

## DESAIN DAN REALISASI ANTENA BTS GSM FREKUENSI 1710-1805 OMNI-DIRECTIONAL DENGAN METODE DISCONE WIRE

Riga Marga Limba<sup>1</sup>Dr. Ir. Heroe Wijanto M.T.<sup>2</sup>Budi Syihabuddin S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>[1],[2],[3]</sup>Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot, Bandung 40257 Indonesia

<sup>[1]</sup>[limbariga@gmail.com](mailto:limbariga@gmail.com)<sup>[2]</sup>[heroewijanto@telkomuniversity.ac.id](mailto:heroewijanto@telkomuniversity.ac.id)<sup>[3]</sup>[budisyihab@telkomuniversity.ac.id](mailto:budisyihab@telkomuniversity.ac.id)

### Abstrak

Pada penelitian ini dikembangkan antenna yang dapat digunakan untuk telekomunikasi mobile. Antenna yang dirancang dengan modifikasi dari antenna discone, yang terdapat 2 bagian, patch dan ground. Patch yang berbentuk dish dan ground berbentuk cone. Perancangan antenna ini untuk dipergunakan pada teknologi picocell atau microcell yang dapat di gunakan pada posisi blank area, seperti di dalam gedung bertingkat, di daerah perkantoran dan mall. Antenna yang dirancang pada frekuensi 1,71 GHz sampai dengan 1,805 GHz dengan memiliki kelebihan dari polaradiasi berbentuk omni direksional, kesegala arah pada satu bidang tertentu, dengan besar gain sebesar 1,786 dBi pada simulasi dan 2,444 dBi pada pengukuran fabrikasi. VSWR yang di dapat bernilai 1,22 untuk simulasi dan 1,071 untuk fabrikasi. Secara keseluruhan, antenna yang dirancang, di simulasikan dan fabrikasi tidak banyak mengalami perbedaan, dan spesifikasi antenna yang di rancang sesuai dengan kebutuhan dari antenna picocell dan microcell.

**Kata Kunci :** GSM, Antena, Gain dan *discone*

### Abstract

*In this study developed antenna that can be used for mobile telecommunications. Antenna designed by modification of discone antenna, which contained two parts, the patch and the ground. Patch shaped cone-shaped dish and ground. The design of this antenna for use in picocell or microcell technology that can be used on a blank area of the position, such as in buildings, offices and malls in the area. Antenna designed at a frequency of 1.71 GHz to 1.805 GHz to have an excess of polaradiasi shaped omni directional, in all directions in a particular field, with a large gain of 1.786 and 2.444 simulations dBi in dBi in the fabrication of measurement. VSWR can be valued at 1.22 to 1.071 for the simulation and fabrication. Overall, the antenna that is designed, simulated and fabricated not experience any difference, and specifications antenna that is designed according to the needs of picocell and microcell antenna.*

**Key Words :** GSM, Antenne, Gain dan *discone*

## I. PENDAHULUAN

Sistem GSM merupakan sistem telekomunikasi seluler, yaitu system telekomunikasi yang membagi area layanannya kedalam sel-sel. Pada setiap sel dapat dialokasikan sampai dengan 6 frekuensi pembawa (mengacu kepada bentuk konvensional sel yaitu berupa heksagonal). Implementasi jaringan radio GSM umumnya didesain dengan empat jenis sel yaitu: *macro cell*, *micro cell*, *pico-cell* dan *umbrella cell* dengan alokasi frekuensi dan kapasitas jaringan mempertimbangkan luas area layanan yang diinginkan dan peningkatan jumlah populasi pengguna pada masa mendatang sehingga kualitas pelayanan memenuhi *Grade of Service (GoS)* yang ditetapkan. Teknik yang digunakan pada antenna ini adalah pengembangan dari antenna monopole dan dipole. Yang mana tipe antenna ini memiliki bagian peradiasi atau sumbu positif dan bagian groundplan yang mana kebanyakan perhitungan dimensinya menggunakan perkalian dari lamda (panjang gelombang).

Tujuan dari penelitian adalah, merancang Antena BTS GSM untuk digunakan sebagai *Microcell*, merancang Antena GSM *Microcell* dengan bentuk antenna *discone wire*, frekuensi operasi 1710 – 1805 MHz, simulasi dengan software CST *Microwave* 2012 dan membuatnya antenna nyata, serta menganalisis perbandingan kinerja simulasi dan antenna yang nyata.

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan, implementasi dan menganalisis kinerja serta melakukan analisa untuk parameter gain. Dalam perancangannya ada beberapa masalah yang mungkin timbul, diantaranya, bagaimana mendapatkan karakteristik yang tepat agar antenna dapat bekerja pada frekuensi GSM 1710 – 1805 MHz, bagaimana merancang dan mendesain antenna gsm sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, melakukan Analisa terhadap gain pada antenna yang akan di buat, bagaimana perbandingan antara simulasi menggunakan *software* dengan pengukuran antenna secara langsung.

Penelitian ini menggunakan metodologi eksperimental dengan langkah- langkah sebagai berikut, studi literatur, simulasi dan perancangan, proses realisasi, proses pengukuran dilakukan dua kali, dan terakhir, analisis.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Antena Indoor<sup>[4]</sup>

Antenna indoor terdiri dari 2 macam yaitu Omni-directional dan directional (Plannar). Pemilihan antenna pada ruangan disesuaikan dengan kondisi ruangan tersebut. Un ruangan yang melebar disarankan agar menggunakan antenna Omni-directional. Sedangkan untuk ruangan yang berbentuk memanjang seperti lorong disarankan menggunakan antenna Directional. Pola radiasi dari antenna Omni-directional dan Directional.

### 2.2 Microcell<sup>[1]</sup>

*Micro cell* – jenis ini biasanya ditempatkan di pinggiran jalan atau di sela-sela pojok gedung. *Micro cell* dirancang bagi komunikasi pelanggan dengan kepadatan tinggi, namun bermobilitas rendah. Ciri *micro cell* yakni coverage nya kecil namun kapasitas besar dengan transmit power yang rendah. Biasanya antenanya cukup dipasang di plafon atau langit-langit suatu ruangan, ada juga tanpa antenna alias ditempel pada dinding. *Micro cell* sendiri dibagi ke dalam *micro cell* standar, *pico cell*, dan *nano cell*. Maksimum *micro cell* mempunyai jangkauan antara 500 meter hingga 1 km. Ketika jangkauan layanan sangat kecil, mungkin dalam satu bangunan, maka digunakan unit yang lebih kecil yang disebut *picocells*.

### 2.3 Antena<sup>[4]</sup>

Antena merupakan suatu alat yang dapat merubah besaran listrik dari saluran transmisi menjadi suatu gelombang elektromagnetik (GEM) untuk diradiasikan ke udara bebas. Ruang-ruang di sekitar antenna dibagi ke dalam 3 daerah, yaitu, daerah medan dekat reaktif, daerah medan dekat radiasi, dan daerah medan jauh.

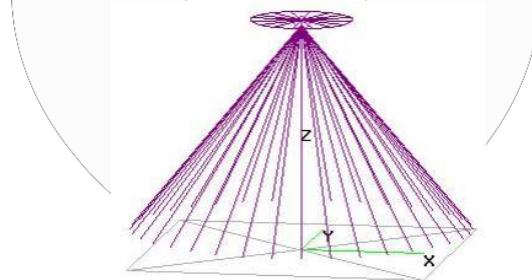
### 2.4 Peraturan Tentang Alokasi Frekuensi di Indonesia [7]

Pada sekitar tahun 1996 dilakukan tender (*beauty contest*) izin penyelenggaraan DCS/GSM-1800 MHz sebesar 15 MHz FDD (pasangan kanal downlink dan uplink) untuk sejumlah daerah sesuai pembagian wilayah KSO (7 wilayah). Di era 1990-an, ketiga operator GSM utama (Telkomsel, Satelindo, Excelcomindo) diberi tambahan alokasi frekuensi di GSM-1800 MHz, sehingga seluruh jumlah bandwidth GSM-900/1800 menjadi sama FDD 15 MHz.

## III. PERANCANGAN DAN SIMULASI

### 3.1 Bentuk Antenna yang Disimulasikan

Simulasi antenna dalam tugas akhir ini menggunakan software CST *Microwave Studio* 2012. Bentuk antenna discone-wire yang akan disimulasikan adalah seperti di bawah ini.



Gambar 1. Antena Discone Wire

### 3.2 Perhitungan Antena

Perhitungan antenna menggunakan pendekatan perhitungan dipole, dimana menentukan panjang gelombang yang merambat pada bahan terlebih dahulu.  $\lambda = \frac{c}{f}$ , dimana c adalah kecepatan cahaya, dan f adalah

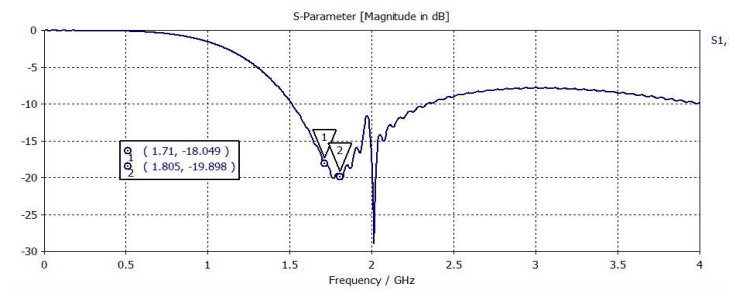
frekuensi center dari antenna yang di rancang. Dalam perancangan antenna ini, permitivitas bernilai 1, karena di udara. Sehingga panjang gelombang  $\lambda = \frac{c}{f} = 0,1706 \text{ meter} = 17,069 \text{ cm}$ . Antena yang di rancang menggunakan bahan tembaga, hal ini bertujuan untuk mempermudah melakukan fabrikasi antenna, agar mudah

di solder menggunakan timah. Antenna yang di rancang menggunakan saltran berupa kabel sebagai catuan antara konektor dengan antenna. Impedansi antenna 50 ohm.

Tabel 1. Perhitungan Antena

Variabel	Perhitungan (mm)	Simulasi (mm)
Lebar dish (jari-jari)	17,069	22,5
Panjang pipa cone	51,27	48.8
Penyambung	6,836	7
Lebar cone jari-jari	25,635	27,98
Panjang Saltran	49.725	43.5
Gap	0.8545	1

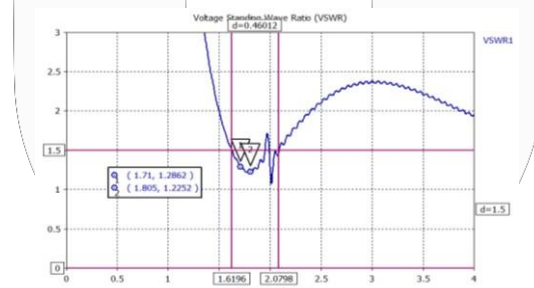
3.3 Simulasi Antena Return Loss



Gambar 2. Hasil Simulasi Antena Return Loss

Hasil dari simulasi *return loss*, dengan nilai untuk frekuensi 1,71 Ghz sebesar -18,049 dB, dan untuk frekuensi 1,805 GHz sebesar -19.898 dB.

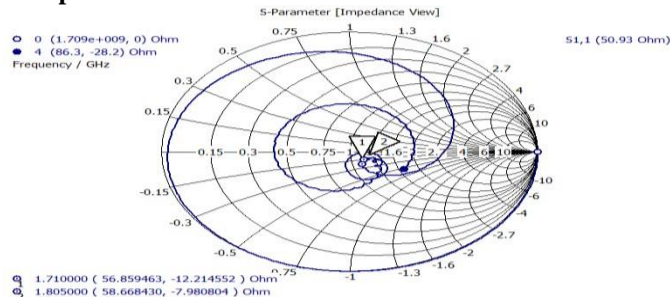
3.4 Simulasi Antena VSWR



Gambar 3. Hasil Simulasi Antena VSWR

VSWR yang di dapat dari simulasi, dengan hasil pada frekuensi 1,71 GHz sebesar 1,2862 dan frekuensi 1,805 GHz sebesar 1,2252.

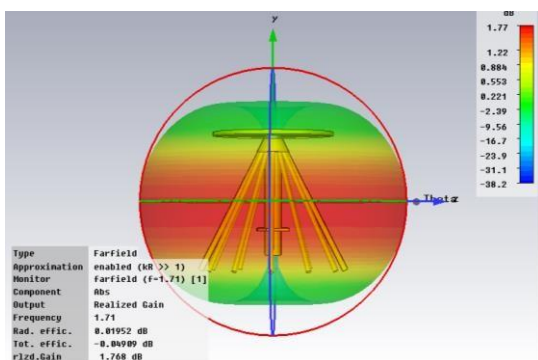
### 3.5 Simulasi Antena impedansi



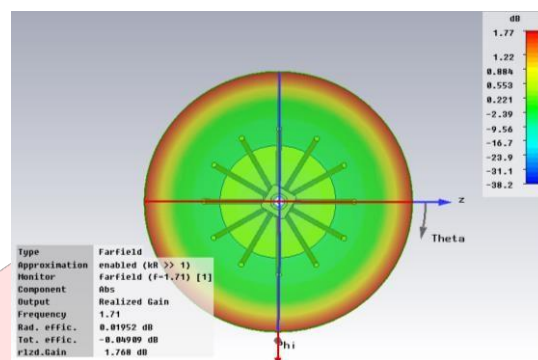
Gambar 4. Hasil Simulasi Antena Impedansi

Hasil simulasi impedansi antena pada frekuensi 1,71 GHz sebesar 56-j12,12 ohm dan frekuensi 1,805 GHz sebesar 58-j7,98 ohm.

### 3.6 Simulasi Antena Polaradiasi dan Gain Frekuensi 1710 MHz



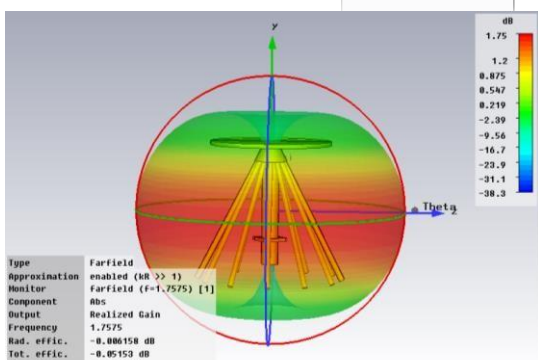
Gambar 5. Hasil Simulasi 3D Polaradiasi Azimuth



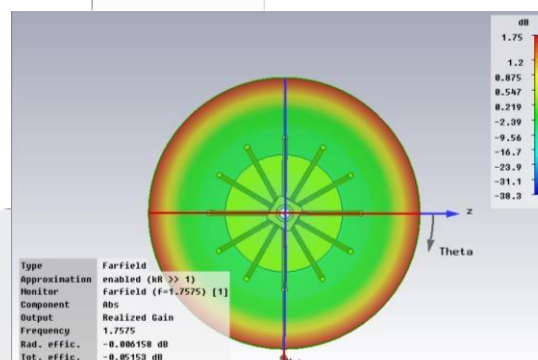
Gambar 6. Hasil Simulasi 3D Polaradiasi Elevasi

Gambar 5 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi Azimuth Frekuensi 1,71 GHz. Sedangkan gambar 6 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi elevasi Frekuensi 1,71 GHz. Berdasarkan simulasi, polaradiasi yang dihasilkan pada frekuensi 1,71 GHz, menghasilkan bentuk polaradiasi donat, atau mengarah kesegalah arah pada suatu bidang tertentu. Dengan gain yang di hasilkan sebesar 1,789 dBi.

### 3.7 Simulasi Antena Polaradiasi dan Gain Frekuensi 1757,5 MHz



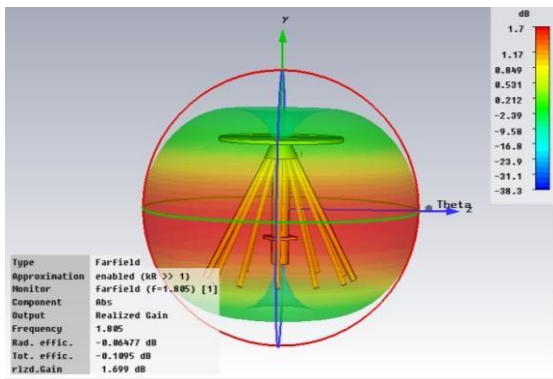
Gambar 7. Hasil Simulasi 3D Polaradiasi Azimuth



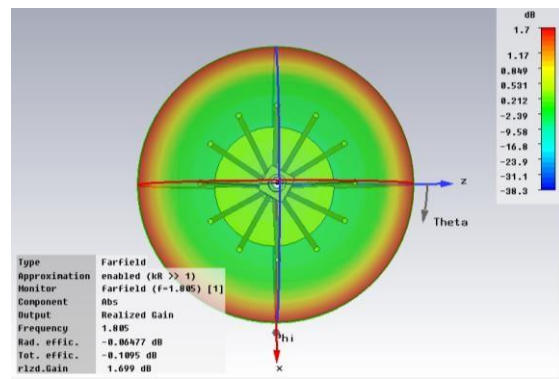
Gambar 8. Hasil Simulasi 3D Polaradiasi Elevasi

Gambar 7 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi Azimuth Frekuensi 1,7575 GHz. Sedangkan gambar 8 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi Elevasi Frekuensi 1,7575 GHz. Berdasarkan simulasi, polaradiasi yang dihasilkan pada frekuensi 1,7575 GHz, menghasilkan bentuk polaradiasi donat, atau mengarah kesegalah arah pada suatu bidang tertentu. Dengan gain yang di hasilkan sebesar 1,749 dBi.

### 3.8 Simulasi Antena Polaradiasi dan Gain Frekuensi 1805 MHz



Gambar 9. Hasil Simulasi 3D Polaradiasi Azimuth



Gambar 10. Hasil Simulasi 3D polaradiasi Elevasi

Gambar 9 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi Azimuth Frekuensi 1,805 GHz. Sedangkan gambar 10 adalah hasil simulasi 3D polaradiasi Elevasi Frekuensi 1,805 GHz. Berdasarkan simulasi, polaradiasi yang dihasilkan pada frekuensi 1,805 GHz, menghasilkan bentuk polaradiasi donat, atau mengarah kesegalah arah pada suatu bidang tertentu. Dengan gain yang di hasilkan sebesar 1,699 dBi.

## IV. PENGUKURAN DAN ANALISIS

### 4.1 Syarat Pengukuran

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pengukuran (kondisi ideal pada saat pengukuran ) adalah sebagai berikut, Frekuensi sistem harus stabil, Kriteria medan jauh harus dipenuhi, Lingkungan bebas pantulan, Lingkungan harus bebas dari *noise* dan interferensi benda-benda sekelilingnya, dan Impedansi dan polarisasi harus sesuai.

### 4.2 Pengukuran VSWR, Bandwidth, Return Loss, dan Impedansi

#### 4.2.1 Prosedur Pengukuran

Setelah melakukan proses pencetakan antenna kemudian dilakukan pengukuran antenna. Pengukuran dari antenna ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari antenna yang telah kita rancang sebelumnya. Hasil dari pengukuran antenna akan dibandingkan dengan hasil dari perancangan awal dan hasil dari simulasi *software*. Hasil perbandingan tersebut akan dianalisis sehingga diketahui jika terjadi penyimpangan pada antenna. Parameter yang diukur pada antenna ini dibagi menjadi dua bagian diantaranya pengukuran dalam dan pengukuran luar. Pengukuran dalam meliputi pengukuran *VSWR*, *bandwidth*, impedansi, *return loss* dan *mutual coupling*. Sedangkan untuk pengukuran luar meliputi pola radiasi, polarisasi dan *gain*. Pengukuran sendiri dilakukan di LIPI Bandung. Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran adalah sebagai berikut, Network Analyzer, Spectrum Analyzer, dan Sweep Oscillator.

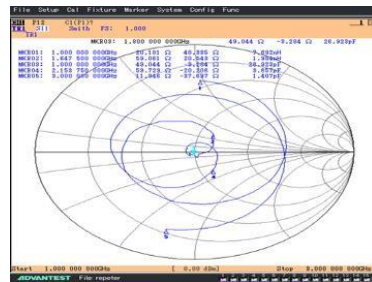
#### 4.2.2 Hasil Pengukuran dan Analisis



Gambar 11. Hasil Pengukuran VSWR

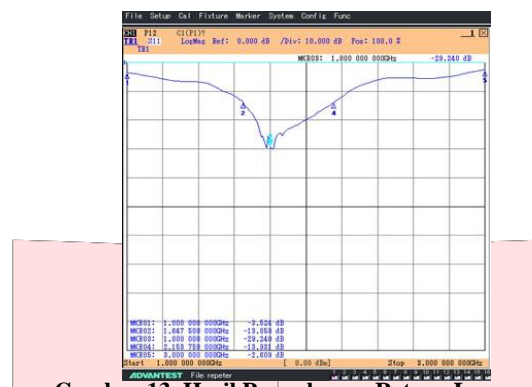
Pada pengukuran VSWR, seperti terlihat pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 1710-1805 MHz memiliki  $VSWR \leq 1.5$ , dan pada frekuensi 1800 MHz memiliki nilai VSWR sebesar 1,071. Dari hasil yang diperoleh, hal ini telah sesuai dengan spesifikasi awal yang diharapkan, yaitu bekerja pada frekuensi 1710-1805 MHz dan memiliki nilai  $VSWR \leq 1.5$ .





Gambar 12. Hasil Pengukuran Impedansi

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada frekuensi tengah 1800 MHz nilai impedansi yang terukur adalah  $49,044 - j3,204 \Omega$ . Jika impedansi diperoleh tepat  $50 \Omega$  maka VSWR akan sangat kecil, yaitu sebesar 1,00, yang artinya tidak terjadi pantulan, dengan kata lain  $\Gamma = 0$ , maka  $Z_{\text{saltran}} = Z_{\text{antena}}$ . Maka untuk frekuensi yang memiliki nilai VSWR mendekati 1, memiliki nilai impedansi yang terukur mendekati  $50 \Omega$ . Pada umumnya, saluran transmisi kabel koaksial alat ukur memiliki nilai impedansi standar  $50 \Omega$ .



Gambar 13. Hasil Pengukuran Return Loss

Pada gambar 4.4 frekuensi tengah 1800 MHz diperoleh nilai *return loss* sebesar  $-29,240 \text{ dB}$ . Nilai *return loss* merupakan parameter S yang memiliki implikasi nilai yang sama dengan VSWR. Tetapi level yang dihasilkan dalam bentuk decibel.

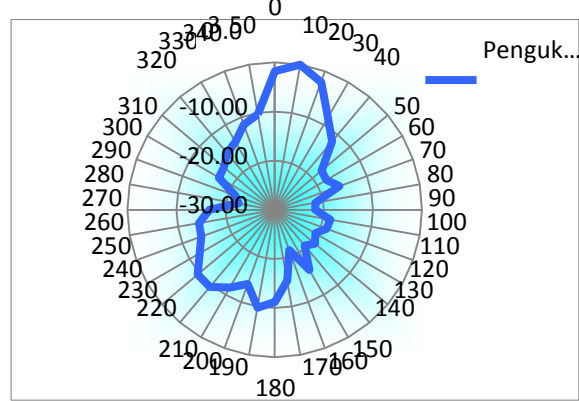
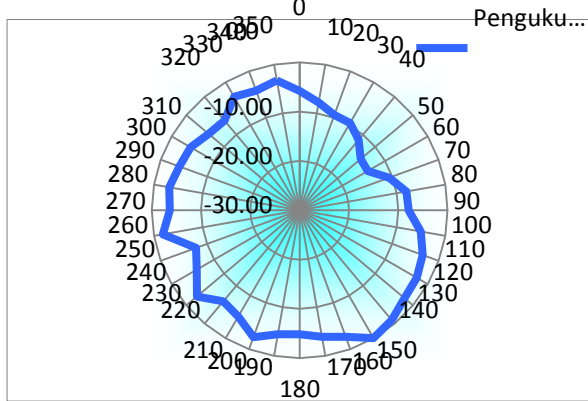
### 4.3 Pengukuran Polaradiasi, Polarisasi, dan Gain

#### 4.3.1 Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran polarisasi antenna tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan antenna pemancar ke *Sweep Oscillator* dan *Antena Under Test* (AUT) atau antenna penerima dihubungkan ke *Spectrum Analyzer*.
2. Atur jarak pengukuran untuk medan jauh
3. Antena penerima (AUT) diputar-putar setiap  $10^0$  sekali dengan cara diputar secara manual untuk pengukuran polaradiasi dan Antena penerima diputar horizontal setiap  $10^0$  per-pengukuran untuk polarisasi.
4. Catat hasilnya di dalam tabel (dalam setiap  $10^0$  per-pengukuran dan pencatatan data hasil dilakukan sebanyak dua kali), dan dimasukkan kedalam Microsoft Excel untuk diplot gambarnya.

4.3.2 Hasil Pengukuran dan Analisis



Gambar 14. Hasil Pengukuran Polaradiasi Azimuth

Gambar 15. Hasil Pengukuran Polaradiasi Elevasi

Gambar 7 merupakan hasil pengukuran pola radiasi azimuth dan hasil dari simulasi. Gambar 8 merupakan hasil pengukuran pola radiasi elevasi dan hasil dari simulasi. Dari hasil pengukuran polaradiasi dapat terlihat pola radiasi baik secara azimuth maupun elevasi. Hasil yang terjadi sudah mendekati spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Pola radiasi yang dimaksud adalah omnidireksional tetapi dengan level daya yang berbeda disetiap sudut nya. Untuk pengukuran polarisasi, dengan analisis rasio kuat medan elektrik yang diketahui bahwa axial rasio (AR) AUT adalah 7,98. Sehingga dapat diketahui bahwa Antena Under Test (AUT) berpolarisasi elips karena polarisasi linier axial rasio-nya adalah  $1 < AR < \infty$ , sedangkan axial rasio untuk polarisasi sirkular sama dengan 1 dan axial rasio untuk polarisasi linier sama dengan  $\infty$ .

4.4 Pengukuran Gain

4.4.1 Prosedur Pengukuran

Adapun langkah-langkah pengukuran gain antena adalah sebagai berikut:

1. Antena uji ditempatkan sebagai penerima yang akan menerima daya pancaran dari pemancar. Arahkan pada sumbu utama pola pancarnya. Catat daya yang terbaca pada Spectrum Analyzer (dBm).
2. Ganti antena uji dengan antena horn sebagai antena referensi. Catat daya yang terbaca pada Spectrum Analyzer.
3. Bandingkanlah kedua hasil, kemudian gain antena hasil pengukuran dihitung dengan Persamaan

$$G_{AUT(dBi)} = P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBm)} + 2,14 \text{ dBi}$$

Keterangan,

$G_{AUT(dBi)}$  = gain antena yang diukur

$P_{AUT(dBm)}$  = level daya terima AUT

$P_{REF(dBm)}$  = level daya terima antena referensi

4.4.2 Hasil Pengukuran dan Analisis

Pengukuran	Tabel 2. Hasil Pengukuran Antena			
	AUT		Referensi	
	(-dBm)	(dBm)	(-dBm)	(dBm)
1	21,52	-21,52	20,78	-20,78
2	21,58	-21,58	20,88	-20,88

3	21,42	-21,42	20,63	-20,63
4	21,54	-21,54	20,75	-20,75
5	21,64	-21,64	20,83	-20,83
6	21,51	-21,51	20,67	-20,67
7	21,57	-21,57	20,86	-20,86
8	21,38	-21,38	20,97	-20,97
9	21,40	-21,40	20,82	-20,82
10	21,53	-21,53	20,94	-20,94
<b>Rata-rata</b>	<b>20,509</b>	<b>-20,509</b>	<b>20,813</b>	<b>-20,813</b>

Dari hasil pengukuran yang diperoleh seperti pada Tabel 4.1, maka kita dapat mengetahui *gain* yang dihasilkan oleh antenna yang direalisasikan. Besarnya *gain* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan.

$$\begin{aligned}
 G_{\text{AUT}} &= P_{\text{AUT(dBm)}} - P_{\text{REF(dBm)}} + 2,14 \text{ dBi} \\
 &= -20,509 - (-20,813) + 2,14 \text{ dBi} \\
 &= 2,444 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$

#### 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran

Tabel 3. Perbandingan Spesifikasi, Simulasi, dan Realisasi Antena

Parameter	Spesifikasi Antena yang Diharapkan	Hasil Pengukuran Simulasi	Hasil Pengukuran Antena
Frekuensi kerja (VSWR $\leq 1,5$ )	1,7-1,805 GHz	1,62-1,9 GHz	1,65-2,15 GHz
VSWR pada frekuensi 1,7575GHz	$\leq 1,5$	1,2271	1,071
VSWR pada frekuensi 1,71 GHz dan 1,805 GHz	$\leq 1,5$	1,286 dan 1,225	1,101 dan 1,23
Impedansi	50 $\Omega$	56-j12,12 $\Omega$	49,004 - j5,577 $\Omega$
<i>Gain</i>	$1,5 \leq x \leq 3,5$ dBi	1,798 dBi	2,444 dBi
Pola Radiasi	<i>omnidirectional</i>	<i>omnidirectional</i>	<i>omnidirectional</i>
Polarisasi	Linear	Linear	Elips dengan nilai AR = 7,98



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi ini adalah sebagai berikut:

1. Performansi antenna hasil perancangan, Return Loss  $-29,24$ , VSWR  $1,071$ , Impedansi  $49,004 - j5,577 \Omega$ , pada frekuensi  $1800$  MHz dan *gain*  $2,444$  dBi.
2. Dari hasil pengukuran pola radiasi baik secara azimut maupun elevasi didapat hasil pola radiasi *omnidirectional*. Ini dapat disimpulkan bahwa pola radiasi antenna adalah omnidireksional tetapi dengan level daya yang berbeda disetiap sudut nya.
3. Pengaruh wire terhadap parameter adalah bandwidth antenna menjadi broadband.

### 5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi antenna yang cukup baik, maka ada beberapa hal yang bisa dijadikan saran sebagai perkembangan ke depannya, antara lain:

1. Untuk mendapatkan hasil antenna Cone yang lebih baik, disarankan untuk lebih selektif dalam memilih bahan *Material* yang akan digunakan dan penentuan dimensi antenna.
2. Untuk meningkatkan performansi antenna, selain beberapa faktor di atas, disarankan juga untuk memperhatikan faktor-faktor lain, seperti: ketelitian dalam pemasangan konektor dan pemilihan tempat dilakukannya pengukuran antenna secara medan jauh.
3. Dapat digunakan pada metode groundplane dan bahan *Material* lainnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Balanis, Constantine A.** (2005). *Antenna Theory Analysis And Design Third Edition*. JWS. New Jersey.
- [2] **Departemen Pendidikan Nasional.** (2002). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta. Balai Pustaka.
- [3] **Fang, D. G.** (2010). *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. New York.
- [4] **Krauss, John D.** (1988). *Antenas*, McGraw-Hill Book Company.
- [5] **Rahmat Dwi Cahyo, Yuli Christyono, Imam Santoso.** *Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip Array dengan Frekuensi 850 MHz untuk aplikasi Praktikum Antena*. Semarang. Tugas Akhir.
- [6] **S.Blanch, J.Romeu, I.Corbella,** *Exact Representation of Antenna System diversity Performance from Input Parameter Description, Electronics Letters, May 2003, vol 39, No.9, pp.705-707*
- [7] **Setiawan, Denny.** *Alokasi Frekuensi: Kebijakan dan Perencanaan Spektrum Indonesia*. Jakarta. Departemen Komunikasi dan Informatika Direktorat Jendral POS dan Telekomunikasi.
- [8] **Wahab, Mashury, dkk.** (2012). *Perbaikan, Pembuatan RF Head dan pembuatan Electronic Support Measure (ESM)*. PPET LIPI Bandung.
- [9] **Zulkifli, Fitri Yuli.** (2008). *Studi Tentang Antena Cone Dengan Defected Ground Structure (DGS)*. Depok. Desertasi.