

**Perancangan Antena Mikrostrip *Dual-Band Patch* Persegi Panjang
Planar Array 6 Elemen dengan *Defected Ground Structure* Berbentuk Segitiga untuk
Jaringan Komunikasi Nirkabel 5G**

Muhammad Ibnu Hidayat*, 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: muhammad.m.ibnu@student.unri.ac.id

ABSTRACT

In this paper, a six-element dual-band antenna array for 5G wireless communication network is presented. The proposed antenna's size is 25 x 35 mm² and is printed on 1,575 mm-thick Rogers Duroid 5880 substrate with dielectric constant of $\epsilon_r = 2,2$ and loss tangent ($\tan\delta$) of 0,0009. It consists of a triangular shaped radiating patch fed by a 50 Ω microstrip line feed technique. An triangular shaped slot is etched on the ground plane to enhance the antenna bandwidth. The simulated results show the designed antenna gain of 7,47 dBi with return loss of -30,70 dB at 28 GHz and 12,1 dBi with return loss of -34,49 dB at 38 GHz. Bandwidth reached 4,76 GHz at frequency 28 GHz and 3,85 GHz at frequency 38 GHz. The simulated radiation pattern shows omni-directional.

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

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan teknologi telekomunikasi pada dewasa ini semakin berkembang ditandai dari pesatnya perkembangan teknologi jaringan seluler dimulai dari generasi pertama (1G) ke generasi keempat (4G), di mana generasi baru selalu datang dengan peningkatan yang signifikan dalam kinerjanya. Dengan ledakan perangkat dan layanan *mobile wireless* dimasa yang akan datang, masih ada beberapa masalah dan tantangan yang tidak dapat diakomodasi bahkan oleh 4G, seperti tingkat data yang tinggi, cakupan area dan konsumsi energi yang rendah. Teknologi 5G hadir untuk memecahkan masalah dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan, peningkatan data *rate* dengan cakupan yang lebih baik pada konsumsi daya yang rendah.

FCC (*Federal Communication Commission*) mengusulkan aturan baru (FCC 15-138) untuk frekuensi *broadband wireless*

dari 28 GHz, 37 GHz, 39 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).

Literatur yang dijadikan acuan dalam penelitian ini, yaitu penelitian yang berjudul "Four-Element Dual-Band Printed Slot Antenna Array for the Future 5G Mobile Communication Networks" (Haraz, 2015) dan "Design of a 28/38 GHz Dual-Band Printed Slot Antenna for the Future 5G Mobile Communication Networks" (Ali, 2016).

Pada skripsi ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip *planar array* dengan *patch* persegi panjang dan *ground plane* berbentuk slot segitiga dengan dual band frekuensi yang

berkerja pada frekuensi 28 GHz dan 38 GHz dengan menggunakan *software CST Microwave Studio* sehingga nantinya dapat digunakan untuk aplikasi jaringan komunikasi nirkabel 5G. Pada perancangan ini menggunakan teknik DGS (*Defected Ground Structure*) dengan pencatuan *Microstrip line* dan terdiri dari 6 elemen peradiasi yang disusun secara *planar* untuk mendapatkan *gain* yang tinggi (12 dBi).

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).

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

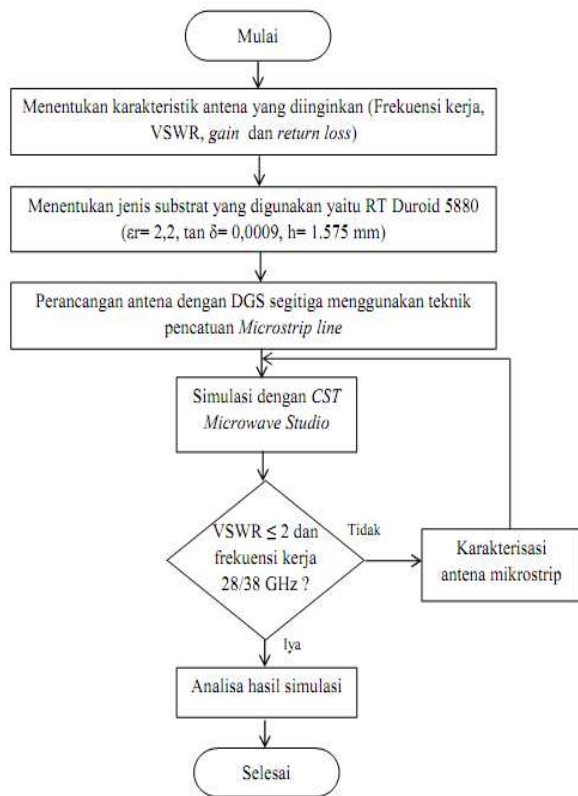
Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena Secara Umum

3.2 Menentukan Karakteristik Antena

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

Tabel 3.1 Parameter Antena yang Diinginkan

No	Parameter	Karakterisasi Antena
1	Frekuensi Kerja	28 dan 38 GHz
2	<i>Return Loss</i>	< -10 dB
3	<i>Bandwidth</i>	> 500 MHz
4	VSWR	≤ 2
5	<i>Gain</i>	≥ 12 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

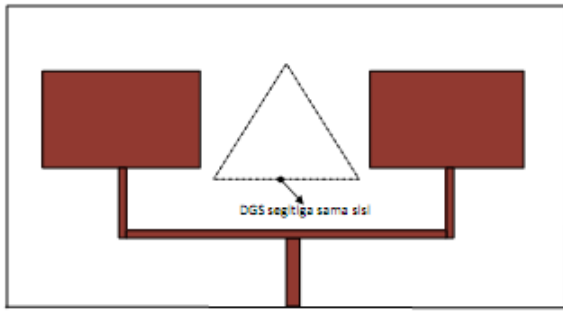
Jenis Subtrat	RT Duroid 5880
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2,2
<i>Dielectric Loss Tangent</i> ($\tan \delta$)	0,0009
Ketebalan Subtrat (h)	1,575 mm

3.4 Perancangan Antena Mikrostrip

Perancangan antena mikrostrip *plannar array* 6 elemen menggunakan teknik DGS segitiga dengan pencatuan *microstrip line* terdiri dari beberapa tahap, seperti dibawah ini.

3.4.1 Perancangan DGS Segitiga

DGS berfungsi untuk menekan gelombang permukaan yang sering muncul pada antena mikrostrip. Teknik DGS dilakukan dengan cara menghilangkan (*etch*) sebagian bidang ground. Dalam penelitian ini akan dicari hasil yang optimal dari penerapan DGS berbentuk segitiga dengan cara menentukan posisi dan ukuran yang tepat.



Gambar 3.2 Perancangan Antena dengan DGS Segitiga

3.4.2 Perancangan Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang Planar Array 6 Elemen

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*) :

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

Sedangkan panjang *patch* (*l*) :

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

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

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

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

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 antena 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 antena mikrostrip array 6 elemen 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 100Ω dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.6) hingga (2.7), yaitu sebagai berikut:

$$(3.5)$$

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

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

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

3.5 Simulasi Antena Mikrostrip

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

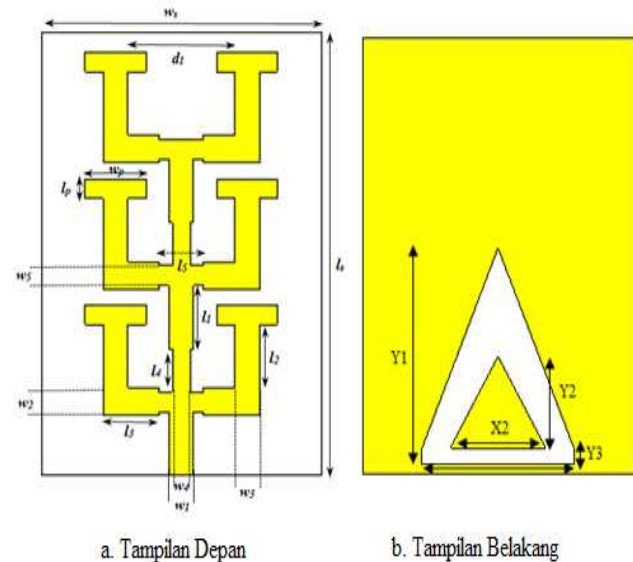
3.6 Karakterisasi Antena Mikrostrip

Karakterisasi antena merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antena untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan atau hasil yang optimal. Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena 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 Patch Persegi Panjang Planar Array 6 Elemen menggunakan Teknik DGS Segitiga dengan Pencatuan *Microstrip Line*

Gambar 4.1 adalah geometri beserta dimensi rancangan antena mikrostrip *patch* persegi panjang *planar array* 6 elemen.

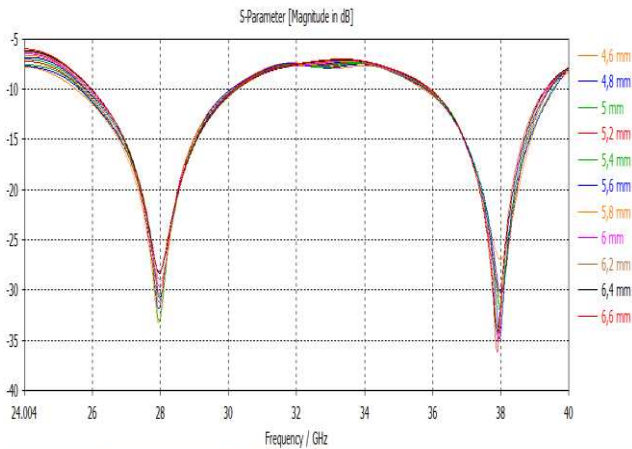


Gambar 4.1 Geometri Rancangan Akhir Antena *Planar Array* 6 Elemen

Tabel 4.1 Dimensi Rancangan Akhir Antena 6 Elemen

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang Substrat (l_s)	35
Lebar Substrat (w_s)	25
Panjang <i>Patch</i> (l_p)	1,55
Lebar <i>Patch</i> (w_p)	5,44
Jarak Antar Elemen (d_1)	8,15
Lebar Pencatu 50Ω ($w_1=w_2=w_3$)	2,22
Panjang Pencatu 50Ω (l_1 ; l_2 ; l_3)	5
Lebar Pencatu 100Ω ($w_4=w_5$)	1,58
Panjang Pencatu 100Ω (l_4 ; l_5)	5,6
Y_1	16
X_1	14
Y_2	7,8
X_2	8,6
Y_3	1,1

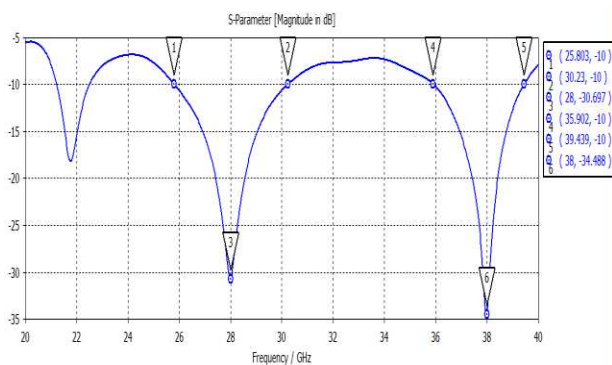
4.1.1 Karakterisasi Antena 6 Elemen



Gambar 4.2 Return Loss Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu pada Antena 6 Elemen

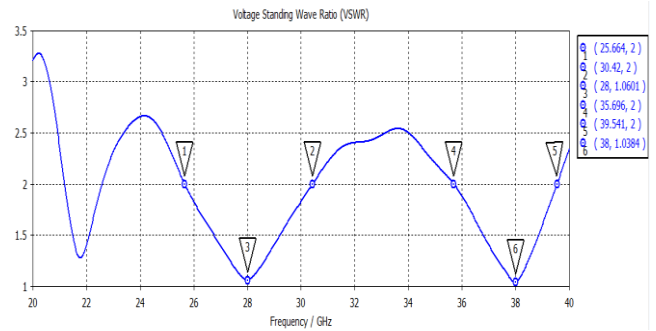
Dari beberapa panjang saluran pencatu tersebut, dipilihlah panjang pencatu yang memiliki nilai *return loss* paling rendah pada kedua frekuensi tersebut (28 dan 38 GHz) yaitu pada panjang pencatu 5,6 mm yang memiliki nilai *return loss* -30,70 dB dan -34,49 dB dan memiliki frekuensi tengah yang diinginkan, yaitu 28 dan 38 GHz.

4.1.2 Hasil Simulasi Antena 6 Elemen



Gambar 4.3 Hasil Simulasi Return Loss 6 Elemen (*Microstrip Line*)

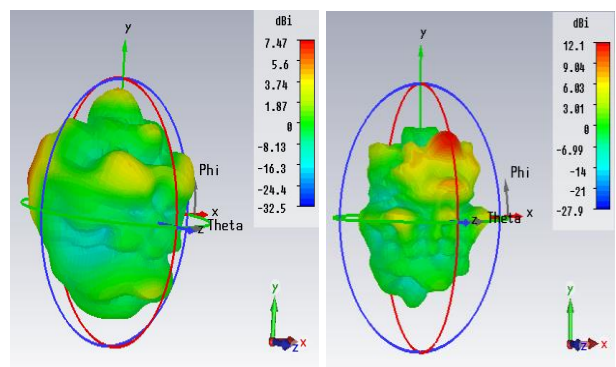
Dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 28 GHz dan 38 GHz masing-masing adalah -30,70 dB dan -34,49 dB. Sedangkan pada gambar 4.14 merupakan grafik frekuensi (sumbu *x*) versus VSWR (sumbu *y*) untuk antena 6 elemen menggunakan teknik DGS segitiga dengan pencatuan *microstrip line*.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi VSWR 6 Elemen

Dapat dilihat bahwa nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 28 GHz dan 38 GHz masing-masing adalah 1,060 dan 1,038. Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 25,66-30,42 GHz dan 35,69-39,54 GHz rancangan antena *planar* 6 elemen mampu bekerja pada nilai VSWR $\leq 1,9$. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai VSWR $\leq 1,9$ atau *return Loss* ≤ -10 dB.

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat diperoleh *impedance bandwidth* pada antena 6 elemen. 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 25,66 GHz sampai dengan 30,42 GHz dan pada rentang 35,69 GHz sampai dengan 39,54 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* di bawah -13,98 dB (VSWR $\leq 1,5$) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 26,75 GHz sampai dengan 29,2 GHz dan pada rentang 36,79 GHz sampai dengan 38,85 GHz.



a. Frekuensi 28 GHz b. Frekuensi 38 GHz

Gambar 4.5 Hasil Simulasi Gain Antena 6 Elemen (*Microstrip Line*)

Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa nilai *gain* yang didapatkan dari hasil simulasi setelah proses optimasi adalah sebesar 7,47 dBi untuk frekuensi 28 GHz dan 12,1 dBi untuk frekuensi 38 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

Berdasarkan hasil perancangan dan proses simulasi antenna diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Antena mikrostrip *patch* persegi panjang *planar array* 6 elemen menggunakan teknik DGS (*Defected Ground Structure*) dengan pencatutan *microstrip line* yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 5G yang ditargetkan yaitu 28 dan 38 GHz dengan *return loss* sebesar -30,69 dB pada frekuensi 28 GHz dan -34,49 dB pada frekuensi 38 GHz.
2. Antena mikrostrip *patch* persegi panjang *planar array* 6 elemen menggunakan teknik DGS (*Defected Ground Structure*) dengan pencatutan *microstrip line* memiliki nilai *impedance bandwidth* pada VSWR $\leq 1,9$ sebesar 4,76 GHz (17 %) untuk frekuensi 28 GHz dan 3,85 GHz (10,13 %) untuk frekuensi 38 GHz. Sedangkan pada VSWR $\leq 1,5$ memiliki *impedance bandwidth* sebesar 2,45 GHz (8,75 %) untuk frekuensi 28 GHz dan 2,06 GHz (5,42 %) untuk frekuensi 38 GHz. Dengan demikian, antenna telah memenuhi kebutuhan bandwidth yang ditargetkan yaitu pada bandwidth ≥ 500 MHz.
3. *Gain* antenna mikrostrip *patch* persegi panjang *planar array* 6 elemen menggunakan teknik DGS (*Defected Ground Structure*) dengan pencatutan *microstrip line* yang didapat

berdasarkan hasil simulasi mencapai nilai maksimum sebesar 12,11 dBi pada frekuensi 38 GHz. *Gain* ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu *gain* ≥ 12 dBi.

4. Penggunaan teknik DGS berfungsi untuk menekan efek mutual coupling yang timbul pada antenna mikrostrip *array*. Teknik DGS dilakukan dengan cara menghilangkan (*etch*) sebagian bidang ground, dimana teknik DGS yang digunakan berbentuk segitiga.
5. Pada penelitian ini menunjukkan hasil yang optimal sesuai dengan parameter antenna 5G yang ditargetkan, baik pada nilai *return loss*, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* antenna. Pada penelitian ini juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian terkait.

5.2 Saran

Adapun saran yang ingin disampaikan pada penelitian selanjutnya yang ingin meneruskan penelitian ini adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan karakterisasi antenna mikrostrip yang lebih bervariasi sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi seperti dimensi substrat pada antenna dengan pencatutan *microstrip line*.
2. Melakukan analisa perbandingan antenna yang menggunakan teknik pencatutan *microstrip line* dengan teknik pencatutan yang lainnya seperti *coaxial*, *electromagnetically coupled* dan *aperture coupled*.
3. Melakukan analisa perbandingan antenna yang menggunakan substrat duroid ($\epsilon_r = 2,2$) dengan menggunakan jenis substrat yang lain seperti FR-4 ($\epsilon_r = 4,4$).
4. Merealisasikan atau melakukan fabrikasi terhadap antenna yang telah disimulasikan dan melakukan perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi antenna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. M. M, Haraz, O. M, Alshebeili, S, Sebak, A. R. 2016. Broadband Printed Slot Antenna for the Fifth Generation (5G) Mobile and Wireless Communications.
- 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.
- Gampala, G, Reddy, C. J. 2016. Design of Milimeter Wave Antenna Arrays for 5G Cellular Applications using FEKO.
- Gusman, R. A. 2014. Simulasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang Plannar 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.
- Haraz, O. M, Ali, M. M. M, Alshebeili, S, Sebak, A. R. 2015. Design of a 28/38 GHz Dual-Band Printed Slot Antenna for the Future 5G Mobile Communication Networks. 32nd National Radio Science Conference NRSC 2015, 6th of October city, Egypt.
- Haraz, O. M, Ali, M. M. M, Elboushi, A, Sebak, A. R. 2015. Four-Element Dual-Band Printed Slot Antenna Array for the Future 5G Mobile Communication Networks.
- Kathuria, N, Vashisht, S. 2016. Dual-Band Printed Slot Antenna for the 5G Wireless Communication Network.
- Outerelo, D. A, Alejos, A. V, Sanchez, M. G, Isasa, M. V. 2015. Microstrip Antenna for 5G Broadband Communications: Overview of Design Issues. National Radio Science Meeting.
- 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.
- Yuniati, M. 2015. Design dan Realisasi Antena Mikrostrip Rektangular 2 Array untuk Aplikasi WiFi. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom, Indonesia.