.

4.2 Pengukuran Pola Radiasi dan *Gain*

Pengukuran *gain* dan pola radiasi dilakukan dengan menggunakan antenna *horn* sebagai antenna referensi. Pengukuran *gain* dan pola radiasi menggunakan perangkat *signal generator* pada sisi *transmitter* dan menggunakan perangkat *signal hound* yang disambungkan ke laptop yang sudah terinstall aplikasi *spike* sebagai display *spectrum analyzer*.

4.2.1 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Hasil pola radiasi setelah pengukuran didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 9. Terlihat grafik pola radiasi yang dihasilkan tidak berbeda secara signifikan dengan hasil simulasi. Pola radiasi menghasilkan sudut *blank spot* pada bagian yang tidak terkena pancaran antenna.



Gambar 9. Grafik pola radiasi (a) azimuth dan (b) elevasi antenna empat sektor.

4.2.2 Hasil Pengukuran *Gain*

Pengukuran *gain* mengambil beberapa sampel dari daya yang dihasilkan oleh antenna yang terlihat pada *spectrum analyzer*. Nilai *gain* yang dihasilkan pada pengukuran yaitu sebesar 3,32 dBi. Hasil yang didapatkan pada saat pengukuran lebih kecil dari hasil simulasi. Hal ini dapat disebabkan karena fabrikasi yang tidak sempurna dan faktor dari kabel yang digunakan tidak dalam kondisi maksimal, hal ini dapat mempengaruhi performansi antenna.

4.2.3 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2. Dapat dilihat hasil pengukuran berubah dengan hasil simulasi menggunakan *software*. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti pada saat fabrikasi, kurang baiknya kabel yang digunakan, maupun asumsi yang sangat banyak pada saat simulasi sehingga hasilnya berbeda dengan pengukuran. Namun hasil dari pengukuran sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan sehingga dapat di toleransi. Dengan begitu antenna susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor dapat diimplementasikan untuk meminimalisir interferensi frekuensi 5G dan FSS.

Tabel 2. Perbandingan spesifikasi antenna dengan hasil simulasi dan pengukuran.

	Spesifikasi	Hasil Simulasi Single Antena	Hasil Pengukuran Single Antena	Hasil Simulasi Antena Empat Sektor	Hasil Pengukuran Antena Empat Sektor
Return Loss	≤ -10	-14,51	-12,21	-18,23	-17,59
VSWR	≤ 2	1,46	1,64	1,28	1,3
Bandwidth	≥ 200 MHz	329 MHz	150 MHz	360 MHz	720 MHz
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>
Gain	≥ 3 dBi	7,053 dBi	5,858 dBi	3,853 dBi	3,322 dBi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini yang berjudul tentang antenna susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor untuk *base station* 5G memiliki kesimpulan sebagai berikut.

1. Teknik pencatutan *proximity coupled* pada antenna mikrostrip dapat memperbesar *bandwidth* yang dihasilkan. Pada saat menggunakan teknik pencatutan mikrostrip *line* setelah optimasi *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 123 MHz, sedangkan hasil perancangan antenna dengan menggunakan teknik pencatutan *proximity coupled* setelah optimasi menghasilkan *bandwidth* sebesar 329 MHz.
2. Hasil pengukuran untuk *single* antenna setelah fabrikasi menunjukkan hasil yang mengalami penurunan dari hasil simulasi. Hasil pengukuran *return loss* turun dari -14,518 dB menjadi -12,214 dB, begitu juga dengan *bandwidth* yang dihasilkan pada saat simulasi sebesar 329 MHz turun menjadi 150 MHz pada saat pengukuran. Berbeda dengan *single* antenna, pada antenna empat sektor hasil pengukuran lebih baik dibandingkan hasil simulasi dalam segi *bandwidth* antenna. *Bandwidth* hasil simulasi bernilai 360 MHz sedangkan *bandwidth* hasil pengukuran bernilai 720 MHz. Untuk *return loss* hasil simulasi sedikit lebih baik dari hasil pengukuran dengan nilai simulasi -18,234 dB dan pengukuran -17,597 dB. Namun dengan hasil pengukuran maupun simulasi pada parameter dalam sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan.
3. Hasil pengukuran *gain* antenna pada pengukuran mengalami penurunan dari hasil simulasi. Hasil pengukuran *gain* pada *single* antenna bernilai 5,858 dBi turun dari hasil simulasi yang bernilai 7,053 dBi. Begitupun juga pada pengukuran *gain* antenna empat sektor mengalami penurunan dari hasil simulasi. Namun dengan hasil dari pengukuran maupun simulasi pada parameter *gain* dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan.
4. Pola radiasi yang dihasilkan pada antenna susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor

terdapat *blank spot* pada sudut 90 dan 180 derajat. Sehingga nantinya *blank spot* tersebut mengarah ke *ground station* satelit dan dapat meminimalisir adanya interferensi antara frekuensi 5G dan FSS.

5. Hasil pengukuran antena susun 2×2 *rectangular patch* 3,5 GHz empat sektor sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan sehingga dapat diterapkan di BTS untuk menekan interferensi sinyal.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan performansi antena agar menjadi lebih baik, terdapat beberapa pertimbangan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Menggunakan *power divider* dengan input empat dan output satu supaya hasil dapat lebih maksimal.
2. Mengganti bahan substrat dengan permitivitas yang lebih rendah agar hasil lebih baik.
3. Melakukan pengukuran dengan lebih terkontrol yang dapat mengantisipasi adanya gangguan atau interferensi terhadap udara, suhu, ataupun gelombang elektromagnetik lain yang tidak diinginkan dengan cara mengukur pada ruangan *anechoic chamber*.
4. Memastikan peralatan untuk pengukuran dalam kondisi yang baik agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.

Daftar Pustaka

- [1] Rodriguez, Jonathan. "Fundamental of 5G Mobile Networks", Portugal :Instituto
- [2] GSMA. "The WRC series, 3 GHz in the 5G Era, Preparing for New Services in 3.3-4.2 GHz", GSMA Office, United Kingdom, October 2019.
- [3] Y. Diah, A. Kasmad, A. H. Vidyantina, G. D. Amry, A. Sri, P. Wirianto, Wardahnia, S. B. Reza, T. Seno, A. Azwar. "Studi Sharing IMT dan FSS Pada Pita 3,4 - 4,2 GHz", Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika BPSDM Kementerian KOMINFO, 2018.
- [4] Balanis, Constantine A. 2005. "*Antenna Theory Analysis and Design 3rd edition*". USA : Wiley InterScience.
- [5] A. H. R. Fellix Deriko, Fellix Deri Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Array Patch* Segiempat Dual-Band (2,3GHz dan 3,3 GHz) Dengan Pencatuan Proximity Couple", Uversitas Sumatera Utara., 2013.
- [6] A. salim, Rancang Bangun Antena Mkrostrip Biquad Liniear *Array* Dengan Pencatuan Apperture Coupled Untuk Aplikasi BWA, universitas indonesia., 2009.
- [7] Asia Satellite Telecommunication Company Limited "The importance of Retaining C-band for Satellite Service in the Asia-Pacific", AsiaSat Engineering Department, June, 2018.