

Perancangan Antena Luar Ruangan (*Outdoor*) Mikrostrip Mimo Rectangular Patch 28 Ghz Untuk Jaringan Komunikasi Nirkabel 5G

Ivan Rafli Mustofa*, Yusnita Rahayu**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: ivan.krafli@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Nowadays, intensive research on 5G MIMO microstrip antenna is increasing due to the high data rate required. Frequency 28 GHz is one of the allocation frequency approved by FCC. In this paper, MIMO 2x2 microstrip patch antenna using microstrip feeding line is designed for 5G wireless communication network. This antenna uses an array technique to increase the gain of the antenna. The antenna is designed and simulated using CST Microwave Studio simulation software and operated at 28 GHz. From the simulation result, the impedance bandwidth obtained is 1,95 GHz or 6,96% with return loss of -44,77dB, the simulated gain reaches 18,5 dBi. The designed MIMO 2x2 microstrip antenna meets the 5G requirements.

Keywords : 5G Antenna, MIMO, Dual-Band Antenna, Microstrip Antenna Array.

I. PENDAHULUAN

Teknologi generasi kelima (5G) masih dalam tahap penelitian, diperkirakan akan diterapkan mulai tahun 2020. Berbagai pelaku industri Telekomunikasi di dunia telah memulai sejumlah persiapan untuk menyongsong era 5G. Agar tidak tertinggal dari negara lain, Indonesia, yang saat ini baru memasuki era teknologi generasi keempat (4G), perlu melakukan analisis terhadap kesiapan teknologi dan infrastruktur, serta regulasi untuk mempersiapkan masuknya era generasi kelima (5G). Teknologi generasi kelima menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan teknologi sebelumnya, walaupun sejumlah kendala juga masih muncul (Wijanto, 2017).

FCC (*Federal Communication Commission*) mengusulkan aturan baru (FCC 15-138) untuk frekuensi *broadband wireless* dari 28 GHz, 37 GHz, 38 GHz dan 64-71 GHz band yang merupakan pita frekuensi yang ditargetkan para peneliti untuk aplikasi 5G mendatang (Gampala, 2016). Sedangkan menurut

Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika pita frekuensi 28 dan 38 GHz dialokasikan untuk keperluan Dinas Tetap dan Dinas Bergerak dengan catatan kaki INS30 (KOMINFO, 2014).

Adapun beberapa teknologi yang masuk dalam kriteria untuk dapat diterapkan pada teknologi generasi kelima (5G), diantaranya *massive* MIMO. Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antena pengirim dan penerima. Sistem MIMO bekerja dengan baik pada komponen *multipath*. *Massive* MIMO merupakan teknologi MIMO dimana jumlah terminal jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah antena *mobile station*. *Massive* MIMO dapat meningkatkan kapasitas hingga 15 kali, serta meningkatkan efisiensi energi radiasi hingga 100 kali. Peningkatan efisiensi energi didukung dengan penggunaan antena dalam jumlah besar (Wijanto, 2017).

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip MIMO dengan *patch*

persegi panjang dan frekuensi yang berkerja pada frekuensi 28 GHz atau dalam range 27,5 GHz – 29.5 GHz sesuai standart FCC. Antena mikrostrip MIMO dirancang dengan menggunakan *software CST Microwave Studio* menggunakan teknik pencatuan *Microstrip Line*.. Hasil perancangan nantinya diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi jaringan komunikasi nirkabel 5G.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang

Patch berbentuk persegi panjang merupakan bentuk yang paling umum digunakan dan mudah dianalisa. Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk persegi panjang.

Perhitungan lebar *patch* (W) :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.1)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas, yaitu sebesar 3×10^8 m/s, f_0 adalah frekuensi kerja dari antena dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (l) diperlukan parameter Δl yang merupakan pertambahan panjang dari l akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari l (Δl) tersebut dirumuskan dengan (Gusman, 2014):

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.2)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai (Gusman, 2014):

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (2.3)$$

Dengan demikian panjang *patch* (l) diberikan oleh:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.5)$$

2.2 Teknik Pencatuan Mikrostrip

Teknik pencatuan antena akan mempengaruhi impedansi input dan karakteristik antena. Teknik pencatuan secara umum adalah memindahkan tenaga dari satu titik ke titik yang lain. Teknik pencatuan pada antena mikrostrip merupakan salah satu hal penting yang akan mempengaruhi proses perencanaan. Teknik pencatuan antena mikrostrip rektangular dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu secara langsung menggunakan teknik probe koaxial atau dengan menggunakan *microstrip line*. Teknik pencatuan yang digunakan pada pembuatan antena yang dilakukan adalah teknik *microstrip line* (Yuniati, 2015).

Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh Persamaan 2.6 dan 2.7 di bawah ini (Yuniati, 2015).

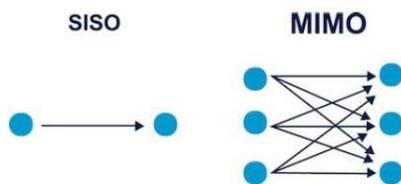
$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ \frac{B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right]}{1} \right\} \quad (2.6)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

$$B = \frac{60\epsilon_r^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

2.3 Massive MIMO

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antenna pengirim dan penerima. Sistem MIMO bekerja dengan baik pada komponen *multipath*. *Massive MIMO* merupakan teknologi MIMO dimana jumlah terminal jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah antenna *mobile station*. *Massive MIMO* dapat meningkatkan kapasitas hingga 15 kali, serta meningkatkan efisiensi energi radiasi hingga 100 kali. Peningkatan efisiensi energi didukung dengan penggunaan antenna dalam jumlah besar (Wijanto, 2017). Teknik MIMO dengan beberapa antenna pemancar ditunjukkan pada Gambar 2.1.



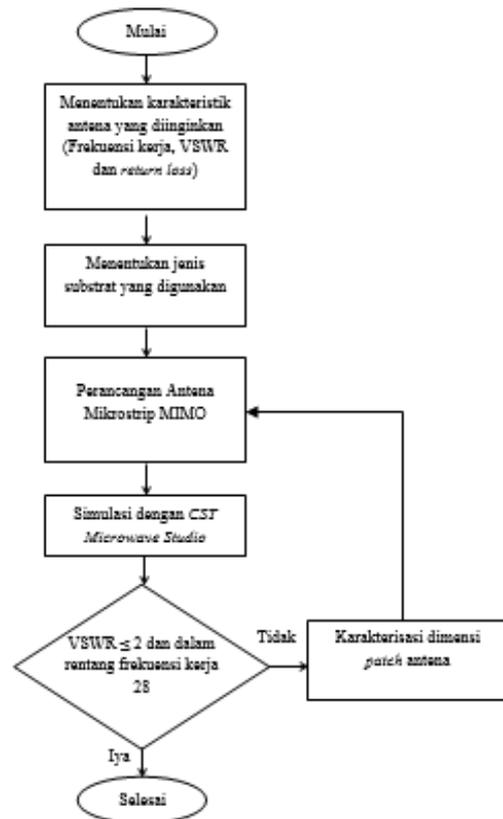
Gambar 2.1 Konfigurasi MIMO (Wijanto, 2017)

Prinsip dari MIMO adalah memecah deretan simbol yang akan dikirimkan menjadi beberapa paralel deretan simbol, yang kemudian ditransmisikan secara bersamaan dengan *bandwidth* yang sama (Elda, 2014).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Dalam merancang antenna diperlukan diagram alir yang berisi tahapan-tahapan untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 3.1 merupakan gambar diagram alir dari perancangan antenna secara umum pada skripsi ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena MIMO Secara Umum

3.2 Menentukan Karakteristik Antena

Tahapan perancangan antenna pertama kali adalah menentukan karakteristik antenna yang diinginkan, karakteristik antenna yang dimaksud, yaitu frekuensi kerja, *impedance bandwidth*, *return loss*, VSWR, dan *gain*. Adapun parameter antenna 5G yang diinginkan seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Antena yang Diinginkan

No	Parameter	Karakterisasi Antena
1	Frekuensi Kerja	28 GHz
2	<i>Return Loss</i>	< -10 dB
3	<i>Bandwidth</i>	> 500 MHz
4	VSWR	≤ 2
5	<i>Gain</i>	≥ 15 dBi

3.3 Menentukan Jenis Subtrat yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan substrat RT Duroid 5880 dengan ketebalan 1,575 mm dengan spesifikasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Subtrat yang Digunakan

Jenis Subtrat	RT Duroid 5880
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2,2
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,0009
Ketebalan Subtrat (h)	1,575 mm

3.4 Perancangan Antena MMO

Perancangan antena MIMO dengan pencatutan *microstrip line* terdiri dari beberapa tahap, seperti dibawah ini.

3.4.1 Perancangan Antena Mikrostrip Single Patch dengan 56 Elemen Peradiasi.

Perancangan antena terdiri dari dua tahapan, yaitu desain manual dan simulasi antena. Tahapan pertama adalah desain manual, yaitu perhitungan ukuran antena meliputi dimensi patch antena, dimensi saluran pencatu 50 Ω , 100 Ω dan T-Junction. Perhitungan patch dengan menggunakan persamaan (2.1) sampai (2.5).

Menentukan lebar *patch* (w) :

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 28 \times 10^9 \times \sqrt{\frac{2,2+1}{2}}} = 4,24 \text{ mm}$$

(3.1)

Sedangkan panjang *patch* (l) :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2,2+1}{2} + \frac{2,2-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12 \left(\frac{1,575}{4,24} \right)^2}} \right) = 2,628$$

(3.2)

$$\Delta L = 0,412 \times 1,575 \times \frac{(2,628+0,3) \left(\frac{4,24}{1,575} + 0,264 \right)}{(2,628-0,258) \left(\frac{4,24}{1,575} + 0,8 \right)} = 0,679 \text{ mm}$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 28 \times 10^9 \times \sqrt{2,628}} = 3,3 \text{ mm}$$

(3.4)

$$L = 3,3 - (2 \times 0,679) = 1,95 \text{ mm}$$

(3.5)

Dari perhitungan tersebut yang berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan, diperoleh panjang dan lebar patch masing-masing adalah 1,95 mm dan 4,24 mm

Saluran pencatu yang digunakan dalam desain ini memiliki impedansi 50 ohm. Untuk mendapatkan lebar pencatu yang menghasilkan impedansi 50 ohm dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7).

$$B = \frac{60 \times 3,14^2}{50 \times \sqrt{2,2}} = 7,98$$

$$W = \frac{2 \times 1,575}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 7,98 - 1 - \ln((2 \times 7,98) - 1) \\ + \frac{2,2-1}{2 \times 2,2} \times \\ \left[\ln(7,98-1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\} = 4,82 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh lebar pencatu 50 Ω adalah 4,82 mm. Sementara panjang awal dari panjang pencatu sebesar 5 mm.

Jarak antar elemen antenna dirancang dalam penelitian ini sekitar setengah dari panjang gelombang ($d=\lambda/2$).

$$d = \frac{c}{2f} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 28 \times 10^9} = 5,35 \text{ mm}$$

Dari persamaan diatas didapatkan jarak awal antar elemen adalah 5.35 mm, Setelah diketahui jarak antar elemen hal ini akan memudahkan untuk meletakkan posisi tiap elemen yang akan dirancang, bisa nanti diperlukan karakterisasi jarak tersebut.

Pada perancangan antenna mikrostrip *Single Patch* dengan 56 elemen peradiasi ini menggunakan bentuk *T-junction*. Dimana pada perancangan ini menggunakan 2 buah saluran pencatu mikrostrip yaitu 50 Ω dan 100 Ω yang berfungsi sebagai *power divider*.

Lebar saluran pencatu mikrostrip 100 Ω dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.6) hingga (2.7), yaitu sebagai berikut:

$$B = \frac{60 \times 3,14^2}{100 \times \sqrt{2,2}} = 3,99$$

$$W = \frac{2 \times 1,575}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 3,99 - 1 - \ln((2 \times 3,99) - 1) \\ \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} \\ \left[\ln(3,99 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\} = 1,38 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh lebar pencatu 100 Ω adalah 1,38 mm. Sementara panjang awal dari panjang pencatu sebesar 3 mm.

3.5 Simulasi Antena Mikrostrip MIMO

Setelah dilakukannya desain manual antenna, maka tahap selanjutnya adalah simulasi antenna menggunakan perangkat lunak CST *Microwave Studio*. Apabila setelah dilakukan report hasil yang didapat tidak memenuhi dari spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan pengkarakterisan antenna untuk mendapatkan hasil yang optimal.

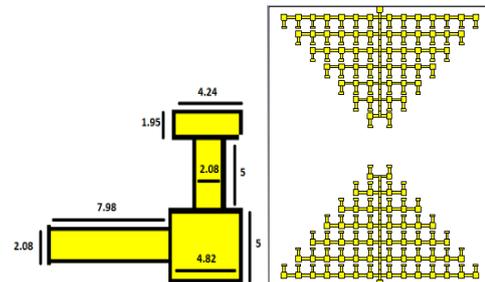
3.6 Karakterisasi Antena Mikrostrip MIMO

Karakterisasi antenna merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antenna untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan atau hasil yang optimal. Pada penelitian ini dilakukan perancangan antenna mikrostrip dengan teknik DGS berbentuk segitiga menggunakan pencatuan *Microstrip line* yang masing-masing memiliki parameter yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan. Karakterisasi yang dilakukan berupa perubahan dimensi saluran pencatu dan dimensi *patch*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Antena Mikrostrip MIMO 2x2 dengan 112 Elemen Peradiasi.

Gambar 4.1 adalah geometri beserta dimensi rancangan akhir antenna MIMO dengan 112 Elemen Peradiasi.

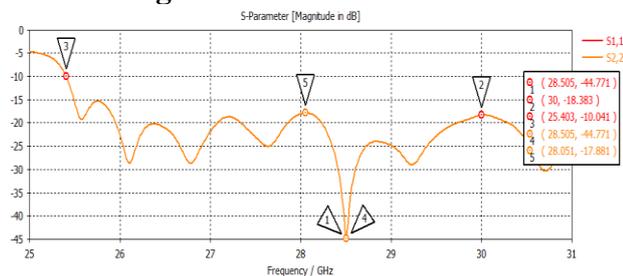


Gambar 4.1 Geometri Rancangan Akhir Antena MIMO dengan 112 Elemen Peradiasi

Tabel 4.1 Dimensi Rancangan Akhir Antena MIMO 2x2

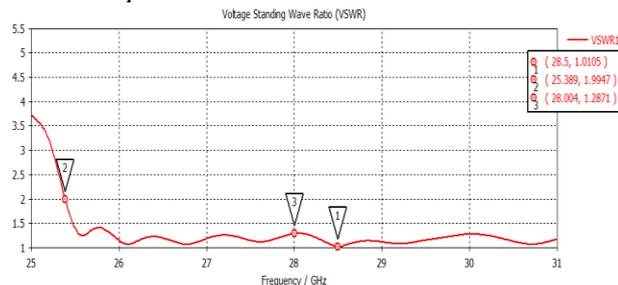
Parameter	Ukuran (mm)
L(<i>Length of Patch</i>)	1,95
Lm&Lp (<i>Length feed</i>)	5
W(<i>Width of Patch</i>)	4,24
Wm (<i>Width of Feed 100 Ω</i>)	1,48
Wp (<i>Width of Feed 50 Ω</i>)	4,82
Zm (<i>Distance Between Feed</i>)	6,78
H (<i>Substrate Thickness RT 5880</i>)	1,575
Ws (<i>Width of Substrate</i>)	196,88
Ls (<i>Length of Substrate</i>)	232,44

4.1.2 Hasil Simulasi Antena MIMO 2x2 dengan 112 Elemen Peradiasi



Gambar 4.2 Return Loss Antena Mikrostrip MIMO 2x2 dengan 112 Elemen Peradiasi

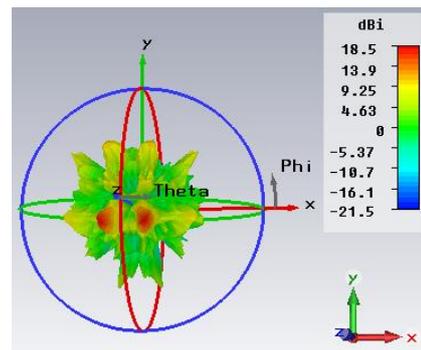
Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 28,5 GHz adalah -44,77 dB. Sedangkan pada gambar 4.14 merupakan grafik frekuensi (sumbu *x*) versus VSWR (sumbu *y*) untuk antena antena MIMO 2x2 dengan pencatuan *microstrip line*.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi VSWR MIMO 2x2

Dapat dilihat dari gambar 4.3 bahwa nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 28 GHz adalah 1,010. diketahui bahwa pada rentang frekuensi 28,07-30 GHz rancangan antena MIMO 2x2 mampu bekerja pada nilai $VSWR \leq 1,9$ dimana telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai $VSWR \leq 1,9$ atau $return Loss \leq -10$ dB.

Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat diperoleh *impedance bandwidth* pada antena MIMO 112 elemen peradiasi. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* di bawah -10,16 dB ($VSWR \leq 1,9$) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 28,05 GHz sampai dengan 30 GHz.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Gain Antena MIMO 112 Elemen

Dapat dilihat pada gambar 4.4 bahwa nilai *gain* yang didapatkan dari hasil simulasi setelah proses optimasi adalah sebesar 18,5 dBi untuk frekuensi 28,5 GHz. Nilai *gain* yang didapatkan dengan menggunakan dimensi hasil optimasi lebih bagus jika dibandingkan dengan *gain* hasil simulasi dengan menggunakan dimensi hasil perhitungan awal.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dan proses simulasi antena mikrostrip MIMO 5G, diantaranya sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip MIMO 4x4 dengan 112 elemen peradiasi menggunakan teknik pencatuan *microstrip line* yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 5G yang ditargetkan yaitu pada 28,5 GHz dengan *return loss* sebesar -44,77 dB.
2. Antena mikrostrip MIMO 4x4 menggunakan teknik pencatuan *microstrip line* memiliki nilai *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ sebesar 1,95 GHz (6,96 %) untuk frekuensi 28 GHz. Dengan demikian, antena telah memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang ditargetkan yaitu pada $bandwidth \geq 500$ MHz.
3. *Gain* antena mikrostrip MIMO 2x2 menggunakan teknik pencatuan

microstrip line yang didapat berdasarkan hasil simulasi mencapai nilai maksimum sebesar 18,5 dBi pada frekuensi 28,5 GHz. *Gain* ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu $gain \geq 15$ dBi.

4. Penggunaan teknik *array* dan MIMO dengan penambahan *patch* pada antenna berpengaruh terhadap peningkatan *gain* antenna.
5. Merancang antenna menggunakan *CST Microwave Studio* dapat menampilkan kuatnya arus dari sumber pada antenna, sehingga dapat memaksimalkan besarnya dimensi antenna yang diperlukan.
6. Pada penelitian ini menunjukkan hasil yang optimal sesuai dengan parameter antenna MIMO 5G yang ditargetkan pada rentang frekuensi 28 GHz, baik pada nilai *return loss* sebesar -44,77 dB, *VSWR* sebesar 1,010, *bandwidth* sebesar 1,95 GHz, sedangkan *gain* antenna sebesar 18,6 dBi.

5.2 Saran

Adapun saran yang ingin disampaikan adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan karakterisasi antenna mikrostrip dengan lebih bervariasi sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi seperti dimensi substrat pada antenna dengan pencatuan *microstrip line*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menganalisa perbandingan antenna yang menggunakan substrat duroid ($\epsilon_r = 2,2$) dengan menggunakan jenis substrat yang lain seperti FR-4 ($\epsilon_r = 4,4$).
3. Pada penelitian selanjutnya dapat menganalisa perancangan antenna

mikrostrip dengan bentuk *patch* yang lain seperti segitiga dan lingkaran.

4. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan fabrikasi pada antenna yang telah dirancang dan melakukan perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran fabrikasi.
5. Pada penelitian selanjutnya dapat Menggunakan Software *CST Microwave Studio* dengan laptop atau komputer berspesifikasi tinggi, untuk mempercepat selesainya simulasi yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- A.S. Kevin Jones, Levy Olivia N, Budi Syihabuddin. 2015. Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia.
- B.A Angga, Heroe Wijanto, Yuyu Wahyu3. 2016. Design and Realization of Mimo 4x4 Rectangular Patch Microstrip Antenna 5,2 Ghz For Wifi 802.11n. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia.
- Deriko, F. 2015. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array Patch Segiempat Dual-Band (2,3 GHz dan 3,3 GHz) dengan Pencatuan Proximity Coupled. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- Elda, K. Analisis Kinerja *Sphere Decoding* Pada Sistem *Multiple Input Multiple Output*. Jurnal Elektro, Fakultas Teknik Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, Indonesia.
- Gampala, G., and Reddy, C. J. 2016. Design of Millimeter Wave Antenna Arrays for 5G Cellular Applications using FEKO.
- Gusman, R. A. 2014. Simulasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang Planar Array 6 Elemen dengan

- Pencatuan Aperture Coupled untuk Aplikasi CPE WiMax Pada Frekuensi 3,3-3,4 GHz. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- J Rafelly, A Ali Muayyadi, Yuyu Wahyu. 2016. Design and Realization for 4x4 Mimo Bowtie Microstrip Antenna on 1.8 Ghz Frequency for Lte Application. Fakultas Teknik, Universitas Telkom, Bandung, Indonesia.
- Kathuria, N., and Vashisht, S. 2016. Dual-Band Printed Slot Antenna for the 5G Wireless Communication Network.
- P.F Erma, Joko Suryana. 2016. Performance of 5G Networks Massive MIMO Using 5,9 GHz Band. School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
- Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2014. Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesi. 2014.
- Sinurat, M. 2015. Perbandingan Kinerja Antena Mikrostrip Susun Dua Elemen Patch Segiempat menggunakan Teknik DGS (Defected Ground Structure) dan tanpa DGS Berbentuk Segitiga Samasisi. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- Wijanto E. 2017. Analysis Of Technology Readiness For The Implementation Of Fifth Generation (5g) Telecommunications Technology. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia.
- Yuniati, M. 2015. Design dan Realisasi Antena Mikrostrip Rektanguler 2 Array untuk Aplikasi WiFi. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom, Indonesia.