

## ANTENA OMNIDIRECTIONAL ULTRA WIDE BAND (UWB) UNTUK APLIKASI ELECTRONIC SUPPORT MEASURE (ESM)

Amalina Muthiah<sup>1</sup>, Bambang Setia Nugroho<sup>2</sup>, Yuyu Wahyu<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>S1 Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, Bandung, Jl. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu 40257

<sup>3</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI, Bandung, Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI 40135

amalinamuthiah@student.telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Saat ini, semakin banyak negara di dunia yang menyadari keunggulan dari peperangan elektronika (*Electronics Warfare=EW*) dan kebutuhannya bagi suatu negara, termasuk juga Indonesia. Salah satu aplikasi teknologi yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah sistem radar yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengatur pancaran gelombang elektromagnetik di sekitarnya. Pada penelitian ini, telah dirancang dan direalisasikan antenna untuk sistem radar pasif pada teknologi ESM (*Electronic Support Measure*). Antena ini memiliki prinsip kerja sebagai penerima (*receiver*) saja. Pada teknologi ini, diperlukan antena yang bekerja pada frekuensi tinggi dan *bandwidth* yang sangat lebar, memiliki *gain* yang tepat serta pola pancar yang sesuai. Antena yang dirancang pada penelitian ini memiliki dua bagian, yaitu bagian atas yang merupakan *semi-circular ring antenna* dan bagian bawah yang merupakan *linearized cone antenna*. Antena ini memiliki karakteristik *Ultra Wide Band (UWB)* dan memiliki pola radiasi ke segala arah (*omnidirectional*). Yang mana karakteristik diatas sesuai dengan kebutuhan antena untuk teknologi ESM. Hasil pengukuran adalah antena memiliki  $VSWR \leq 2$  pada frekuensi 6-12 GHz dengan *gain* sebesar 1.19 dBi pada frekuensi 6 GHz dan 1.97 dBi pada frekuensi 9 GHz serta memiliki pola radiasi *omnidirectional*.

**Kata kunci:** ESM, *Ultra Wide Band*, *Omnidirectional*

### Abstract

Nowadays, many countries in the world are realizing the advantages of electronics warfare (EW) and their need for a country, including Indonesia. One application of technology that can be used to fulfill these needs is a radar system that has the ability to detect and manage the emission of electromagnetic waves around it. In this research, has been designed and realized an antenna for passive radar system on ESM (Electronic Support Measure) technology. The antenna is for receive only. In this technology, an antenna works at high frequency and very wide bandwidth, and need to have a proper gain and pattern. The proposed antenna that was designed in this research has two parts, the upper part is the semi-circular ring antenna and the bottom part is linearized cone antenna. This antenna has Ultra Wide Band (UWB) characteristics and has an omnidirectional radiation pattern. The measurement result is that for having  $VSWR \leq 2$ , this antenna has 6-12 GHz bandwidth with the gain of 1.19 dBi in 6 GHz and 1.97 dBi in 9 GHz.

**Keywords :** ESM, *Ultra Wide Band*, *Omnidirectional*

### PENDAHULUAN

Saat ini, semakin banyak negara di dunia yang menyadari keunggulan dari peperangan elektronika (*Electronic Warfare=EW*) dan kebutuhannya bagi suatu negara, termasuk

juga Indonesia. Salah satu aplikasi teknologi yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut ialah sistem radar yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengukur pancaran gelombang

elektromagnetik disekitarnya. Dalam hal ini, terdapat teknologi yang sedang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI yaitu teknologi *Electronic Support Measure* (ESM).

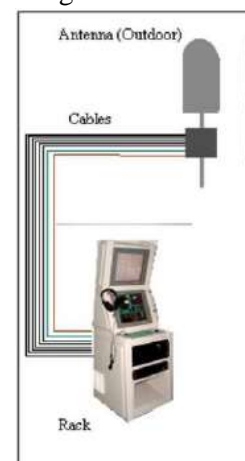
*Electronic Support Measure* (ESM) adalah bagian dari perangkat teknologi EW (*Electronic Warfare*) yang menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai sistem komunikasi. Perangkat yang bekerja pada sistem keamanan militer ini berfungsi sebagai penerima gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu benda, lalu gelombang tersebut diterima oleh ESM yang selanjutnya diproses dan dilakukan analisis untuk mendapatkan titik koordinat dimana lokasi benda berada serta informasi lainnya berupa identitas dari pengirim gelombang elektromagnetik tersebut. Untuk menjalankan perangkat ESM ini dibutuhkan antena sebagai penerima gelombang elektromagnetik. Dalam teknologi ini, diperlukan jenis antena yang dapat mendeteksi frekuensi dalam *range* yang lebar (*Ultra Wide Band*), selain itu diperlukan pola radiasi ke segala arah (*omnidirectional*) dan memiliki *gain* yang sesuai. Antena *Ultra Wide Band* (UWB) telah banyak digunakan pada sistem komunikasi nirkabel, *microwave imaging*, *electronic countermeasure*, radar dan lain lain. Antena UWB diharapkan mampu memberikan performansi yang tinggi dengan ukuran yang lebih kecil dan ringan dengan biaya yang efisien.

Untuk mendapatkan tujuan seperti yang diharapkan, pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan antena *omnidirectional* UWB yang dapat digunakan pada teknologi ESM. Antena didesain menggunakan kawat kuningan sebagai bahannya yang terdiri dari beberapa *semi-circular ring antenna* pada bagian atas dan ditambahkan *linearized cone antenna* pada bagian bawah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, antena yang dihasilkan dapat bekerja dari frekuensi 0.23GHz – 5.2GHz. Pada penelitian kali ini antena bekerja pada frekuensi 6-12 GHz dengan nilai  $VSWR \leq 2$ , memiliki daya pancar ke segala arah (*omnidirectional*) dan nilai  $gain \geq 1$  dBi.

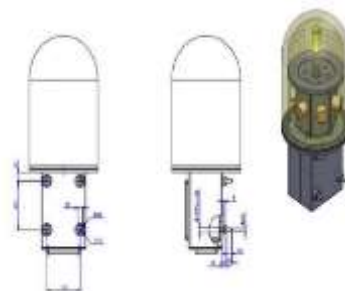
### **ELECTRONIC SUPPORT MEASURE**

*Electronic Support Measure* (ESM) merupakan teknologi yang biasa digunakan dalam bidang militer. Peran ESM dalam

perangkat militer yaitu sebagai alat untuk mendeteksi, mencegat, mengidentifikasi, menemukan, mencatat, dan atau menganalisa sumber energi elektromagnetik yang dipancarkan musuh yang masuk ke wilayah negara secara ilegal. Dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh perangkat pemancar dari musuh, ESM menerima sinyal gelombang elektromagnetik tersebut, kemudian diproses dan dianalisa sehingga diperoleh lokasi (posisi), kuat sinyal (*signal strength*) dan parameter lainnya. Dibawah ini adalah gambar ESM Station dan bentuk antena bagian luar dari ESM.



Gambar 1. ESM Station



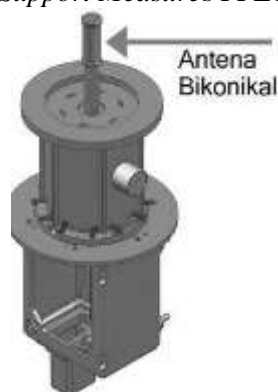
Gambar 2. Desain Mounting Antena

Gambar 1. merupakan ESM Station yang terdiri dari antena (*outdoor*), *cable set*, dan *monitor receiver*. Antena dipasang di luar ruangan sebanyak 6 buah secara melingkar 360°. Tiap antena terdiri dari frekuensi kerja yang berbeda, mulai dari *C-band*, *S-band* dan *KU-band*. Antena bekerja dengan pola radiasi direksional dan terdiri dari gabungan dari beberapa buah antena yang memiliki ciri khas nilai *beamwidth* tertentu. Penggabungan beberapa antena tersebut menggunakan *combiner*. Dari pancaran gelombang elektromagnetik yang diterima menghasilkan

parameter titik koordinat dan kuat sinyal dari pemancar. Karena digunakan untuk menangkap pesawat asing yang tidak diketahui frekuensinya, maka dibutuhkan karakteristik *bandwidth* lebar. Lalu juga diperlukan sudut pandang yang baik untuk menemukan target. Untuk spektrum frekuensi kerja dari ESM berkisar antara 2-18 GHz.

### ANTENA ESM

Antena merupakan suatu alat sebagai media penghubung gelombang terbimbing dengan gelombang ruang bebas dan sebaliknya. Dalam teknologi ESM, antena merupakan komponen yang sangat penting. Antena ESM terdiri dari 2 buah antena yaitu *omnidirectional* dan *directional*, antena *omnidirectional* berfungsi untuk menerima sinyal dari keliling area 360°, kemudian oleh bagian penerima sinyal tersebut diproses (demodulasi) sehingga diperoleh parameter seperti jenis modulasi, frekuensi dsb. Antena *directional* terdiri dari 6 buah antena dipasang membentuk lingkaran sehingga diperoleh sudut 360°. Dalam tulisan ini, dilakukan perancangan dan simulasi mengenai antena *omnidirectional* berbentuk bikonikal. Antena bikonikal memiliki sifat dengan *bandwidth* yang lebar (*ultra wide band*) yang sangat cocok digunakan pada aplikasi ESM, yang dapat mencakup frekuensi *S-band* (2-4 GHz), *C-band* (4-8 GHz), *X-band* (9-12 GHz) dan *Ku-band* (12-18 GHz). Gambar di bawah merupakan desain posisi antena bikonikal pada *Electronic Support Measures* PPET – LIPI.

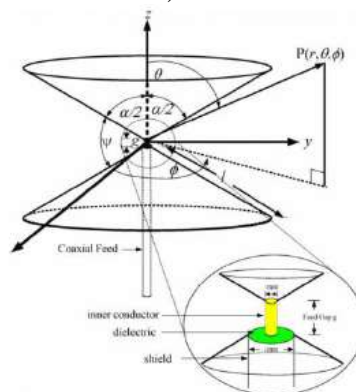


Gambar 3. Desain Posisi Antena Bikonikal pada ESM oleh PPET-LIPI

### ANTENA BIKONIKAL

Antena bikonikal merupakan antena yang memiliki bentuk yang terdiri dari 2 buah kerucut yang saling berhadapan antar masing-

masing kerucut, dengan kelebihan *bandwidth* yang lebar. Antena ini memiliki pola radiasi seperti koordinat bola dan mengarah ke segala arah (*omnidirectional*).



Gambar 4. Konfigurasi Antena Bikonikal

Konfigurasi antena bikonikal merupakan catuan kabel koaksial seperti dapat dilihat pada gambar di atas. Panjang *cone* pada antena bikonikal adalah  $l$ . Radius kerucut pada antena bikonikal dicari menggunakan rumus:

$$R = L \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$

Radius bagian *cone* bawah memiliki diameter jari-jari kabel koaksial, sudut antara dua kerucut adalah  $\psi$ . Kerucut atas dan bawah disusun secara simetris. Kerucut disusun sejajar dengan posisi kerucut saling berhadapan, dengan dipisahkan *Gap*.

### ULTRA WIDE BAND

Seiring dengan berkembangnya teknologi, pengaplikasian teknologi *ultra wide band* dalam berbagai aspek kehidupan juga makin berkembang. Salah satunya ialah untuk aplikasi radar atau militer. *Ultra wide band* merupakan salah satu teknologi radio yang memiliki durasi sinyal yang sangat pendek atau memiliki bit-bit pulsa yang pendek (umumnya dalam nano sekon) sehingga sinyal yang di transmisikan akan berada dalam orde gigahertz. Dengan bit-bit pulsa yang sangat pendek, maka sinyal UWB membutuhkan rentang frekuensi yang cukup lebar.

Pada tahun 2002 *Federal Communications Commission* (US-FCC) mengeluarkan peraturan bahwa penggunaan komunikasi UWB secara komersial berada diantara 3.1 – 10.6 GHz yang terbentang sangat lebar jauh dari sistem terestrial manapun. Syarat sebuah sinyal dikategorikan

sebagai UWB adalah memiliki *bandwidth* -10 dB yang lebih besar dari 500 MHz dan atau memiliki *fractional bandwidth* ( $B_f$ ) lebih besar dari 20%. *Fractional bandwidth* yang dimaksud adalah didefinisikan sebagai berikut:

$$B_f = 2 \frac{f_h - f_l}{f_h + f_l} = \frac{(f_h - f_l)}{f_c} \quad (2)$$

Keterangan :

$f_h$  = rekuensi tertinggi

$f_l$  = frekuensi terendah

$f_c$  = frekuensi tengah

### PENENTUAN BAHAN

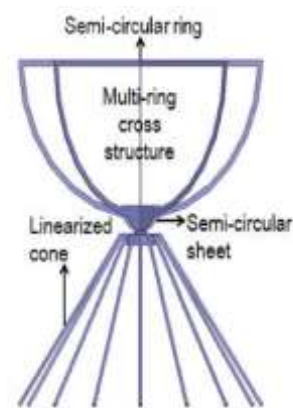
Bahan yang digunakan pada antenna yang dirancang ialah kuningan (*brass*). Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng dengan kadar tembaga 60-96% massa. Dalam perdagangan dikenal 3 jenis kuningan, yaitu kawat kuningan (*brass wire*) dengan kadar tembaga antara 62-95%, pipa kuningan (*seamless brass tube*) dengan kadar tembaga 60-90% dan plat kuningan (*brass sheet*) dengan kadar tembaga 60-90%. Karakteristik dari material kuningan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Permittivitas Relatif ( $\epsilon_r$ ) : 1
2. Permeabilitas Relatif ( $\mu_r$ ): 0.999991

Bahan kuningan digunakan karena kuningan adalah konduktor yang memiliki konduktivitas tinggi yang dapat menghantarkan gelombang dengan baik. Selain itu kuningan banyak tersedia dipasaran dan sangat ekonomis.

### PERANCANGAN SIMULASI

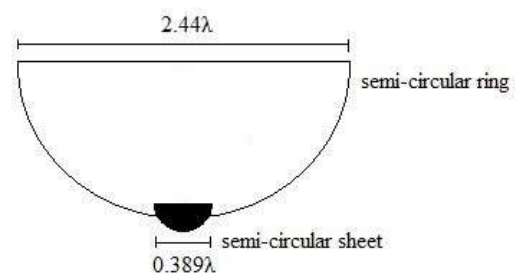
Simulasi antenna dalam penelitian ini menggunakan *software* simulasi. Bentuk antenna yang disimulasikan adalah antenna *semi-circular ring* dengan *linearized cone*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 5. Bentuk Antena

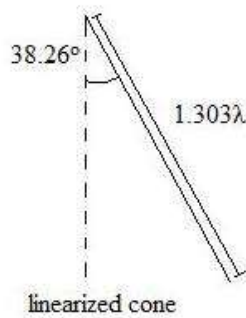
Dimensi antenna yang dirancang pada Tugas Akhir ini mengacu dari hasil penelitian sebelumnya. Pada penelitian tersebut, antenna bekerja pada frekuensi *Ultra Wide Band* (UWB) 0.23-5.2 GHz dengan frekuensi tengah ( $f_c$ ) sebesar 2.715 GHz dan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebesar 0.1105 m. Untuk antenna yang dirancang pada Tugas Akhir ini, dimensi yang akan digunakan ialah dengan merasiokan besar panjang gelombang yang didapatkan. Nilai dimensi yang didapatkan antara lain  $2.44\lambda$  untuk diameter *semi-circular ring*,  $0.389\lambda$  untuk diameter *semi-circular sheet*, dan  $1.303\lambda$  untuk panjang *linearized cone*.

Antena yang akan dibuat memiliki dua bagian, yaitu bagian atas yang merupakan *semi-circular ring antenna* dan bagian bawah yang merupakan *linearized cone antenna*. Antena bagian atas berfungsi sebagai *radiation unit* yang terdiri dari beberapa buah *semi-circular ring antenna* dan *semi-circular sheet*.



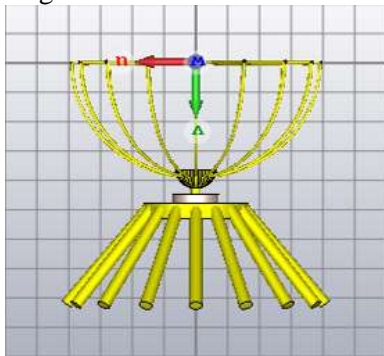
Gambar 6. Desain Antena Bagian Atas Tampak Samping

Antena bagian bawah berfungsi untuk meningkatkan radiasi ke arah depan dan mengurangi besar *side lobe*. Antena tersebut terdiri dari beberapa buah kawat kuningan yang disusun secara *uniform* dengan kemiringan sebesar  $38.26^\circ$ .



Gambar 7. Desain Antena Bagian Bawah Tampak Samping

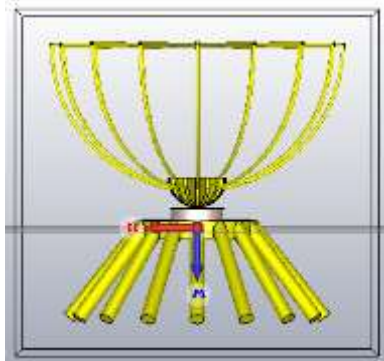
Di antara bagian atas dan bawah antena terdapat *Air gap*. Sementara itu, antena dicatu dengan konektor N yang mana bagian luar konektor terhubung dengan bagian bawah antena dan bagian dalam konektor terhubung dengan bagian atas antena.



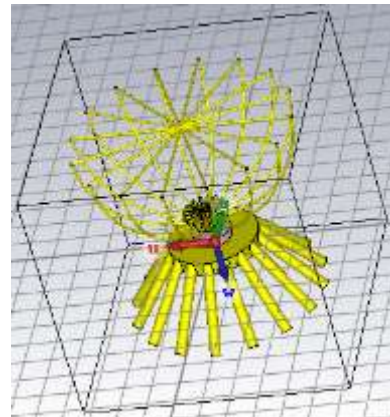
Gambar 8. Desain Antena Keseluruhan Tampak Samping

**DESAIN ANTENA**

Pada desain antena ini, terdapat 8 buah *semi-circular ring* dan *semi-circular sheet* pada bagian atas yang disusun memutar dengan 16 buah *linearized cone* di bagian bawah dengan kemiringan sebesar 38.26°. Di bawah ini merupakan gambar desain serta dimensi dari antena optimasi.



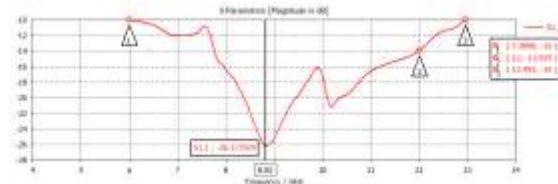
Gambar 9. Desain Antena Tampak Samping



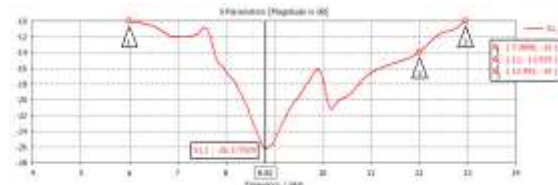
Gambar 10. Desain Tiga Dimensi Antena

Tabel 1. Besar Nilai Parameter Antena

Parameter	Nilai (mm)
<i>Air gap</i>	0.4
Diameter <i>semi circular ring</i>	81
Diameter <i>semi circular sheet</i>	16.2
Panjang <i>linearized cone</i>	32.4
Diameter kawat <i>semi circular ring</i>	1
Diameter kawat <i>linearized cone</i>	4
Tebal <i>semi circular sheet</i>	1



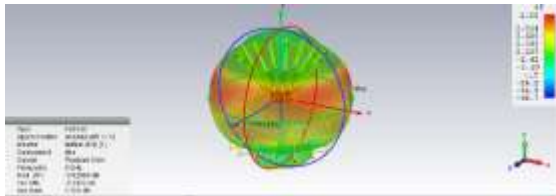
Gambar 11. Hasil Simulasi *Return Loss*



Gambar 12. Hasil Simulasi VSWS

Berdasarkan hasil simulasi Gambar 11 terlihat bahwa pada rentang frekuensi 6-12 GHz menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB dengan nilai *return loss* terkecil sebesar -26.177029 dB di frekuensi 8.82 GHz.

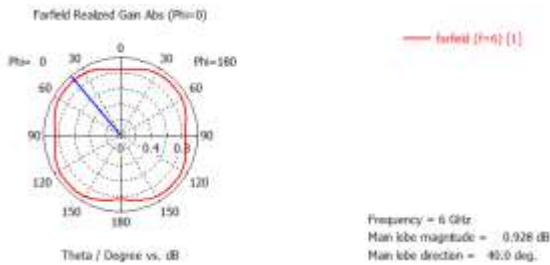
Berdasarkan hasil simulasi Gambar 12 terlihat bahwa pada rentang frekuensi 6-12 GHz menghasilkan nilai VSWS  $\leq 2$  dengan nilai VSWS terkecil sebesar 1.1032874 di frekuensi 8.82 GHz.



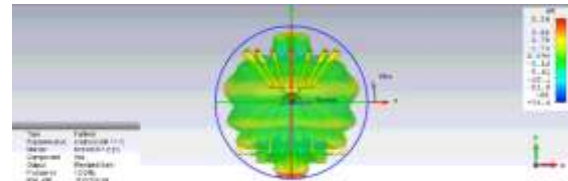
Gambar 13. Pola Radiasi 3 Dimensi pada Frekuensi 6 GHz



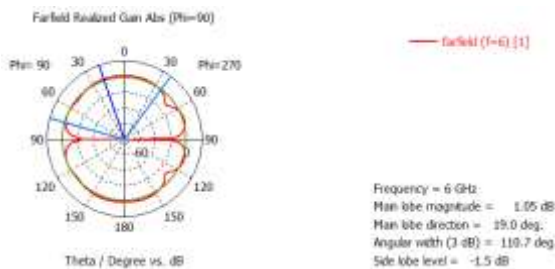
Gambar 18. Pola Radiasi Elevasi pada Frekuensi 9 GHz



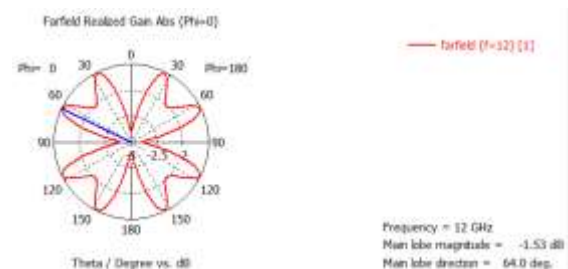
Gambar 14. Pola Radiasi Azimuth pada Frekuensi 6 GHz



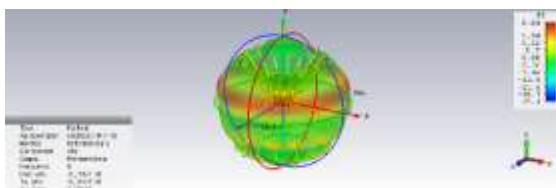
Gambar 19. Pola Radiasi 3 Dimensi pada Frekuensi 12 GHz



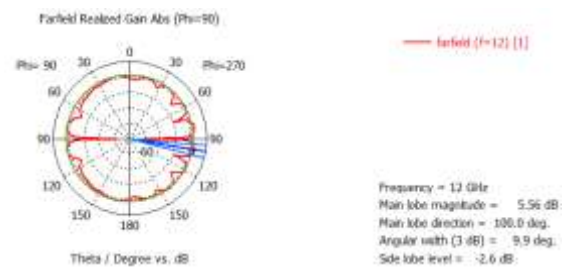
Gambar 15. Pola Radiasi Elevasi pada Frekuensi 6 GHz



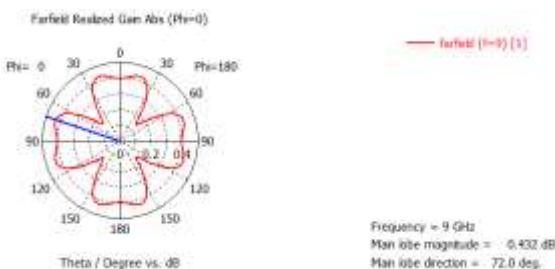
Gambar 20. Pola Radiasi Azimuth pada Frekuensi 12 GHz



Gambar 16. Pola Radiasi 3 Dimensi pada Frekuensi 9 GHz



Gambar 21. Pola Radiasi Elevasi pada Frekuensi 12 GHz



Gambar 17. Pola Radiasi Azimuth pada Frekuensi 9 GHz

Pada Gambar 13 sampai Gambar 21 dapat dilihat bahwa antenna dapat memancarkan radiasi ke segala arah (*omnidirectional*) dengan nilai *gain* sebesar 1.255 dB pada frekuensi 6 GHz, 2.239 dB pada frekuensi 9 GHz dan 5.581 dB pada frekuensi 12 GHz.

**REALISASI ANTENA**

Setelah dilakukan simulasi, langkah selanjutnya ialah realisasi antenna. Fabrikasi dari antenna dilakukan secara manual sehingga

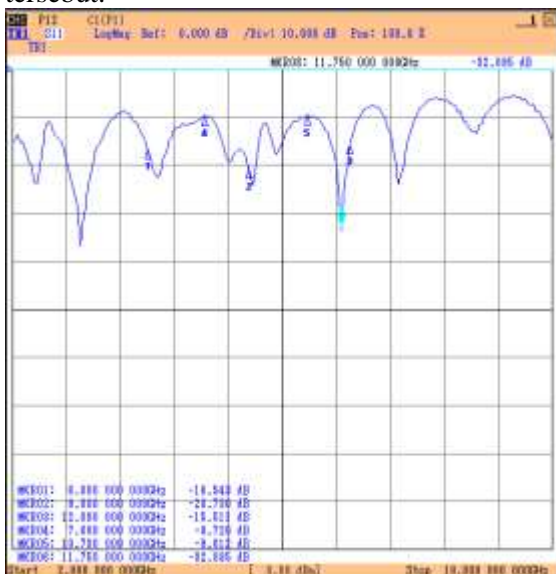
dimensi dari antenna realisasi tidak presisi terhadap antenna hasil simulasi. Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan antenna ini adalah kawat dan plat kuningan, kawat las grilot, timah serta konektor N. Antena hasil realisasi dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Realisasi Antena

**HASIL PENGUKURAN**

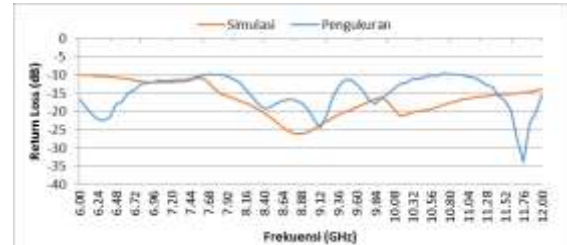
Pada Gambar 23 merupakan hasil pengukuran *return loss* antenna frekuensi 6-12 GHz. Dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang di hasilkan  $\leq -10$  dB hampir pada seluruh frekuensi. Nilai *return loss* tertinggi terjadi pada frekuensi 10.73 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -9.612 dB dan nilai *return loss* terendah terjadi pada frekuensi 11.75 GHz dengan nilai *return loss* sebesar -32.895 dB. Meskipun terdapat nilai *return loss* yang nilainya lebih dari -10 dB namun, antenna tetap dapat bekerja dengan baik di frekuensi tersebut.



Gambar 23. Grafik Nilai Return Loss

Gambar 24 menunjukkan perbandingan dari nilai *return loss* simulasi dengan

pengukuran, nilai *return loss* saat pengukuran memberikan hasil yang baik seperti pada simulasi. Hanya saja, saat simulasi pada frekuensi 6-12 GHz seluruhnya memberikan nilai *return loss* kurang dari -10 dB sedangkan pada hasil pengukuran terdapat nilai *return loss* lebih dari -10 dB pada frekuensi sekitar 7.68 GHz dan 10.73.



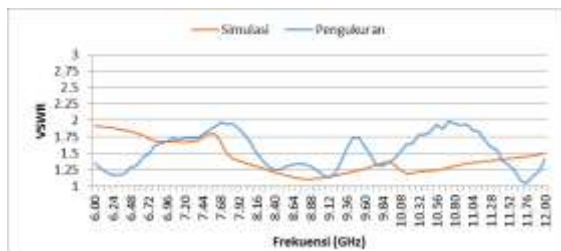
Gambar 24. Perbandingan Return Loss Hasil Simulasi dan Pengukuran

Pada Gambar 25 merupakan hasil pengukuran VSWR antenna frekuensi 6-12 GHz. Dapat dilihat bahwa nilai VSWR yang dihasilkan  $\leq 2$  pada seluruh frekuensi. Nilai VSWR tertinggi terjadi pada frekuensi 10.73 GHz dengan nilai VSWR sebesar 1.988 dan nilai VSWR terendah terjadi pada frekuensi 11.75 GHz dengan nilai VSWR sebesar 1.047.



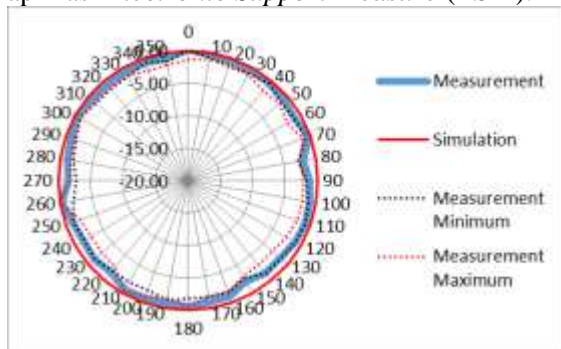
Gambar 25. Grafik Nilai VSWR

Gambar 26 menunjukkan perbandingan nilai VSWR antara simulasi dengan realisasi, nilai VSWR saat realisasi memberikan hasil yang baik seperti pada simulasi yaitu lebih kecil dari 2.

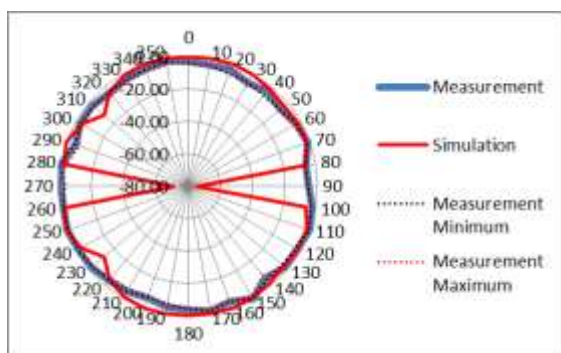


Gambar 26 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dan Pengukuran

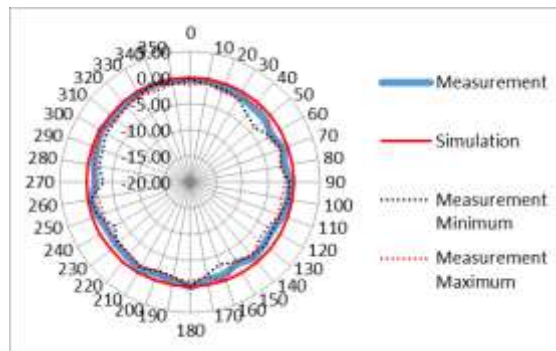
Nilai dari hasil pengukuran yang berbeda terhadap hasil simulasi dikarenakan dimensi antenna realisasi yang kurang presisi. Selain itu juga bisa disebabkan karena solder yang tidak rapi atau las yang terlalu panas. Namun, dari seluruh hasil pengukuran parameter dalam dapat disimpulkan bahwa seluruh antenna bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi maka layak digunakan untuk aplikasi *Electronic Support Measure (ESM)*.



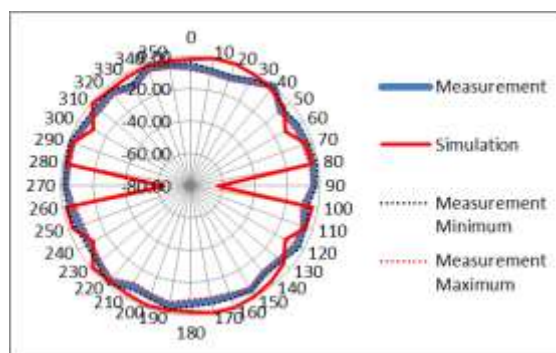
Gambar 27. Perbandingan Pola Radiasi Azimuth Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 6 GHz



Gambar 28. Perbandingan Pola Radiasi Elevasi Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 6 GHz



Gambar 29. Perbandingan Pola Radiasi Azimuth Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 9 GHz



Gambar 30. Perbandingan Pola Radiasi Elevasi Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 9 GHz

Pada Gambar 27 sampai Gambar 30 dapat dilihat perbandingan pola radiasi simulasi dan pengukuran pada frekuensi 6 GHz dan 9 GHz. Pola radiasi pada frekuensi-frekuensi tersebut menunjukkan antenna memancarkan daya ke setiap sudut atau kesegala arah. Dengan begitu, antenna ini memiliki pola radiasi *omnidirectional* yang sesuai dengan spesifikasi antenna *Electronic Support Measure*.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Gain Simulasi dan Pengukuran

Frekuensi	Simulasi	Pengukuran
6 GHz	1.255	1.19
9 GHz	2.239	1.97

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai *gain* saat simulasi dan pengukuran. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai *gain* sebesar 1.19 dBi pada frekuensi 6 GHz dan 1.97 dBi pada frekuensi 9 GHz. Dapat dilihat bahwa nilai *gain* yang di dapat dari hasil pengukuran memiliki nilai yang berbeda dengan hasil



simulasi. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti terdapat gelombang pantulan saat transmisi yang menyebabkan daya terima yang kurang baik. Namun, hasil dari pengukuran masih memberikan nilai *gain* yang dapat membuat antena tetap dapat bekerja dengan baik.

## SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari proses perancangan, simulasi serta realisasi dari antena *Ultra Wide Band Omnidirectional* pada frekuensi 6-12 GHz untuk aplikasi *Electronic Support Measure* (ESM) pada penelitian ini antara lain, antena telah dirancang dan disimulasikan menggunakan *software* simulasi dan direalisasikan menggunakan bahan kuningan, hasil pengukuran antena yang dirancang dan direalisasikan antara lain nilai  $VSWR \leq 2$  pada frekuensi 6-12 GHz, pola radiasi *omnidirectional*, dan nilai *gain* sebesar 1.19 dBi pada frekuensi 6 GHz dan 1.97 dBi pada frekuensi 9 GHz, antena telah memenuhi karakteristik sehingga bisa digunakan pada teknologi *Electronic Support Measure* (ESM) pada frekuensi 6 – 12 GHz dan pada hasil simulasi dan pengukuran terdapat beberapa perbedaan namun masih memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- F. R. a. Regulation, UWB First Report and Order, Washington DC, USA: FCC, 2002.
- H. H. Chotimah, "Rancangan dan Realisasi Antena Horn Conical Pada Frekuensi KU-Band 12-18 GHz untuk *Electronic Support Measure*," in *Universitas Telkom*, Bandung, 2015.
- H. Sulistiyo, "Antena Susunan Log Periodik Dipole Cetak untuk ESM S-Band," in *Universitas Telkom*, Bandung, 2017.
- K. Raplin, M. Komsak, S. Nipapon and K. Sompol, "Design Compact Biconical Antenna for UWB Applications," in *International Symposium on Intelligent Signal Processing dan Communication System (ISPACS)*, 2011.
- M. Wahab, D. Rudyat, A. Santiko and N. Susanti, "Research and Development of RF Head and Baseband Processing of *Electronic Support Measure* (ESM)," in *ICRAMET*, Surabaya, 2013.
- N. Lirong, W. Yingbing, M. Yan and L. Rong, "A Novel *Ultra-Wide Band Omnidirectional Antenna* with *Lightweight Design*," in *IEEE*, 2015.
- T. PPET-LIPI, *Penelitian dan Pengembangan RF Head dan Baseband Processing Electronic Support Measure (ESM)*, Bandung: LIPI, 2012.
- V. Sipal, B. Allen, D. Edwards and B. Honary, "Twenty Years of *Ultra Wide Band* : Opportunities and Challeges," *IET Communications*, vol. 6, no. 10, pp. 1147-1162, Jul. 2012.
- Y. P. Saputera, F. Oktafiani and Y. Wahyu, "Antena Bikonikal Tabung untuk Aplikasi Radar *Electronic Support Measures* dengan Pola Radiasi *Omnidirectional* pada Frekuensi 2-18 GHz," *Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 13, no. 1, 2013.
- Y. Saputera, Y. Wahyu and M. Wahab, "Spiral Antenna for *Electronic Support Measures* (ESM) application 2-18 GHz," in *ICRAMET*, Surabaya, 2013.
- Zhi Ning Chen, "UWB Antennas Design and Application Information," in *Communications & Signal Processing*, 2007.