

## PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP 4 LARIK DIPOLE PADA FREKUENSI 2.1 GHZ UNTUK APLIKASI LTE

### DESIGN AND REALIZATION OF 4-ELEMENTS DIPOLE MICROSTRIP ANTENNA AT 2.1 GHZ FREQUENCY FOR LTE APPLICATION

Ni Putu Kartika Dewi<sup>1</sup>, Radial Anwar, S.Si.,M.Sc.,Ph.D<sup>2</sup>, Dr.Ir.Yuyu Wahyu, M.T<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, LIPI, Bandung

<sup>1</sup>[kartikadewi072@gmail.com](mailto:kartikadewi072@gmail.com), <sup>2</sup>[radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id](mailto:radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[yuyu@ppet.lipi.go.id](mailto:yuyu@ppet.lipi.go.id)

#### ABSTRAK

Teknologi telekomunikasi saat ini sedang berkembang dengan cepat di dunia. LTE merupakan salah satu teknologi telekomunikasi untuk komunikasi data, *voice*, dan video dengan kecepatan tinggi. Teknologi ini sudah mulai diimplementasikan pada beberapa negara di dunia. Untuk mendukung teknologi LTE diperlukan antenna dengan bandwidth yang lebar. Proyek Akhir ini membahas perancangan antenna mikrostrip 4 larik *dipole* yang bekerja pada frekuensi 2.1 GHz untuk aplikasi LTE. Antenna mikrostrip 4 larik *dipole* adalah antenna yang disusun sebanyak 4 secara *array*. Tujuan disusun secara *array* adalah untuk menghasilkan gain yang lebih besar. Berdasarkan hasil pengukuran, didapatkan nilai VSWR pada frekuensi 2.1 GHz adalah 1.086 dan bandwidth 600 MHz pada nilai VSWR  $\leq 2$ . Nilai *return loss* sebesar -27.685 dB. Gain antenna hasil pengukuran adalah sebesar 6.18 dBi, polarisasi yang dihasilkan adalah polarisasi linear dengan pola radiasi *omnidirectional*. Hasil pengukuran telah sesuai dengan spesifikasi perancangan awal, sehingga antenna mikrostrip 4 larik *dipole* ini sesuai direalisasikan pada aplikasi LTE pada frekuensi 2.1 GHz.

Kata Kunci : Mikrostrip, LTE, Array *Dipole*

#### ABSTRACT

*Telecommunication technology now a days developing rapidly in the world. LTE is one of the telecommunication technology for data communication, voice and video with high speed. This technology has begun to be implemented in some countries in the world. Antenna with wide bandwidth is required to support the LTE technology. This final project discuss about design of 4-element dipole microstrip antenna that work on 2.1 GHz frequency for LTE application. 4-element dipole microstrip antenna are 4 antennas arranged in from of array. The purpose of array configuration is to produce a higher gain. Based on measurement results obtained VSWR value at the frequency of 2.1 GHz is 1.086 and 600 Mhz bandwidth at VSWR  $\leq 2$ . Return lost value of 27.685 dB. Gain antenna measurement results of 6.18 dBi, The resulting polarization is linier polarization with omnidirectional radiation pattern. The measurement results has been in accordance with the initial design specifications, then this 4-element dipole microstrip antenna can be realized in LTE application on frequency 2.1 GHz.*

Keywords : *Microstrip, LTE, Array, Dipole*

#### 1. Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan teknologi informasi sangat pesat dan salah satu yang sangat pesat perkembangannya adalah teknologi LTE. LTE adalah singkatan dari *Long Term Evolution* sebagai penerus jaringan 3G. Teknologi *Long Term Evolution* ini menjadi pusat perhatian operator telekomunikasi karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan generasi sebelumnya, antara lain mampu melakukan komunikasi data lebih cepat. Teknologi ini telah demikian pesat perkembangannya sehingga banyak lapisan masyarakat yang memanfaatkannya baik dalam bidang pendidikan, sosial ataupun bisnis.

Salah satu komponen yang berperan dalam teknologi jaringan *Long Term Evolution* (LTE) ini adalah antenna. Antena merupakan peralatan yang berfungsi mentransmisikan atau menerima sinyal informasi. Sehingga diperlukan desain dan spesifikasi antena yang diharapkan dapat mendukung perkembangan teknologi LTE, seperti *gain* yang tinggi, *bandwidth* yang lebar, bobot antena yang ringan dan pembuatan antena yang murah. Salah satu antena yang digunakan untuk mendukung teknologi *Long Term Evolution* (LTE) adalah antena mikrostrip.

Pada penelitian sebelumnya oleh Dwi Putri Kusumadewi, telah terealisasi antena mikrostrip berstruktur larik *dipole* untuk aplikasi WIMAX. Penelitian tersebut membandingkan susunan antena secara kolinear dan paralel. Susunan secara kolinear mendapatkan VSWR sebesar 38 dengan gain -7,65 dB sedangkan susunan paralel mendapatkan VSWR 1,4 dengan gain 5,87 dB. Pada Proyek Akhir ini akan dirancang dan direalisasikan antena mikrostrip 4 larik *dipole* yang bekerja pada frekuensi 2,1 GHz untuk aplikasi LTE. Antena mikrostrip dipilih karena dapat memenuhi spesifikasi tersebut, antena mikrostrip memiliki dimensi antena yang kecil, bobot yang ringan, dan mampu menghasilkan *gain* yang cukup besar. Pada perancangannya antena ini akan diukur nilai VSWR, *return loss*, *bandwidth*, pola radiasi, polarisasi dan *gain*nya agar dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 LTE (*Long Term Evolution*)

LTE (*Long Term Evolution*) adalah sebuah nama baru dari layanan yang mempunyai kemampuan tinggi dalam sistem komunikasi. Teknologi ini merupakan langkah menuju generasi ke-4 (4G) dari teknologi radio yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan dibanding generasi sebelumnya dikenal sebagai 3G (untuk “generasi ketiga”), LTE dipasarkan sebagai 4G. LTE adalah satu set perangkat tambahan ke *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) yang diperkenalkan pada *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) Release 8. Menurut standar, LTE memberikan kecepatan uplink hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan downlink hingga 100 Mbps. Terdapat dua kandidat standar untuk 4G yang dikomersilkan di dunia yaitu standar WIMAX (Korea Selatan) dan standar *Long Term Evolution* (Swedia). [1]

### 2.2 Parameter Antena

Parameter penting sebagai karakteristik antena yang biasanya ditentukan pada pengamatan medan jauh (*farfield*). Untuk menggambarkan kinerja suatu antena, sangat penting untuk memahami parameter-parameter antena tersebut.

#### 2.2.1 Polarisasi

Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada praktiknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antena, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.[2]

#### 2.2.2 Pola Radiasi

Pola radiasi (*radiation pattern*) adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi.

#### 2.2.3 Gain Antena

Secara umum, *gain* merupakan perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena dengan intensitas radiasi maksimum antena referensi yang daya inputnya sama. Hal ini dapat dituliskan dengan rumus :

$$G = \frac{U_m}{U_{mr}} \quad (1)$$

Keterangan :

$G$  = *gain*

$U_m$  = intensitas radiasi maksimum suatu antenna

$U_{mr}$  = intensitas radiasi maksimum antena referensi dengan daya input yang sama

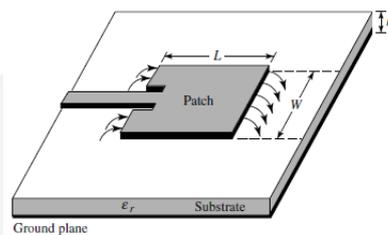
### 2.2.4 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirim ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirim disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [3].

### 2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip menjadi sangat terkenal pada tahun 1970 terutama digunakan untuk aplikasi pesawat ruang angkasa. Antena mikrostrip digunakan untuk aplikasi komersil dan juga di pemerintahan [2]. Antena ini terdiri dari *patch* metalik pada permukaan yang di ground kan. *Patch* ini memiliki berbagai bentuk. Bagaimanapun yang paling populer adalah *patch* berbentuk persegi panjang dan lingkaran. Hal ini dikarenakan mudah dalam pembuatan dan analisis terhadap *patch* tersebut .

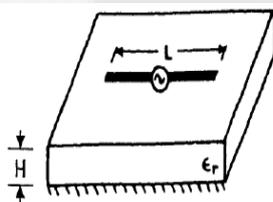
Mikrostrip antena adalah antena yang sederhana dan murah dalam pembuatan, cocok dengan MMCI design, dan serbaguna berhubungan dengan frekuensi resonansi, polarisasi, pola radiasi dan impedansi[2]. Secara umum antena mikrostrip adalah antena yang tersusun dari 3 elemen yang terlihat pada Gambar 1. yaitu : elemen peradiasi (*patch*), elemen substrat (*substrate*), elemen pentanahan (*ground*)



Gambar 1. Antena Mikrostrip

### 2.5 Antena Mikrostrip Dipole

Antena mikrostrip persegi panjang seperti pada Gambar 2. dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yang bergantung pada rasio panjang dan lebar masing-masing. Sebuah antena persegi panjang dengan bidang yang sempit ( lebar bidang biasanya kurang dari  $0,05 \lambda_0$  ) dinamakan mikrostrip *dipole*, sedangkan antena persegi yang bidangnya lebih luas dinamakan mikrostrip *patch* [4]. Antena mikrostrip *dipole* merupakan antena yang populer saat ini dikarenakan bandwidth antena mikrostrip *dipole* tersebut sangat tinggi dibandingkan dengan antena mikrostrip *patch* lainnya.



Gambar 2. Antena Mikrostrip Dipole

### 2.6 Antena Array[5]

Umumnya antena mikrostrip dengan *patch* elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan karakteristik tersebut, maka antena mikrostrip disusun dengan berbagai konfigurasi.

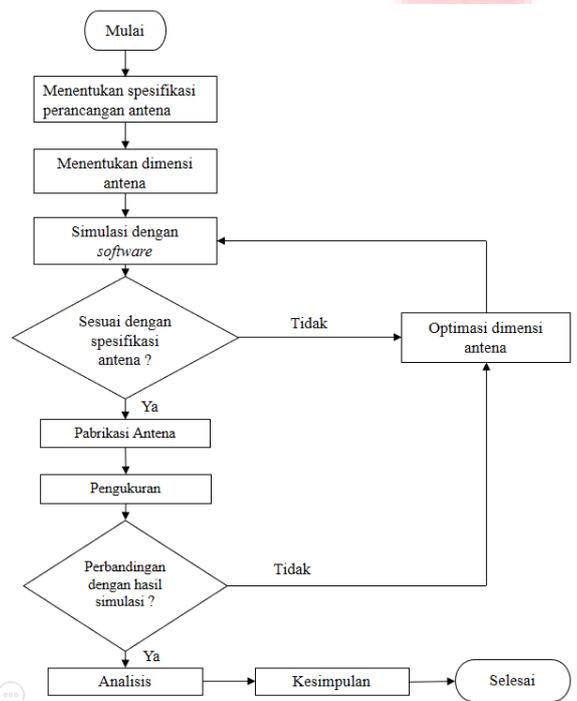
Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang bertujuan mengatur keterarahan dan meningkatkan *gain*. Dalam antena mikrostrip *patch*, yang disusun secara *array* adalah bagian *patch*. Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk

membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.

### 3. Tahap Perancangan Antena

Dalam perancangan dan realisasi antena mikrostrip 4 larik *dipole* diperlukan beberapa tahap yaitu diantaranya tahap pertama adalah penentuan spesifikasi dari antena yaitu frekuensi kerja, *bandwidth*, *gain*, VSWR, polarisasi, dan pola radiasi. Setelah penentuan spesifikasi antena, tahap kedua adalah penentuan dan perhitungan dimensi antena bertujuan untuk menentukan dimensi antena yang akan dirancang, panjang saluran transmisi dan letak pencatutan agar diperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi antena. Tahap ketiga dilakukan perancangan dan simulasi terhadap antena pada *software CST Studio Suite 2014* setelah memenuhi spesifikasi dilakukan proses pabrikan dan dilakukan proses pengukuran terhadap antena.

Tahap terakhir adalah merealisasikan antena yang telah dirancang dan melakukan analisis perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil realisasi antena yang telah dirancang. Tahap – tahap perancangan antena mikrostrip 4 larik *dipole* dapat digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alur Perancangan

#### 3.1 Spesifikasi Antena [6]

Spesifikasi antena mikrostrip 4 larik *dipole* yang dirancang pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Frekuensi Kerja : 2,1 GHz
2. Bandwidth : 20 MHz
3. Impedansi : 50  $\Omega$
4. Pola radiasi : *Omnidirectional*
5. Polarisasi : Linear
6. VSWR :  $\leq 2$
7. *Gain* :  $\geq 2$  dBi
8. Return Loss :  $\leq -10$  dB

### 3.2 Menentukan Dimensi antena

*Patch* pada antena mikrostrip ini berfungsi sebagai komponen yang meradiasikan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas. Antena mikrostrip 4 larik *dipole* ini adalah antena *dipole* yang di *array* sebanyak 4 elemen. Sebelum dilakukan proses *array*, terlebih dahulu dibuat satu antena *dipole* dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Jika satu antena *dipole* telah sesuai dengan spesifikasi, kemudian baru disusun menjadi antena *array*.

#### 1. Menentukan lebar *patch* antena (W) [7]

Adapun hasil perhitungan lebar *patch* diperoleh menggunakan Persamaan ini Sehingga didapatkan lebar *patch* adalah :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,1 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,4 + 1}{2}}} = 43,47 \text{ mm} \quad (2)$$

#### 2. Menentukan panjang *patch* antena (L) [7]

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

$$= \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12 \times 1,6}{43,47}}} \right)$$

$$= 4,11 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \times 10^8}{2,1 \times 10^9 \sqrt{4,11}} = 70,46 \text{ mm} \quad (4)$$

$$L = \frac{1}{2} \lambda = \frac{1}{2} \times 70,46 \text{ mm} = 35,28 \text{ mm}$$

#### 3. Menentukan Dimensi *Groundplane*

*Groundplane* pada antena adalah lapisan paling bawah dan berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antena mikrostrip. Dimensi *groundplane* dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini :

Menentukan lebar *groundplane* ( $W_g$ ) (5)

$$W_g = 6h + W = 6 \times 1,6 + 43,47 \\ = 53,07 \text{ mm}$$

Menentukan panjang *groundplane* ( $L_g$ ) (6)

$$L_g = 6h + L = 6 \times 1,6 + 35,28$$

$$= 44,88 \text{ mm}$$

#### 4. Dimensi Feeder

Menentukan panjang lamda *groundplane* ( $\lambda_g$ )

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,1 \times 10^9} = 142 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{142}{\sqrt{4,11}} = 70,04 \text{ mm} \quad (8)$$

Menentukan panjang *feeder* ( $L_f$ )

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{70,04}{4} = 17,51 \text{ mm} \quad (9)$$

lebar *feeder* ( $W_f$ )

$$B = \frac{377 \times \pi}{2 \times Z_0 \times \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377 \times 3,14}{2 \times 50 \times \sqrt{4,4}} (\pm 15,64) \quad (10)$$

$$W_f = \frac{2}{\pi} [B - 1 - \ln(3B - 1)] + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \quad (11)$$

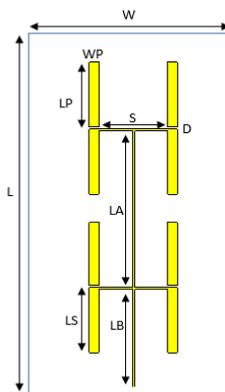
$$= \frac{2}{3,14} [5,64 - 1 - \ln(3 \times 5,64 - 1)] + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} \left\{ \ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right\}$$

$$= 0,63[5,64 - 1 - 2,76] + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} \{1,53 + 0,39 - \frac{0,61}{4,4}\}$$

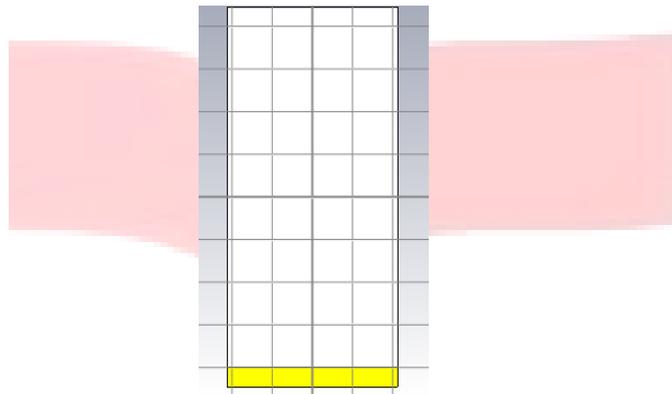
$$= 0,63 \times 1,88 + 0,38 \times 1,69$$

**3.3 Hasil simulasi antenna**

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 memperlihatkan struktur antenna yang telah dioptimasi. Nilai dari parameter – parameter yang pada struktur tersebut disajikan pada struktur tersebut disajikan pada Berikut adalah hasil simulasi dari struktur tersebut.

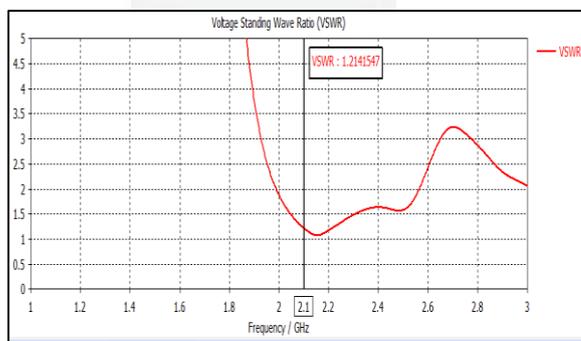


Gambar 4. Antena Tampak Depan

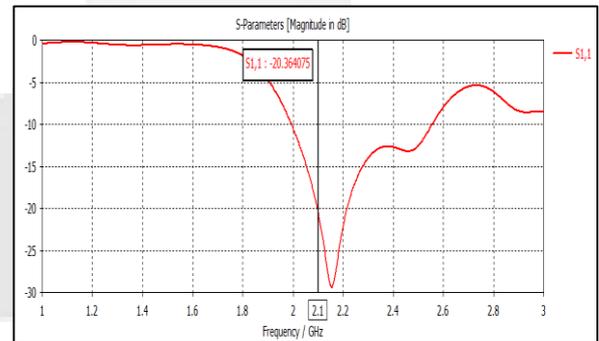


Gambar 5. Antena Tampak Belakang

Setelah dilakukan proses simulasi untuk antenna sesuai hasil perhitungan dan juga telah dilakukan proses optimasi dimensi antenna untuk mendapatkan spesifikasi antenna yang telah ditentukan, maka diperoleh hasil VSWR sebagai berikut : nilai VSWR sebesar 1,212 dan nilai *Return Loss* sebesar -20,364 pada frekuensi kerja 2,1 GHz yang terlihat pada Gambar 6 dan 7. dari hasil simulasi tersebut, nilai VSWR dan *return loss* yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi antenna yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 6. Nilai VSWR Hasil Optimasi



Gambar 7. Nilai Return Loss Hasil Optimasi

Berdasarkan Gambar 8. nilai *gain* sebesar 4,216 pada frekuensi kerja 2,1 GHz serta pada, didapatkan nilai *bandwidth* sebesar 600 MHz pada nilai VSWR ≤ 2 pada frekuensi 1,9883 – 2,5642 GHz . Dari hasil simulasi tersebut, nilai *gain dan bandwidth* yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi antenna yang telah ditetapkan sebelumnya.

**3.4 Realisasi antenna**

Setelah dilakukan perancangan antenna melalui simulasi dan memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi, kemudian dilanjutkan dengan proses pabrikan antenna. Selanjutnya dilakukan proses pencetakan dan pengukuran terhadap antenna seperti pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Antena Tampak Depan

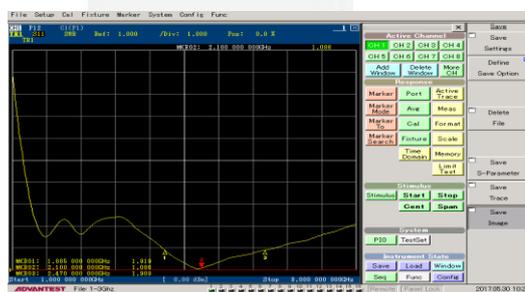


Gambar 9. Antena Tampak Belakang

#### 4. Analisis Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran

Setelah diperoleh struktur antenna yang mendukung hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi, struktur bagian direalisasikan dan diukur parameter - parameter nya. Pengukuran yang dilakukan terhadap antenna terdiri dari 2 macam, yaitu pengukuran dalam (indoor) dan pengukuran luar (outdoor). Kedua hasil pengukuran tersebut nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi, apakah hasil pengukuran antenna juga telah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Parameter – parameter antenna yang diukur antara lain *return loss*, VSWR, impedansi, *gain*, polarisasi, dan pola radiasi. Pengukuran parameter antenna tersebut dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

Berdasarkan data hasil pengukuran diatas, terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran yang dapat disajikan pada Tabel 2. dimana nilai VSWR, *return loss* dan gain hasil pengukuran lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada frekuensi kerja antenna 2,1 GHz, bandwidth yang didapatkan adalah 600 MHz serta polarisasi hasil simulasi adalah linear sedangkan polarisasi hasil pengukuran adalah elips nilai VSWR hasil pengukuran pada frekuensi kerja antenna 2,1 GHz pada Gambar 13, VSWR yang terukur adalah 1,086

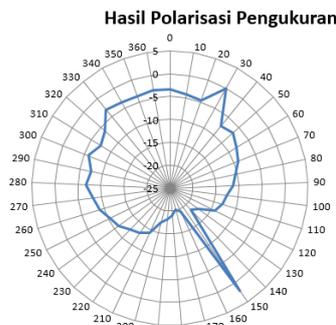


Gambar 10. Nilai VSWR Hasil Pengukuran

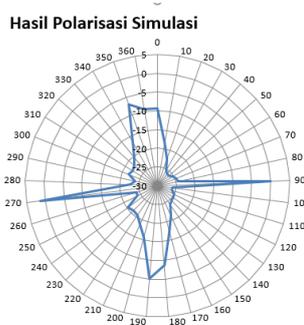


Gambar 11. Nilai Return Loss Hasil Pengukuran

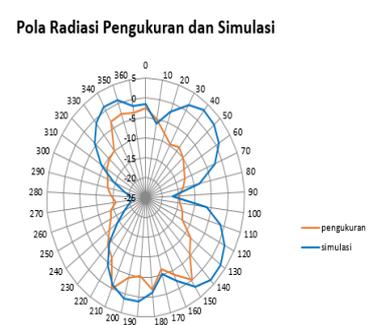
Dari hasil pengukuran dapat terlihat bahwa pola radiasi baik secara azimuth maupun elevasi yaitu pola radiasi *omnidirectional* dan perpolarisasi elip yang dapat dilihat pada Gambar 12, 13, dan 14.



Gambar 12. Hasil Polarisasi Pengukuran



Gambar 13. Hasil Polarisasi Simulasi



Gambar 14. Hasil Pola Radiasi

Perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

PARAMETER	SIMULASI (2,1 GHz)	PENGUKURAN (2,1 GHz)
Vswr	1,212	1,086
Return Loss	-20,364	-27,685
Gain	4,216	6,18
Pola Radiasi	omnidirectional	omnidirectional
Polarisasi	linear	Elips
Bandwidth	600 MHz	600 MHz

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip 4 larik *dipole* adalah sebagai berikut :

1. Nilai VSWR hasil pengukuran pada frekuensi kerja di 2,1 GHz adalah sebesar 1,086 dengan spesifikasi awal yaitu  $\leq 2$  memiliki bandwidth sebesar 600 MHz.
2. *Groundplane* pada antenna sangat berpengaruh terhadap nilai VSWR, semakin tinggi *groundplane* maka akan semakin besar juga nilai VSWR yang didapatkan dan juga berlaku sebaliknya.
3. *Gain* yang didapatkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 6.18 dBi lebih besar dari hasil simulasi yaitu 4,216 dB.
4. Pola radiasi antenna yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah *omnidirectional* dengan polarisasi elips.

### 5.2 Saran

Dalam perancangan antenna terdapat beberapa penyimpangan terhadap karakteristik yang diinginkan. Untuk mendapatkan performansi antenna yang lebih baik, ada beberapa hal yang bisa dijadikan saran sebagai pengembangan kedepannya, antara lain :

1. Untuk mendapatkan hasil antenna mikrostrip yang lebih baik, disarankan untuk lebih selektif dalam memilih bahan substrat yang akan digunakan dan penentuan dimensi antenna.
2. Memperhatikan ketelitian dalam pemasangan dan pemilihan konektor yang digunakan pada antenna untuk meningkatkan performansi antenna.
3. Pabrikasi antenna sebaiknya dilakukan dengan lebih presisi agar didapatkan hasil realisasi antenna yang sesuai dengan simulasi

## Daftar Pustaka

- [1][http://brotherandsister.blogspot.co.id/2015/03/4\\_long-term-evolution-technology.html](http://brotherandsister.blogspot.co.id/2015/03/4_long-term-evolution-technology.html)
- [2]Balanis, C.A. 2005. *Antenna Theory Analysis and Design Second Edition*. John Willey & Sons, Inc, Hal 70-71, 811, 812
- [3]Yuli Zulkifli, Fitri. 2008. "Studi Tentang Antena Mikrostrip Dengan Defected Ground Structure (DGS)". Disertasi pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia, Depok.
- [4]Garg, Ramesh. 2001. *Microstrip Antenna Design Handbook*. 1st ed. Boston, MA:Artech House, Hal 9
- [5]Rambe, Ali Hanafiah .2008."Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segiempat Planar
- [6]Verizon, Wireless. 2009. "LTE: The Future of Mobile Broadband Technology".
- [7] M. H. Jamaluddin, M.K. A. Rahim, M. Z. A. Abd. Aziz, dan A. Asrokin. 2005. "Microstrip Dipole Antenna Analysis with Different Width and Length at 2.4 GHz". Wireless Communication Center (WCC) Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia.