

ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP ARRAY BENTUK LINGKARAN DAN PERSEGI PANJANG MENGGUNAKAN SIMULASI UNTUK APLIKASI LTE FREKUENSI 2.3 GHZ

Rio Juli Hendra*, Yusnita Rahayu**, Ery Safrianti**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau ** Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Telepon : (0761) 66595, Fax. 66595, *website* : <http://ee.ft.unri.ac.id>

E-mail : riojulihendra@gmail.com

ABSTRACT

Technology Long Term Evolution (LTE) has a high-speed data transfer, large range of access and mobility. Long Term Evolution (LTE) antenna requires small dimensions and integrates easily. Therefore, microstrip antenna is a good candidate for this application. This paper discusses the design of a single antenna element and a fourth element circular and rectangular patch, microstrip patch antenna which can be used for LTE applications in the 2.3 GHz (2.3 to 2.36 GHz). Microstrip antenna designed using microstrip line technique. Design and simulation of microstrip antenna requires Ansoft HFSS paragraph 13. The simulation results show that the antenna can operate at frequencies from 2.3 to 2.36 GHz. Impedance bandwidth of 163 MHz value (2.252 to 2.415 GHz) or 6.9% at $VSWR \leq 1.9$ and gain is 4,704 dBi.

Keywords : Long Term Evolution (LTE), Planar Array, Microstrip Line, VSWR and Gain

PENDAHULUAN

Teknologi 3G dikembangkan menjadi teknologi 4G yang ada saat ini seperti Wi-Fi dan WiMax, jauh lebih cepat dengan kemampuan mentransfer data hingga 100 megabit per detik. Kemudian teknologi tersebut dikenal dengan istilah ekosistem frekuensi kanal 4G atau *Long Term Evolution* (LTE) yang sudah banyak dipakai di negara luar.

Frekuensi yang di pakai untuk LTE di Indonesia adalah 2.3 GHz, di mana pada frekuensi tersebut terdapat *bandwidth* 60MHz. Hal ini di perkuat dengan *white draft* tentang penguasaan frekuensi 2300-2360 MHz untuk layanan pita lebar nirkabel (*Wireless Broadband*) yang di keluarkan oleh M.Kominfo. (M.KOMINFO, 2009). Teknologi terbaru seperti LTE tentu harus

menggunakan perangkat yang baru, selain kecepatan yang berbeda, frekuensi yang dipakai juga tentunya harus disesuaikan. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena yang dapat dipakai dalam LTE. Literatur yang dijadikan acuan dalam penelitian ini, yaitu tesis yang berjudul “Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Dual Band Patch Persegi untuk Aplikasi *Long Term Evolution* (LTE)” (Makmur, 2013), dan “Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip Array Bentuk Segiempat dengan *Defected Ground Structure* (DGS) untuk Aplikasi *Long Term Evolution* (LTE)” (Ridwan, 2012). Pada penelitian ini, akan dilakukan perancangan antena mikrostrip *patch* lingkaran yang dapat diaplikasikan pada *Long Term Evolution* (LTE). Perancangan antena ini menggunakan software simulator *Ansoft Designer HFSS v13.0*. Penelitian ini akan menghasilkan keuntungan dibandingkan dengan

patch yang lainnya. Antena mikrostrip dengan patch lingkaran ini akan lebih mudah dimodifikasi untuk menghasilkan jarak nilai impedansi, pola radiasi, dan frekuensi kerja.

Pada skripsi ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip patch lingkaran yang dapat diaplikasikan untuk LTE yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan software Ansoft HFSS 13.0. Untuk mendapatkan bandwidth yang lebar (60 MHz), rancangan ini menggunakan teknik pencatutan *microstrip line* dan terdiri dari 4 elemen yang disusun secara planar untuk memperoleh pola radiasi *directional* dengan gain ≥ 6 dB.

Antena Mikrostrip Patch Lingkaran

Patch berbentuk lingkaran merupakan bentuk yang paling umum digunakan dan mudah untuk dianalisa (Kurniawan, 2010). Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk lingkaran :

1. Perencanaan dimensi antena

Dalam penelitian ini bentuk patch antena mikrostrip yang akan dibangun adalah lingkaran, yang mana radii ditentukan oleh persamaan (1) berikut:

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{2h} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

Keterangan

a = dimenen radius *circular* (cm)

h = Ketebalan substrat (mm)

f = Fungsi logaritmik elemen peradiasi

ϵ_r = Konstanta dielektrik substrat (F/m)

Sedangkan fungsi logaritmik dari elemen perediiasi di tentukan dengan persamaan (2) :

$$F = \frac{8.789 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Dengan:

f_r = frekuensi resonansi (Mhz)

ϵ_r = Konstanta dielektrik substrat (F/m)

Beberapa bentuk disain yang melengkapi struktur antena mikrostrip berupa saluran transmisi saluran penyesuai impedansi, jarak antar elemen peradiasi, panjang gelombang pada saluran

transmisi mikrostrip (λ_d), mengacu pada sumber-sumber klasik (Kurniawan, 2010).

Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang

1. Perhitungan lebar patch (W)

Lebar patch dihitung dengan persamaan:

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (3)$$

Keterangan

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_r = Frekuensi kerja antena

ϵ_r = Konstanta dielektrik substrat

sedangkan untuk menentukan panjang *partch* (l) diperlukan parameter Δl yang merupakan pertambahan panjang dari l akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari l (Δl) tersebut di rumuskan dengan (Wijaya, 2009):

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

(4)

Dimana h merupakan tinggi substrat dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai (Wijaya, 2009):

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 0,3}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (5)$$

Dimana dengan panjang parch (1) diberikan oleh:

$$L = L_{reff} - 2\Delta L \quad (6)$$

Teknik Pencatutan *Microstrip line*

Pemilihan pencatu *Microstrip Line* adalah karena kemudahan dalam hal fabrikasi dan

penentuan *matching* dari saluran mikrostrip dapat dengan mudah dilakukan. Pencatuan *Microstrip Line* memiliki dimensi berupa panjang dan lebar yang bergantung pada nilai impedansi saluran yang diinginkan.

Lebar saluran mikrostrip dihitung menggunakan persamaan (Rahmadyanto, 2009):

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + \frac{0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}}{0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}} \right] \right\} \quad (7)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$B = \frac{60\epsilon_r^2}{Z_o \sqrt{\epsilon_r}} \quad (8)$$

Sedangkan untuk menghitung panjang saluran mikrostrip dihitung menggunakan persamaan :

$$L = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (9)$$

METODE PENELITIAN

Menentukan Karakteristik Antena

Berdasarkan keputusan Dirjen Postel tentang spesifikasi minimum Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi antenna *Subscriber BWA LTE*, maka diharapkan antenna hasil rancangan memenuhi beberapa parameter elektrik yang meliputi: Frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3-2,36 GHz), (M.KOMINFO, 2009), Impedansi terminal 50 Ω koaksial, Konektor SMA, *Bandwidth* 60 MHz, *VSWR* $\leq 1,9$ dan *Gain* ≥ 6 dBi.

Menentukan Jenis Subtrat yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan substrat FR4 (*Epoxy*) dengan ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Subtrat yang digunakan

Jenis Subtrat	FR4 (<i>Epoxy</i>)
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
<i>Dielectric Loss Tangent</i> ($\tan \delta$)	0,02
Ketebalan Subtrat	1,6 mm

Antena Mikrostrip Patch Lingkaran Planar Array 4 Elemen

Perancangan antenna terdiri dari dua tahapan, yaitu desain manual dan simulasi antenna. Tahapan pertama adalah desain manual, yaitu perhitungan ukuran antenna meliputi *patch* antenna, *slot aperture*, lebar saluran pencatu 50 Ω dan *T-Junction*. Perhitungan *patch* dengan menggunakan persamaan (1) sampai (2). Dari hasil perhitungan diperoleh dimensi radius 19 mm. Jarak antar elemen antenna dirancang dalam penelitian ini sekitar setengah dari panjang gelombang ($d = \lambda / 2$) [Rambe, 2008].

$$d = \frac{c}{2F} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,33 \times 10^9} = 64,37 \text{ mm} \quad (10)$$

Pada perancangan antenna 4 elemen ini diharapkan diperoleh *magnitude* ≥ 6 dB. Peningkatan *magnitude* tersebut mengindikasikan adanya peningkatan *gain* dari antenna.

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 (11) dan (12) [Rahmadyanto, 2009]:

$$B = \frac{60 \times 4,4^2}{70,71 \times \sqrt{4,4}} = 3,98 \quad (11)$$

$$W = \frac{2 \times 1,6}{3,14} \left\{ x + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \left[\ln \left(3,98 - 1 + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right) \right] \right\} = 1,6 \text{ mm} \quad (12)$$

Dari hasil perhitungan diperoleh lebar pencatu 50 Ω adalah 3,06 mm. Sementara panjang awal dari panjang pencatu (l_f) sebesar 15 mm.

Rancangan antenna ini menggunakan *T-junction* yang berfungsi sebagai *Power Divider*. *T-junction* digunakan memiliki impedansi 70,71 Ω dan 86,6 Ω . Untuk mendapatkan lebar pencatu dari 70,71 Ω dihitung dengan menggunakan persamaan (13) dan (14) [Rahmadyanto, 2009]:

Untuk menghitung panjang saluran pencatu 70,71 Ω sesuai dengan persamaan (2.20).

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{89,55}{\sqrt{3,17}} = 50,29 \quad (13)$$

Dimana ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{3,14} \times \left\{ \frac{3,98 - 1 - \ln((2 \times 3,98) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x}{\left[\ln \left(3,98 - 1 + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right) \right]} \right\} = 0,997 \quad (14)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1}{0,997} \right)}} \right) = 3,17 \quad (15)$$

Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω adalah

$$l = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{50,29}{4} = 12,57 \text{ mm} \quad (16)$$

Dari perhitungan di atas diperoleh lebar dan panjang saluran pencatu 70,71 Ω masing-masing sebesar 1,6 mm dan 12,57 mm. Selain impedansi 70,71 Ω , perancangan juga dilakukan untuk impedansi 86,6 Ω , yaitu impedansi untuk 3 titik pencabangan. Dengan perhitungan yang sama, diperoleh lebar dan panjang saluran pencatu 86,6 Ω masing-masing sebesar 0,98 mm dan 12,77 mm.

Simulasi Antena Mikrostrip

Setelah dilakukannya desain manual antena, maka tahap selanjutnya adalah simulasi antena menggunakan perangkat lunak Ansoft HFSS 13.0. Apabila setelah dilakukan *report* hasil yang didapat tidak memenuhi dari spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan pengkarakterisasian antena untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Karakterisasi Antena Mikrostrip

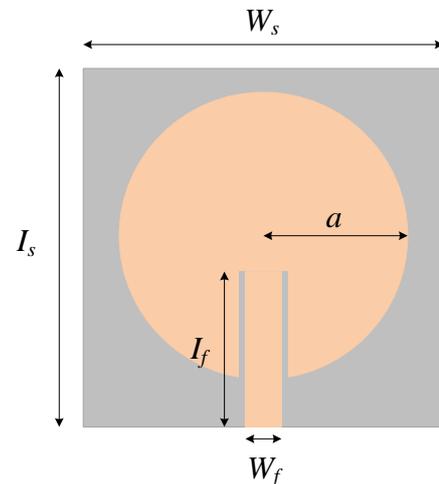
Secara teori umum, untuk menggeser frekuensi kerja dari antena yang diinginkan adalah dengan memperbesar atau memperkecil dimensi *patch* antena. Akan tetapi pada rancangan ini,

parameter yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan, yaitu panjang saluran pencatu dan dimensi *patch*. Dengan demikian untuk memudahkan rancangan antena, maka parameter yang digunakan pada pengkarakterisasian ini hanya berupa perubahan panjang saluran pencatu dan dimensi *patch*.

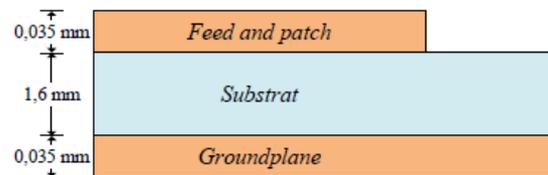
HASIL DAN PEMBAHASAN

Antena Mikrostrip Patch Lingkaran Elemen Tunggal

Gambar 2 adalah geometri beserta dimensi rancangan antena mikrostrip *patch* lingkaran *planar array* 4 elemen



(a) Tampilan atas



(b) Tampilan samping

Gambar 1 Geometri Rancangan Akhir Antena Elemen Tunggal Patch Lingkaran

Tabel 2 Dimensi Rancangan Akhir Antena Elemen Tunggal Patch Lingkaran

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang substrat (l_s)	43
Lebar substrat (w_s)	45
Radius substrat (α)	18.8
Panjang pencatu (l_f)	15,7
Lebar pencatu (w_f)	3,06

Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu

Tabel 3 Return Loss dan VSWR Karakterisasi Dimensi Radius pada Antena Elemen Tunggal Patch Lingkaran

Dimensi Radius Patch (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek
19	15	1.176	-21.828	2.320
19	15.1	1.187	-25.880	2.320
19	15.2	1.162	-22.483	2.320
19	15.3	1.040	-23.684	2.310
19	15.4	1.098	-26.551	2.310
19	15.5	1.094	-26.879	2.310
19	15.6	1.107	-25.871	2.310
19	15.7	1.042	-33.358	2.330
19	15.8	1.049	-33.463	2.300
19	15.9	1.048	-33.495	2.300
19	16	1.043	-33.565	2.300

Tabel 2 terdiri atas beberapa grafik *return loss* dimana masing-masing grafik memiliki nilai *return loss* yang berbeda. Variasi panjang saluran pencatu yang dibuat adalah mulai dari 15 mm hingga 16 mm dengan kenaikan 0,1 mm dan parameter yang tetap adalah dimensi radius *patch* (19 mm). Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa nilai *return loss* terbaik diperoleh pada panjang pencatu 15,7 mm dan memiliki frekuensi tengah di 2,31 GHz dengan *return loss* sebesar -33,586 dB.

Karakterisasi Dimensi Radius patch Lingkaran

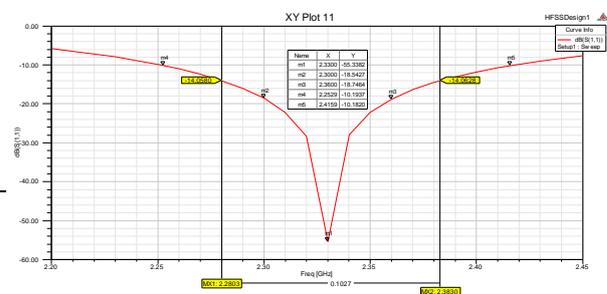
Tabel 4 Karakterisasi Dimensi Radius Patch Lingkaran pada Antena Elemen Tunggal

Dimensi Radius Patch	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek
----------------------	----------------------	------	-------------	------

(mm)				
19	15.7	1.042	-33.586	2.310
18.9	15.7	1.062	-30.375	2.320
18.8	15.7	1.003	-55.033	2.330
18.7	15.7	1.043	-33.364	2.350
18.6	15.7	1.044	-33.375	2.360
18.5	15.7	1.044	-33.240	2.370
18.4	15.7	1.057	-31.072	2.390
18.3	15.7	1.030	-36.509	2.400
18.2	15.7	1.067	-29.701	2.420
18.1	15.7	1.071	-29.218	2.440
18	15.7	1.076	-28.697	2.450

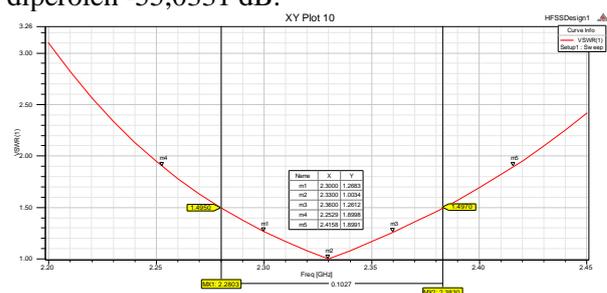
Pada radius *patch* lingkaran 18,8 mm, memiliki *return loss* sebesar -55,033 dB pada frekuensi 2,33 GHz yang merupakan frekuensi tengah yang diinginkan pada sistem LTE. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa antena elemen tunggal dengan panjang saluran pencatu 15,7 mm dan radius *patch* lingkaran 18,8 mm sudah bekerja pada frekuensi 2,300-2,360 MHz dengan frekuensi tengah 2,33 GHz.

Hasil Simulasi Antena Elemen Tunggal



Gambar 2 Hasil Simulasi Return Loss Elemen Tunggal Patch Lingkaran

Dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah -18,5381 dB dan -18,7412 dB dan pada frekuensi tengahnya (2,33) GHz diperoleh -55,0331 dB.

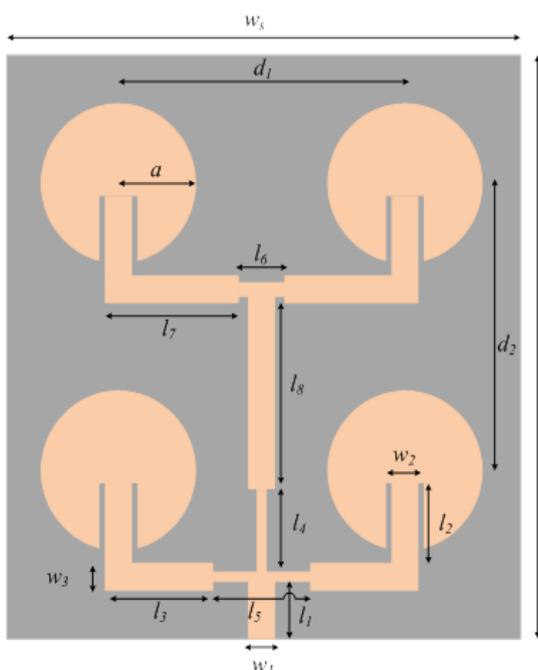


Gambar 3 merupakan grafik frekuensi (sumbu x) versus VSWR (sumbu y) untuk antenna elemen tunggal dengan *Patch* Lingkaran

Gambar 3 Hasil Simulasi VSWR Elemen Tunggal dengan *Patch* Lingkaran Dapat dilihat bahwa nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah 1,2683 dan 1,2612. Pada frekuensi tengahnya (2,33 GHz) nilai VSWR yang diperoleh mencapai 1,0035. Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2,300-2,360 MHz, rancangan antenna elemen tunggal mampu bekerja pada nilai VSWR $\leq 1,5$. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai VSWR $\leq 1,9$ atau *return Loss* $\leq -10,18$ dB.

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat diperoleh *impedance bandwidth* pada antenna elemen tunggal. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* di bawah -10,18 dB (VSWR $\leq 1,9$) *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 2,252 GHz sampai dengan 2,415 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* di bawah -14,056 dB (VSWR $\leq 1,5$) *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 2,280 GHz sampai dengan 2,383 GHz.

Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran



Gambar 4 Geometri Rancangan Akhir Antena *Planar Array* 4 Elemen dengan *Patch* Lingkaran

Antena mikrostrip *patch* lingkaran 4 elemen terdiri atas 4 elemen peradiasi dengan ukuran yang sama. Jarak antar elemen pada antenna yang dirancang adalah 64,37 mm. Pada rancangan antenna ini terdiri atas 1 buah *T-junction* yang memiliki impedansi 70,71 dan 1 buah *T-Junction* yang berimpedansi 86,6.

Tabel 5 Dimensi Rancangan Akhir Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang substrat (l_s)	130
Lebar substrat (w_s)	120
Radius substrat (α)	18.8
Panjang pencatu 50 Ω (l_2)	15,7
Lebar pencatu 50 Ω (w_1, w_2, w_3)	3,06
Jarak Antar Elemen (d_1, d_2)	64,37
Lebar Pencatu 86,6 Ω (w_5)	0,98
Panjang pencatu 86.6 Ω (l_4, l_5)	12,77
Lebar Pencatu 70,71 Ω	1,6
Panjang pencatu 70.71 Ω (l_6)	12,57

Karakterisasi Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran

Karakterisasi Dimensi Radius *Patch* Lingkaran

Tabel 6 *Return Loss* dan VSWR Karakterisasi Dimensi Radius pada Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran

Dimensi Radius <i>Patch</i> (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek

18	14.5	1.166	-22.311	2.410
18.1	14.5	1.171	-22.048	2.400
18.2	14.5	1.126	-24.529	2.390
18.3	14.5	1.333	-16.889	2.260
18.4	14.5	1.089	-27.369	2.370
18.5	14.5	1.082	-28.044	2.350
18.6	14.5	1.080	-28.211	2.350
18.7	14.5	1.297	-24.308	2.330
18.8	14.5	1.095	-26.858	2.320
18.9	14.5	1.070	-29.396	2.310
19	14.5	1.087	-27.553	2.290

Tabel 6 dapat dilihat bahwa frekuensi tengah, yaitu pada frekuensi 2,33 GHz dengan panjang pencatu 15,7 mm, memiliki *return loss* sebesar -24,308 dB dan VSWR 1,297, dari tabel dapat di simpulkan bahwa dimensi lingkaran yang sesuai dengan frekuensi tengah yg kita inginkan adalah 18,7 mm dan panjang saluran pencatu 15,7 mm.

Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu

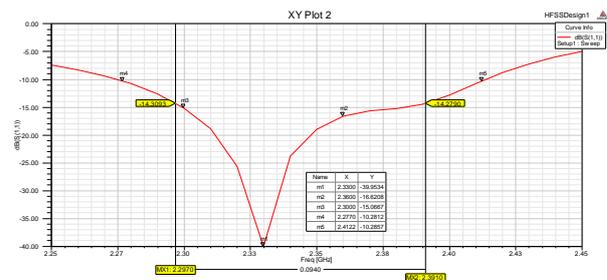
Tabel 7 *Return Loss* dan VSWR Karakterisasi Panjang Pencatu pada Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran

Dimensi Radius <i>Patch</i> (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek
18.7	14	1.170	-22.116	2.330
18.7	14.1	1.140	-23.651	2.340
18.7	14.2	1.103	-26.163	2.340
18.7	14.3	1.146	-23.298	2.340
18.7	14.4	1.107	-25.721	2.340
18.7	14.5	1.129	-24.308	2.330
18.7	14.6	1.060	-30.697	2.330
18.7	14.7	1.142	-23.525	2.340
18.7	14.8	1.024	-38.520	2.320
18.7	14.9	1.020	-39.953	2.330
18.7	15	1.089	-27.394	2.330

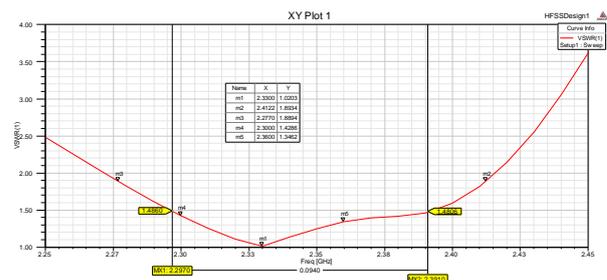
Variasi panjang saluran pencatu yang dibuat adalah mulai dari 15 mm hingga 16 mm dengan kenaikan 0,1 mm dan parameter yang tetap adalah

dimensi radius *patch* (18,8 mm). Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa nilai *return loss* terbaik diperoleh pada panjang pencatu 15,7 mm dan memiliki frekuensi tengah di 2,33 GHz dengan *return loss* sebesar -39,953 dB.

Hasil Simulasi Antena 4 Elemen



Gambar 5 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran



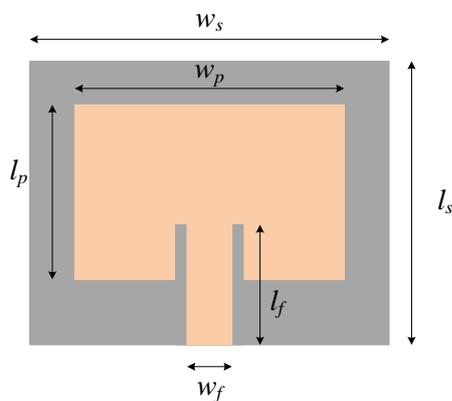
Gambar 6 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran

Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antena 4 elemen dengan *Patch* Lingkaran. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* di bawah -10,28 dB ($VSWR \leq 1,9$) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 2,277 GHz sampai dengan 2,412 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* di bawah -1486 dB ($VSWR \leq 1,5$) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 2,297 GHz sampai dengan 2,391 GHz. Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing- masing adalah -15,066 dB dan -16,620 dB dan pada frekuensi tengahnya (2,33) GHz diperoleh -39,953 dB.

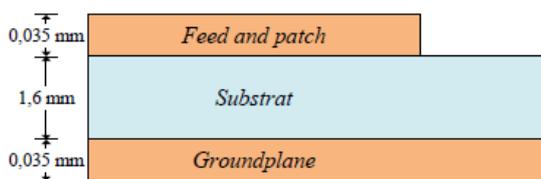
Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah 1,4286 dan 1,3462. Pada frekuensi tengahnya nilai VSWR yang diperoleh mencapai 1,0203.

Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2,3 - 2,36 GHz, rancangan antenna 4 elemen dengan *patch* lingkaran mampu bekerja pada nilai VSWR $\leq 1,5$. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai VSWR $\leq 1,9$ atau *return Loss* $\leq -10,28$ dB.

Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang Elemen Tunggal



(a) Tampilan atas



(b) Tampilan samping

Gambar 7 Geometri Rancangan Akhir Antena Elemen Tunggal dengan Patch Persegi Panjang

Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang Elemen Tunggal

Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu

Tabel 8 *Return Loss* dan VSWR Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu pada Antena Elemen Tunggal Patch Persegi Panjang

Dimensi Panjang Patch (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek
39,179 x 30	15	1.288	-17.982	2.35
39,179 x 30	14.9	1.170	-22.102	2.36
39,179 x 30	14.8	1.206	-20.594	2.35
39,179 x 30	14.7	1.161	-22.511	2.36
39,179 x 30	14.6	1.086	-27.643	2.37
39,179 x 30	14.5	1.143	-22.349	2.36
39,179 x 30	14.4	1.136	-23.874	2.35
39,179 x 30	14.3	1.119	-24.480	2.35
39,179 x 30	14.2	1.058	-30.973	2.37
39,179 x 30	14.1	1.063	-30.259	2.38
39,179 x 30	14	1.012	-43.909	2.38
39,179 x 30	13.9	1.035	-35.095	2.37
39,179 x 30	13.8	1.037	-34.800	2.38
39,179 x 30	13.7	1.041	-33.906	2.38
39,179 x 30	13.6	1.029	-36.726	2.38
39,179 x 30	13.5	1.066	-29.899	2.38

Tabel 8 terdiri atas beberapa grafik *return loss* dimana masing-masing grafik memiliki nilai *return loss* yang berbeda. Variasi panjang saluran pencatu yang dibuat adalah mulai dari 15 mm hingga 13.5 mm dengan penurunan 0,1 mm dan parameter yang tetap adalah panjang *patch* (39,179x30 mm). Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa nilai *return loss* terbaik diperoleh pada panjang pencatu 14 mm dan memiliki frekuensi tengah di 2,38 GHz dengan *return loss* sebesar -49,9097 dB.

Karakterisasi Panjang Patch

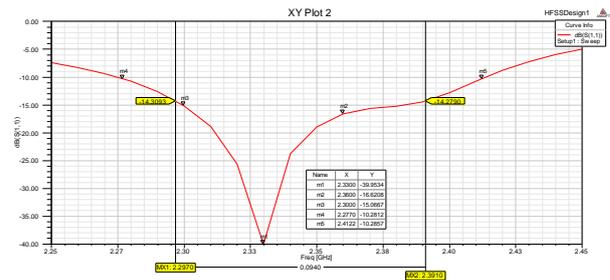
Tabel 9 Return Loss dan VSWR Karakterisasi Panjang Pencatu pada Antena 4 Elemen dengan Patch Persegi Panjang

Dimensi Panjang Patch (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Return Loss	Frek
39,179 x 30	14	1.012	-43.909	2.380
39,179 x 30.1	14	1.048	-32.588	2.360
39,179 x 30.2	14	1.051	-31.986	2.360
39,179 x 30.3	14	1.059	-30.820	2.360
39,179 x 30.4	14	1.025	-37.885	2.350
39,179 x 30.5	14	1.039	-34.173	2.350
39,179 x 30.6	14	1.060	-30.694	2.340
39,179 x 30.7	14	1.067	-29.715	2.330
39,179 x 30.8	14	1.165	-22.350	2.310
39,179 x 30.9	14	1.061	-30.551	2.310
39,179 x 31	14	1.058	-30.893	2.310

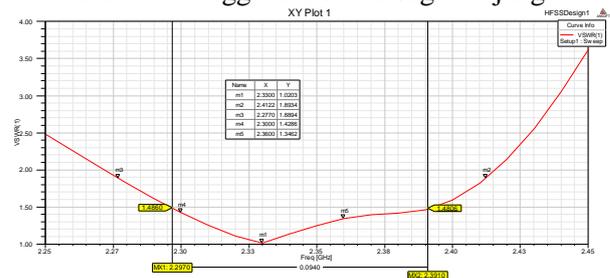
Pada panjang patch ($39,179 \times 30,7$ mm), memiliki return loss sebesar -29,715 dB pada frekuensi 2,33 GHz yang merupakan frekuensi tengah yang diinginkan pada sistem LTE. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa antena elemen tunggal dengan panjang saluran pencatu 14 mm dan panjang patch $39,179 \times 30,7$ mm sudah bekerja pada frekuensi 2,300-2,360 MHz dengan frekuensi tengah 2,33 GHz.

Hasil Karakterisasi Antena Elemen Tunggal

Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan karakterisasi terhadap radius patch lingkaran dan panjang saluran pencatu.



Gambar 8 Hasil Simulasi Return Loss Antena Elemen Tunggal Patch Persegi Panjang



Gambar 9 Hasil Simulasi VSWR Antena Elemen Tunggal Patch Persegi Panjang

Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai return loss di bawah -10,28 dB ($VSWR \leq 1,9$) impedance bandwidth antena berada pada rentang 2,277 GHz sampai dengan 2,412 GHz. Sedangkan pada nilai return loss di bawah -1486 dB ($VSWR \leq 1,5$) impedance bandwidth antena berada pada rentang 2,297 GHz sampai dengan 2,391 GHz. Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa nilai return loss yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah -15,066 dB dan -16,620 dB dan pada frekuensi tengahnya (2,33) GHz diperoleh -39,953 dB.

Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah 1,4286 dan 1,3462. Pada frekuensi tengahnya nilai VSWR yang diperoleh mencapai 1,0203.

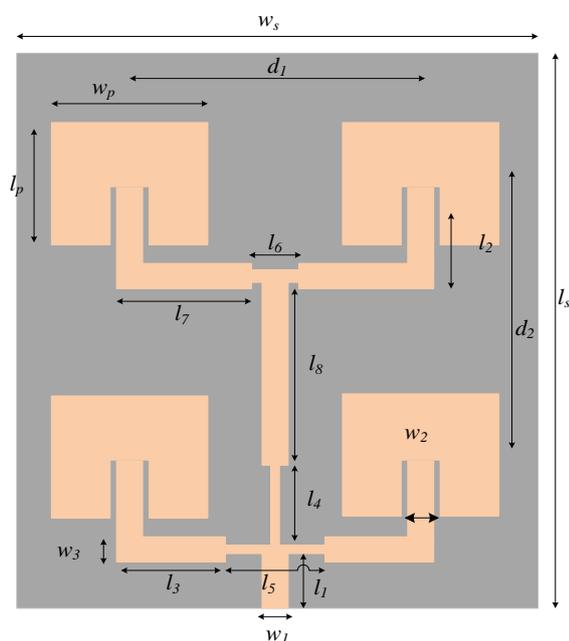
Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2,3 - 2,36 GHz, rancangan antena 4 elemen dengan patch lingkaran mampu bekerja pada nilai $VSWR \leq 1,5$. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai $VSWR \leq 1,9$ atau return Loss $\leq -10,28$ dB.

Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai return loss di bawah -10,28 dB ($VSWR \leq 1,9$) impedance bandwidth antena berada pada rentang 2,277 GHz sampai dengan 2,412 GHz. Sedangkan pada nilai return loss di bawah -1486 dB ($VSWR \leq 1,5$) impedance bandwidth antena

berada pada rentang 2,297 GHz sampai dengan 2,391 GHz. Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing- masing adalah -15,066 dB dan -16,620 dB dan pada frekuensi tengahnya (2,33) GHz diperoleh -39,953 dB.

Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang

Karakterisasi Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang



Gambar 10 Geometri Rancangan Akhir Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang

Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang terdiri atas 4 elemen peradiasi dengan ukuran yang sama. Jarak antar elemen pada antenna yang dirancang adalah 64,37 mm. Pada rancangan antenna ini terdiri atas 1 buah *Tjunction* yang memiliki impedansi 70,71 dan 1 buah *T-Junction* yang berimpedansi 86,6.

Tabel 8 Dimensi Rancangan Akhir Antena 4 Elemen dengan Pencatuan *Microstrip Line*

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang substrat (l_s)	130

Lebar substrat (w_s)	120
Panjang Partch (l_p)	30
Lebar Partch (w_p)	39
Panjang pencatu 50 Ω (l_2)	15,7
Lebar pencatu 50 Ω (w_2)	3,06
Jarak Antar Elemen (d_1, d_2)	64,37
Lebar Pencatu 86,6 Ω (w_1)	0,98
Panjang pencatu 86.6 Ω (l_4, l_5)	12,77
Lebar Pencatu 70,71 Ω	1,6
Panjang pencatu 70.71 Ω (l_6)	12,57

Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu

Tabel 9 *Return Loss* dan VSWR Karakterisasi Dimensi Radius pada Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang

Dimensi Patch Panjang (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Retuns Loss	Frek
39 x 30	15	1.586	-12.892	2.290
39 x 30	14.9	1.577	-12.991	2.320
39 x 30	14.8	1.503	-13.931	2.330
39 x 30	14.7	1.539	-13.451	2.400
39 x 30	14.6	1.534	-13.523	2.350
39 x 30	14.5	1.661	-12.092	2.200
39 x 30	14.4	1.584	-12.909	2.360
39 x 30	14.3	1.530	-13.565	2.340
39 x 30	14.2	1.566	-13.129	2.410
39 x 30	14.1	1.540	-13.497	2.440
39 x 30	14	1.179	-21.698	2.440

Tabel 9 dapat dilihat bahwa frekuensi tengah, yaitu pada frekuensi 2,33 GHz dengan panjang pencatu 14,8 mm, memiliki *return loss* sebesar -13,931 dB dan VSWR 1,503, dari tabel dapat di simpulkan bahwa panjang saluran pencatu yang sesuai dengan frekuensi tengah yang kita inginkan adalah 39 x 30 mm dan panjang saluran pencatu 14,8 mm.

Variasi panjang *patch* yang dibuat adalah mulai dari 30 mm hingga 31 mm dengan kenaikan 0,1 mm dan parameter yang tetap adalah panjang saluran pencatu (14.8 mm).

Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa nilai *return loss* terbaik diperoleh pada panjang *patch* 39 x 30 mm dan memiliki frekuensi tengah di 2,33 GHz dengan *return loss* sebesar -13,931 dB.

Karakterisasi Panjang Patch

Tabel 10 *Return Loss* dan *VSWR* Karakterisasi Panjang Pencatu pada Antena Mikrostrip Planar Array 4 Elemen Patch Persegi Panjang

Dimensi Panjang Patch (mm)	Panjang Pencatu (mm)	VSWR	Return Loss	Frek
39 x 30	14.8	1.503	-13.931	2.330
39 x 30.1	14.8	1.589	-12.858	2.240
39 x 30.2	14.8	1.386	-15.806	2.290
39 x 30.3	14.8	1.242	-19.322	2.490
39 x 30.4	14.8	1.352	-16.486	2.480
39 x 30.5	14.8	1.348	-16.774	2.260
39 x 30.6	14.8	1.486	-14.173	2.280
39 x 30.7	14.8	1.577	-12.989	2.380
39 x 30.8	14.8	1.220	-20.066	2.380
39 x 30.9	14.8	1.290	-13.497	2.420
39 x 31	14.8	1.106	-21.698	2.460

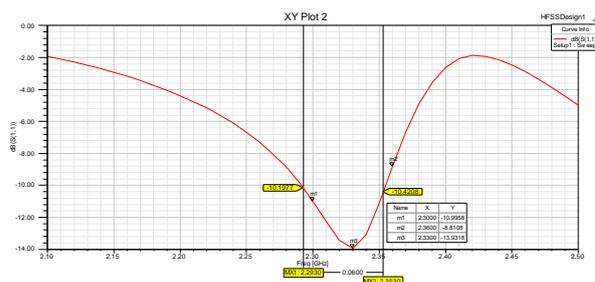
Tabel 10 terdiri atas setelah dilakukan karakterisasian tidak ada perubahan Variasi panjang *patch* yang dibuat adalah mulai dari 30 mm hingga 31 mm dengan kenaikan 0,1 mm dan parameter yang tetap adalah panjang saluran pencatu (14.8 mm).

Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa nilai *return loss* terbaik diperoleh pada panjang *patch* 39 x 30 mm dan memiliki frekuensi

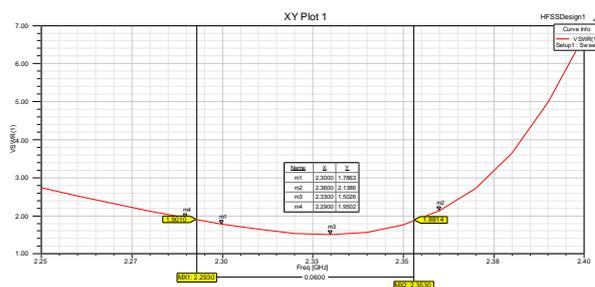
tengah di 2,33 GHz dengan *return loss* sebesar -13,931 dB.

Namun, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada panjang *patch* tidak ada perubahan maka simulasi kali ini sudah mencapai syarat-syarat antena seperti $VSWR \leq 1,9$ dan *return loss* kecil sama dengan -10 dB telah terpenuhi.

Hasil Simulasi Awal Antena 4 Elemen



Gambar 11 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Mikrostrip Planar Array 4 Elemen Patch Persegi Panjang



Gambar 12 Hasil Simulasi *VSWR* Antena Mikrostrip Planar Array 4 Elemen Patch Persegi Panjang

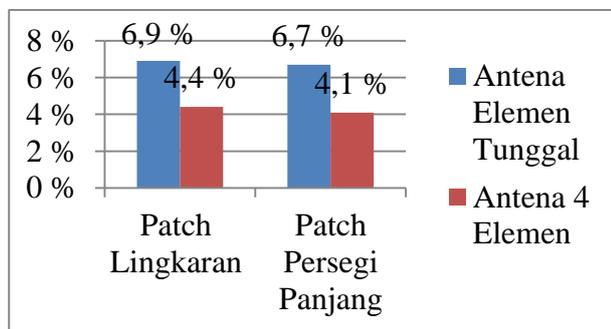
Gambar 11 dan Gambar 12 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antena 4 elemen dengan *patch* persegi panjang. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* di bawah -10,19 dB ($VSWR \leq 1,9$) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 2,293 GHz sampai dengan 2,353 GHz. Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing- masing adalah -10,19 dB dan -8,81 dB dan pada frekuensi tengahnya (2,33) GHz diperoleh -13,9318 dB.

Sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,36 GHz masing-masing adalah 1,785 dan 2,137. Pada frekuensi tengahnya nilai *VSWR* yang diperoleh mencapai 1,503.

Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai $VSWR \leq 1,9$ atau $return Loss \leq -10,19$ dB.

Peningkatan Bandwidth Antena

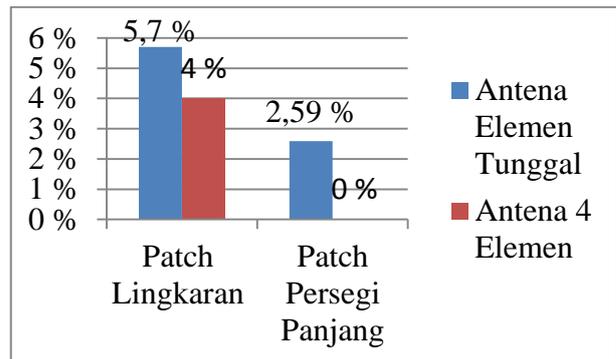
Gambar 13 merupakan grafik perbandingan *bandwidth* 2 antena lingkaran dan persegi panjang untuk $VSWR$ kecil sama dengan 1,9 ($VSWR \leq 1,9$). Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa antena elemen tunggal (warna biru) dan 4 elemen (warna merah) dengan desain antena *patch* lingkaran memiliki *bandwidth* yang lebih besar dari pada desain antena *patch* persegi panjang.



Gambar 13 Grafik Perbandingan *Bandwidth* Masing-Masing Antena untuk $VSWR \leq 1,9$

Antena elemen tunggal dan 4 elemen untuk antena *patch* persegi panjang memiliki *bandwidth* masing-masing sebesar 6,7 % dan 4,1 %, sedangkan antena elemen tunggal dan 4 elemen untuk antena *patch* lingkaran memiliki *bandwidth* masing-masing sebesar 6,9 % dan 4,4 %. Antena elemen tunggal untuk antena *patch* lingkaran menghasilkan peningkatan *bandwidth*, yaitu sebesar 0,2 %. Begitu juga dengan antena 4 elemen dengan antena *patch* lingkaran menghasilkan peningkatan *bandwidth*, yaitu sebesar 0,3 %.

Gambar 13 merupakan grafik perbandingan *bandwidth* antara antena *patch* lingkaran dengan antena *patch* persegi panjang untuk $VSWR$ kecil sama dengan 1,5 ($VSWR \leq 1,5$). Namun untuk desain antena persegi panjang 4 elemen tidak dapat dibandingkan karena $VSWR$ yang terbaik yaitu 1,503. Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa antena elemen tunggal (warna biru) dan 4 elemen (warna merah) dengan desain antena *patch* lingkaran memiliki *bandwidth* yang lebih besar dari pada desain antena *patch* persegi panjang.



Gambar 14 Grafik Perbandingan *Bandwidth* Masing-Masing Antena untuk $VSWR \leq 1,5$

Antena elemen tunggal dan 4 elemen untuk antena *patch* persegi panjang memiliki *bandwidth* masing-masing sebesar 2,59 % dan 0 %, sedangkan antena elemen tunggal dan 4 elemen untuk antena *patch* lingkaran memiliki *bandwidth* masing-masing sebesar 5,7 % dan 4 %. Antena elemen tunggal untuk antena *patch* lingkaran menghasilkan peningkatan *bandwidth*, yaitu sebesar 3,1 %. Begitu juga dengan antena 4 elemen dengan antena *patch* lingkaran menghasilkan peningkatan *bandwidth*, yaitu sebesar 4 %.

Dari Gambar 13 dan Gambar 14 dapat diamati bahwa desain antena elemen tunggal *patch* lingkaran dan *patch* persegi panjang memiliki *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan antena 4 elemen, hal ini disebabkan karena adanya efek *mutual coupling* yang timbul pada antena 4 elemen. Efek *mutual coupling* menyebabkan semakin meningkatnya *standing wave* dan koefisien refleksi sehingga *bandwidth* antena semakin sempit. Data perbandingan *bandwidth* untuk masing-masing antena dapat dilihat pada Tabel 11

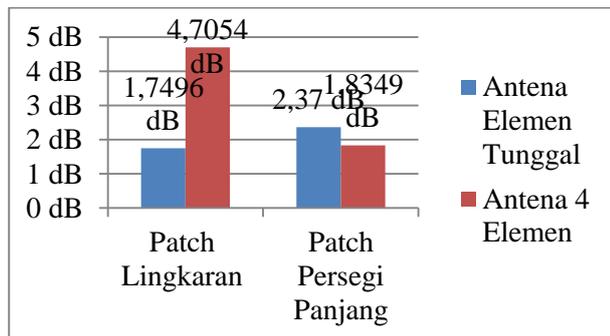
Tabel 11 Perbandingan *Bandwidth* Masing-Masing Antena

Patch Antena	Antena	VSW R	Bandwidth h (MHz)	Bandwidth h (%)
Lingkaran	Elemen Tunggal	$\leq 1,9$	163	6,9
	4 Elemen	$\leq 1,5$	135	5,7
		$\leq 1,9$	103	4,4
	Persegi panjang	Elemen Tunggal	$\leq 1,5$	94,5
4 Elemen		$\leq 1,9$	158,1	6,7
		$\leq 1,5$	60	2,59
$\leq 1,5$		97,6	4,1	
		$\leq 1,5$	0	0

Dari Tabel 4.14 di atas dapat diamati bahwa *bandwidth* untuk masing-masing antenna melebihi *bandwidth* yang diperlukan untuk rentang frekuensi 2,3- 2,36 GHz, yaitu 60 MHz. *Bandwidth* yang paling lebar dicapai oleh antenna elemen tunggal untuk *patch* lingkaran, yaitu sebesar 163 MHz pada $VSWR \leq 1,9$. Semakin besar *bandwidth* antenna maka, kinerja dari antenna tersebut akan semakin bagus karena akan dapat menampung berbagai jenis atau banyak informasi dan juga akan memperbesar kapasitas kanal transmisi.

Peningkatan Gain Antena

Umumnya antenna mikrostrip dengan *patch* elemen tunggal memiliki *gain* yang rendah. Cara yang biasa digunakan untuk meningkatkan *gain* antenna mikrostrip adalah dengan menambahkan jumlah elemen peradiasi. Pada skripsi ini dibuat 4 rancangan antenna mikrostrip. Gambar 15 merupakan perbandingan *gain* untuk masing-masing antenna. Nilai *gain* masing-masing antenna pada Gambar 15 tersebut merupakan *gain* maksimum pada rentang frekuensi 2,3-2,36 GHz.



Gambar 15 Grafik Perbandingan *Gain* untuk Masing-Masing Antena

Pada Gambar 15 dapat dilihat adanya peningkatan *gain* pada antenna 4 elemen (warna merah) untuk antenna *patch* lingkaran sebesar 4,7054 dBi dan antenna 4 elemen untuk antenna *patch* persegi panjang malah menurun yaitu, 1,8346 dBi. Jadi, dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan elemen peradiasi berjumlah 4 akan berpengaruh terhadap peningkatan *gain* antenna untuk antenna *patch* lingkaran. Selain itu, pada Gambar 15 dapat diamati bahwa desain kedua antenna berpengaruh terhadap peningkatan *gain* antenna. Untuk antenna *patch* lingkaran memiliki *gain* yang lebih besar dari pada antenna *patch* persegi panjang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

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

1. Antena mikrostrip *patch* lingkaran elemen tunggal yang dirancang mampu bekerja pada range frekuensi 2,252-2,415 GHz dengan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ sebesar 163 MHz (6,9 %). Sedangkan pada $VSWR \leq 1,5$, antenna mampu bekerja pada range frekuensi 2,280-2,383 GHz dan memiliki *impedance bandwidth* sebesar 135 MHz (5,7 %),
2. Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran yang dirancang mampu bekerja pada range frekuensi 2,2270-2,422 GHz dengan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ sebesar 136 MHz (5,7 %). Sedangkan pada $VSWR \leq 1,5$, antenna mampu bekerja pada range frekuensi 2,297-2,915 GHz dan memiliki *impedance bandwidth* sebesar 94,5 MHz (4 %),
3. Antena mikrostrip *patch* persegi panjang elemen tunggal yang dirancang mampu bekerja pada range frekuensi 2,277-2,412 GHz dengan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ sebesar 103 MHz (4,4 %). Sedangkan pada $VSWR \leq 1,5$, antenna mampu bekerja pada range frekuensi 2,297-2,915 GHz dan memiliki *impedance bandwidth* sebesar 94,5 MHz (4 %).
4. Antena Mikrostrip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Persegi Panjang yang dirancang mampu bekerja pada range frekuensi 2,293-2,353 GHz dengan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ sebesar 60 MHz (2,59%). Sedangkan pada $VSWR \leq 1,5$, memiliki *impedance bandwidth* sebesar 0 MHz (0 %),
5. Antena yang terbaik adalah desain Antena Mikrostrip Elemen tunggal dan Microstip *Planar Array* 4 Elemen *Patch* Lingkaran, Penambahan elemen peradiasi (*array*) pada antenna berpengaruh terhadap peningkatan *gain* antenna. Misalnya, antenna 4 elemen *patch* lingkaran memiliki *gain* 4,704 dBi yang lebih besar dibandingkan *gain* antenna elemen tunggal yang hanya sebesar 1,7496 dBi.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan karakterisasi antena mikrostrip yang lebih bervariasi sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi dan melakukan fabrikasi antena yang telah disimulasikan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ibu Dr. Yusnita Rahayu, ST., MT dan ibu Ery Safrianti ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada para sahabat EL08S1 dan rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2008 sampai 2010 yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto.2011. Rancang Bangun Antena Mikrostrip MIMO 2x2 Elemen Peradiasi Segitiga untuk Aplikasi WIMAX. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Fahrazal, Muhammad. 2008. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Triple-Band Linear Array 4 Elemen untuk Aplikasi Wimax. Tesis Pasca Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Makmur, 2013. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip *Dual Band Patch* Persegi untuk Aplikasi *Long Term Evolution* (LTE). Skripsi Sarjana, Teknik Elektro Sains dan Teknologi, UIN SGD Bandung, Indonesia.
- Menteri Komunikasi dan Informatika. 2009. Keputusan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 07/KEP/M.KOMINFO/01/2009 Tentang Penetapan Blok Pita Frekuensi Radio dan Zona Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband) Pada Pita Frekuensi Radio 2300-2360 MHz untuk Pengguna Pita Frekuensi Radio Eksisting untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband).<http://publikasi.kominfo.go.id/handle/54323613/61>, di akses pada 17 Oktober 2013, Pkl. 15:55 WIB.
- Kurniawan,2010. Antena Mikrostrip Circular Array Dual Frekuensi. Skripsi Sarjana, Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Indonesia.
- Pramono, Sigit. 2011.Rancang Bangun Linear Tapered Slot Antena dengan Pencatuan Mikrostrip Line untuk Aplikasi WRAN 802.22.Tesis Pasca Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Ridwan, 2012. Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip Array Bentuk Segiempat dengan Defected Ground Structure (DGS) untuk Aplikasi Long Term Evolution (LTE)” Skripsi Sarjana, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati, Indonesia.
- Rahmadyanto, Heri. 2009. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Slot Triangular Array 8 Elemen dengan Pencatuan Mikrostrip Feed Line Secara Tidak Langsung Untuk Aplikasi CPE Wimax. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Suprianto, Firmansyah, 2012. Peningkatan Gain Antena Mikrostrip Lingkaran Menggunakan Parasitik Radiator. Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia.
- Silalahi, Maria Natalia. 2013. AnalisisAntenaMikrostrip Patch Segi empat dengan Teknik Planar Array. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik,Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- Wijaya, 2009.Rancang Bangun Antena Mikrostrip Rectangular Array 8 Elemen dengan Pencatuan Electromagnetically Coupled Untuk Aplikasi Wimax. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.