

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA HORN DENGAN METODE 3D PRINTING PADA FREKUENSI S-BAND

DESIGN AND REALIZATION OF ANTENNA HORN WITH 3D PRINTING METHOD FOR S-BAND FREQUENCY

Arya Pradana¹, Dharu Arseno², Edwar³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

arpradanaap@students.telkomuniversity.ac.id¹, heroe@telkomuniversity.ac.id²,

edwarm@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Metode fabrikasi Antena merupakan langkah penting dalam merealisasikan sebuah desain antena. Tingkat keakuratan serta waktu fabrikasi adalah masalah yang sering ditemukan dalam proses fabrikasi. Metode 3D *printing* merupakan proses fabrikasi sebuah desain antena menggunakan printer khusus 3D dengan tingkat keakuratan dan waktu pencetakan yang dapat diestimasi. Untuk mendapatkan performansi antena yang sesuai dengan perancangan maka proses fabrikasi antena harus memperhatikan keakuratan untuk menghasilkan performansi yang dibutuhkan. Dalam penelitian Tugas Akhir ini untuk menambah referensi dibidang keilmuan serta bereksperimen dengan metode fabrikasi, bahan pelapisan, dan mendapatkan biaya fabrikasi yang lebih terjangkau, Maka dirancang dan direalisasikan sebuah antena *horn* bermodel *pyramidal* dengan metode fabrikasi 3D *printing* menggunakan jenis bahan dasar pencetakan PLA (*polylactic acid*) dan hasil pencetakan pada bagian dalam antena *horn* dilapisi dengan *copper tape*. Bagian perancangan dan realisasi, Perhitungan dimensi dilakukan secara matematis dan mengikuti *datasheet* ukuran *waveguide rectangular* (WR 284). Hasil perancangan awal dioptimasi kembali dan mendapatkan hasil simulasi optimal antena *horn* efektif pada rentang frekuensi kerja 2,8-4 GHz (S-Band) dengan *bandwidth* 1193 MHz. Hasil simulasi desain teroptimal yang bagian luarnya dilapisi material plastik terdapat perbedaan pada frekuensi 3 GHz yaitu *returnloss* mengalami pengurangan dari -51,263 dB menjadi -36,555 dB sedangkan nilai VSWR material *copper* saja dan bagian luar *copper* dilapisi plastik adalah 1,006 dan 1,03 dan nilai *gain* memiliki hasil yang sama yaitu 11,47 dB. Hasil akhir yang didapat setelah realisasi dan pengukuran adalah antena *horn* memiliki VSWR sebesar 1,26 pada frekuensi 3 GHz, *Bandwidth* 1250 MHz pada rentang frekuensi 2,4-3,65 GHz, Polarisasi sirkular, Pola radiasi Uni-direksional, dan *Gain* sebesar 11,6 dB pada frekuensi 3 GHz.

Kata Kunci : *Antena Horn, 3D Printing, S-Band.*

Abstract

Antenna fabrication method is an important step in realizing an antenna design. The level of accuracy and time of fabrication are problems that are often found in the fabrication process. The 3D printing method is the process of fabricating an antenna design using a special 3D printer with an estimated level of accuracy and printing time. To get the antenna performance in accordance with the design, the antenna fabrication process must pay attention to accuracy to produce the required performance. In this final project research to add references in the field of science and experiment with fabrication methods, coating materials, and get more affordable fabrication costs, a pyramidal horn antenna was designed and realized with 3D printing fabrication method using PLA (polylactic acid) printing base material. and the print on the inside of the horn antenna is coated with copper tape. The design and realization section, dimension calculations are carried out mathematically and follow the rectangular waveguide size datasheet (WR 284). The results of the initial design are optimized again and get optimal simulation results of the effective horn antenna in the working frequency range of 2,8-4 GHz (S-Band) with a bandwidth of 1193 MHz. The results of the optimal design simulation where the outside is coated with plastic material, there is a difference at a frequency of 3 GHz, namely the return loss has decreased from -51,263 dB to -36,555 dB while the VSWR value of copper material only and the outside of copper coated with plastic is 1,006 and 1,03 and the gain value has the same result is 11,47 dB. The final result obtained after realization and measurement is that the horn antenna has a VSWR of 1,26 at a frequency of 3 GHz, a Bandwidth of 1250 MHz in a frequency range of 2.4-3.65 GHz, Circular Polarization, Uni-directional radiation pattern, and a Gain of 11,6 dB at 3 GHz frequency.

Keywords : *Horn Antenna, 3D Printing, S-Band.*

1. Pendahuluan

Metode Fabrikasi sebuah Antena merupakan salah satu bagian yang harus diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan yang akan membutuhkan proses pencetakan ulang dan menambah biaya fabrikasi. Ketika merancang suatu antena, ketelitian perancangan harus diperhatikan untuk mendapatkan keakuratan desain dan performansi sesuai yang diharapkan. Maka metode pembuatan sangat menentukan kelayakan dari purwarupa antena yang akan di uji untuk merealisasikan hasil desain dan optimasi antena.

Salah satu solusi untuk memperoleh hasil fabrikasi antena yang akurat serta dapat diestimasi waktu pencetakannya yaitu menggunakan metode 3D Printing. Teknologi 3D printing ini sebenarnya sudah berkembang sejak sekitar tahun 1980 namun belum begitu dikenal hingga tahun 2010 ketika mesin cetak 3D ini dikenalkan secara komersial. Dalam sejarahnya Printer 3D pertama yang bekerja dengan baik dibuat oleh Chuck Hull dari 3D System Corp pada tahun 1984.

Antena Horn memiliki berbagai jenis dan modifikasi sesuai dengan kebutuhan pada penerapannya. Antena Horn merupakan jenis antena yang berbentuk seperti corong dan mampu bekerja pada frekuensi frekuensi yang tinggi. Jenis antena ini memiliki karakteristik berupa gain yang tinggi dan bandwidth yang lebar sehingga pengaplikasiannya cukup banyak, seperti sebagai pemancar untuk satelit dan peralatan komunikasi di seluruh dunia, serta sebagai antena referensi pengukuran [1]. Hal ini karena antena Horn mempunyai beberapa karakteristik khusus seperti: eksitasi mudah, fabrikasi relatif sederhana, performa gain dan direktivitas yang tinggi, dan kemampuan daya yang tinggi [2]. Namun antena ini juga memiliki kekurangan, yaitu dari segi dimensinya yang cukup besar, sehingga kurang bersifat low profile.

Pada Penelitian Tugas Akhir ini diusulkan perancangan Antena Horn menggunakan metode fabrikasi 3D printing dengan frekuensi kerja antena yang ingin dicapai untuk penelitian ini, yaitu pada rentang S-band (2– 4 GHz). Selain sebagai antena referensi pengukuran, antena horn dengan rentang frekuensi S-band dipilih karena penggunaannya yang cukup luas, antara lain dapat menjadi antena referensi pengukuran, kemudian dapat difungsikan sebagai komunikasi satelit atau peralatan transceiver radar [3].

Penelitian ini diawali dengan menentukan seluruh spesifikasi untuk pembuatan desain antena yang akan disimulasikan dan dioptimasi. Kemudian dilakukan pencetakan hasil desain Antena Horn dengan metode 3D printing berbahan dasar *Polylactic Acid*.

Pada Akhirnya, Hasil pencetakan bagian dalam Antena akan dilapisi *Copper Tape* yang kemudian akan dilakukan pengujian untuk didapatkan analisis pengaruh pada desain simulasi yang memiliki lapisan plastik dengan desain tanpa plastik untuk dilihat perbedaan dari pengaruh bagian pelapisan. kemudian menganalisa hasil desain pelapisan dengan hasil implementasi untuk memvalidasi hasil dari simulasi dan optimasi yang mengacu pada frekuensi S-band [3][4][5].

2. Dasar Teori

2.1 Metode 3D Printing

3D printing adalah proses yang akan diaplikasikan dalam pembuatan antena horn tiga dimensi dari desain digital. Karena merupakan purwarupa hasil cetakan 3D, maka antena ini memiliki volume sehingga dapat dipegang secara langsung. Pada dasarnya memang tidak jauh berbeda dari alat printing biasa, hanya saja output yang dihasilkan berupa 3D. Dimana materi digabung di bawah kontrol komputer untuk membuat antena tiga dimensi, dengan material yang ditambahkan bersama-sama. Percetakan 3D digunakan dalam pembuatan purwarupa.

Metode 3D printing ini sangat memungkinkan untuk menggunakan bahan seminimal mungkin saat memproduksi suatu bagian. Dalam 3D printing, jenis material yang paling sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan objek adalah PLA (Polylactic Acid).

2.2 Frekuensi S-Band

Frekuensi S-Band adalah bagian dari pita gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik yang mencakup frekuensi dari 2 hingga 4 Gigahertz (GHz). Pada S-Band khususnya rentang frekuensi 3,3-4,2 GHz merupakan salah satu calon pita frekuensi tengah di bawah 6 GHz untuk teknologi 5G[13]. Frekuensi S-band digunakan sebagian besar untuk komunikasi, seperti digunakan untuk mengeluarkan sinyal darurat serta untuk mengirimkan data hingga status waktu *realtime* untuk kondisi lalu lintas, cuaca, dan berbagai satelit komunikasi.

2.3 Definisi Antena

Antena merupakan suatu perangkat pemancar untuk merambatkan dan menerima gelombang radio atau elektromagnetik[8]. Arti pemancaran adalah proses perpindahan gelombang radio atau elektromagnetik dari saluran transmisi ke ruang bebas melalui antena pemancar. Sedangkan penerimaan adalah proses penerimaan gelombang radio atau elektromagnetik dari ruang bebas melalui antena penerima. Sebagai perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan saluran pencatunya.

2.4 Parameter Umum Antena Horn

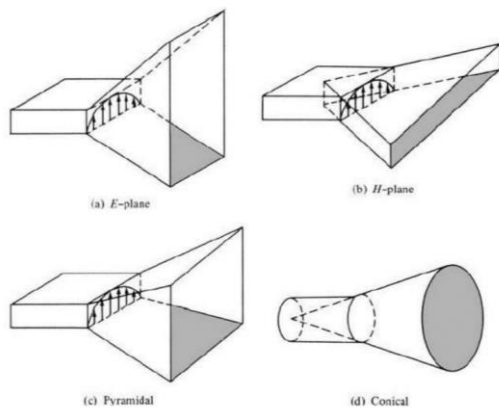
Sebagai gambaran kinerja dan karakteristik sebuah antena diperlukan berbagai parameter antara lain adalah : *VSWR*, *Return Loss*, Impedansi Antena, *Bandwidth*, *Beamwidth*, *Gain*, Pola radiasi, Polarisasi, Daerah Antena, keterarahan (*directivity*).

2.5 Antena Horn

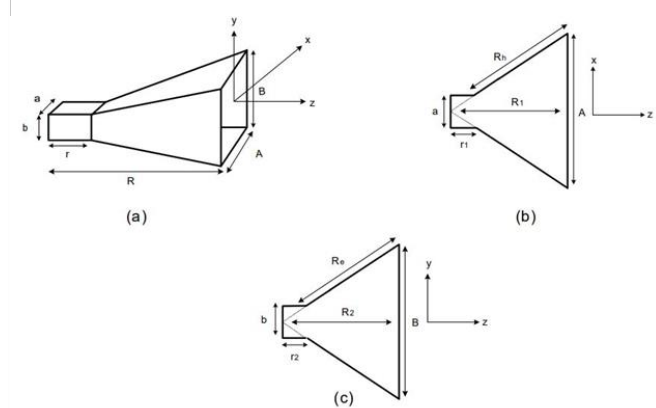
Antena horn merupakan salah satu antena microwave yang sederhana dan dapat digunakan secara luas menurut karakteristiknya. contohnya sebagai antena pengukuran. Antena horn umumnya digunakan sebagai standar untuk kalibrasi dan pengukuran gain untuk antena-antena dengan gain besar. Antena horn merupakan sebuah *hollow pipe* yang membesar (*taper*) kearah mulut horn. Jenis, arah dan besar dari *taper* berpengaruh pada performansi dari antena horn. Penggunaan yang luas merupakan pengaruh dari kemudahan pembuatan antena Horn dan kekuatan gain yang besar serta kemampuan daya total dalam memancarkan gelombang elektromagnetik sehingga antena ini banyak dipakai[8].

Antena Horn dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu:

1. Antena Horn sektoral bidang-E
2. Antena Horn sektoral bidang-H
3. Antena Horn Piramidal
4. Antena Horn Conical



Gambar 2.2 Jenis-jenis Antena Horn



Gambar 2.3 Bagian dimensi antena horn piramida[10]

Untuk mencari nilai dimensi R_e dan R_h menggunakan persamaan (2.6), (2.7), (2.8), dan (2.9) sebagai berikut[10].

$$R_e = \lambda \sqrt{K} \tag{2.6}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2.7}$$

$$K = \left(\frac{10^{G/10}}{15,7497} \right)^2 \tag{2.8}$$

$$R_h = \frac{K \lambda^2}{R_e} \tag{2.9}$$

Untuk mencari dimensi aperture antena, yaitu bagian mulut antena horn sisi A dan B diperoleh dengan persamaan (2.10) dan (2.11) berikut[10].

$$A = \sqrt{3 R_h \lambda} \tag{2.10}$$

$$B = \sqrt{2 R_h \lambda} \tag{2.11}$$

Maka panjang antena untuk masing-masing bidang H (R_1) dan bidang E (R_2) dapat ditentukan dengan persamaan (2.12) dan (2.13) berikut [10].

$$R_1 = R_h \left[1 + \left(\frac{a}{2A} \right) + \left(\frac{b}{2B} \right) \right] \tag{2.12}$$

$$R_2 = R_e \left[1 + \left(\frac{a}{2A} \right) + \left(\frac{b}{2B} \right) \right] \tag{2.13}$$

Karena nilai dari R_1 dan R_2 adalah sama, maka untuk perhitungan selanjutnya hanya diperlukan nilai tunggal yaitu panjang antena horn (R)[10].

$$R = R_1 = R_2 \tag{2.14}$$

Kemudian panjang pandu gelombang antena horn piramida bidang H (F_1) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15), (2.16), dan (2.17) berikut[10].

$$R_{xh} = \sqrt{R_h^2 - \left(\frac{A-a}{2} \right)^2} \tag{2.15}$$

$$R_{zh} = \sqrt{R_{xh}^2 - \left(\frac{B-b}{2} \right)^2} \tag{2.16}$$

$$F_1 = R_1 - R_{zh} \tag{2.17}$$

Sedangkan panjang pandu gelombang antena horn piramida bidang E (F_2) dapat dicari menggunakan persamaan (2.18), (2.19), dan (2.20) berikut [10].

$$R_{xe} = \sqrt{R_e^2 - \left(\frac{B-b}{2} \right)^2} \tag{2.18}$$

$$R_{ze} = \sqrt{R_{xe}^2 - \left(\frac{A-a}{2} \right)^2} \tag{2.19}$$

$$F_2 = R_2 - R_{ze} \quad (2.20)$$

Kemudian untuk pembuatan pandu gelombang (*waveguide*) dapat menggunakan persamaan berikut (2.21) [11].

$$f_{c,mn} = \frac{1}{2\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)} \quad (2.21)$$

Jika $V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\pi}}$ (2.22)

Maka,

$$f_{c,mn} = \frac{V}{2} \sqrt{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)} \quad (2.23)$$

Keterangan :

$f_{c,mn}$ = frekuensi cut off (dalam Hz)

μ = permeabilitas ruang hampa

ϵ = permitivitas ruang hampa

V = cepat rambat gelombang elektromagnetik

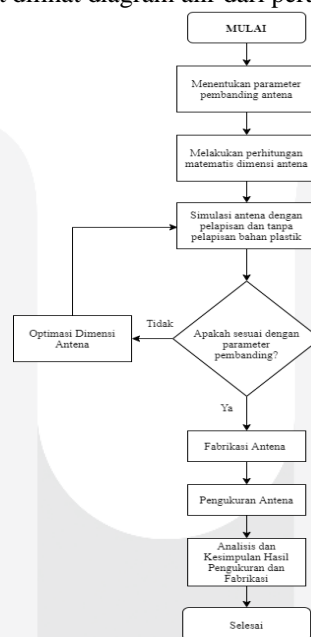
3. PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM

3.1 Tahap Perancangan Antena

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sebuah antena *horn* dengan metode fabrikasi pencetakan 3D Printing dengan pelapisan bagian dalam menggunakan bahan konduktor yaitu *Copper Tape*, untuk menghasilkan analisis perbandingan dari hasil simulasi dan realisasi. Sebagai arah perancangan maka harus ditentukan spesifikasi perbandingan agar mempermudah penelitian. Maka ditentukan untuk merancang sebuah antena *horn* dengan frekuensi kerja S-Band dengan batas $VSWR \leq 2$ dan $Gain \geq 10$ dBi.

3.2 Diagram Alir

Pada gambar 3.1 di bawah dapat dilihat diagram alir dari perancangan sistem.



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan system

Tahap perancangan antena klakson pada penelitian ini dilakukan seperti terlihat pada flow chart yang ditunjukkan pada Flow chart di bawah ini. Setelah menentukan spesifikasi perbandingan, langkah selanjutnya adalah perhitungan matematis untuk menentukan dimensi antena sebelum tahap simulasi dan fabrikasi. Pada tahap simulasi antena menggunakan Software Antenna Simulator. Setelah mendapatkan hasil optimasi simulasi sesuai dengan parameter perbandingan, tahap selanjutnya adalah realisasi desain antena horn dengan metode 3D printing berbahan PLA dan setelah itu dilakukan pelapisan *copper tape* pada prototype antena. Kemudian dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data perbandingan antara hasil realisasi dan simulasi.

3.3 Parameter Perbandingan Antena

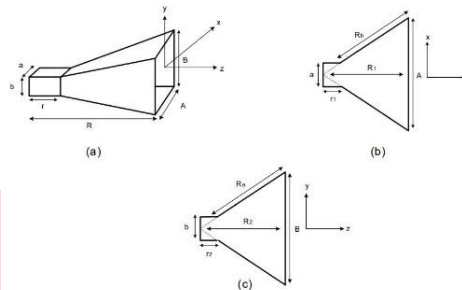
Dalam penelitian Tugas Akhir ini parameter perbandingan sebagai arah perancangan antena *horn* metode pencetakan 3D Printing memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Jenis antena : Antena *Horn Pyramidal*
2. Material : PLA (*Polylactic Acid*) dan *Copper Tape*
3. Frekuensi kerja : 2-4 GHz (S-Band)
4. Gain : ≥ 10 dBi
5. VSWR : ≤ 2

- 6. Impedansi : 50Ω
- 7. Pola Radiasi : Unidireksional

3.4 Perhitungan Dimensi Antena

Dengan memperhatikan parameter pembanding antena yang telah ditentukan. Tahap selanjutnya melakukan perhitungan dimensi antena. Dalam hal ini terlebih dahulu digunakan nilai frekuensi (f) tengah S-Band = 3 GHz dan nilai $gain$ (G) = 10 dBi untuk mencari nilai λ dan nilai K .



Gambar 3.2 Dimensi-dimensi antena *horn* piramida

3.5 Desain dan Simulasi

Berdasarkan perhitungan matematis yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil dimensi awal yang dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

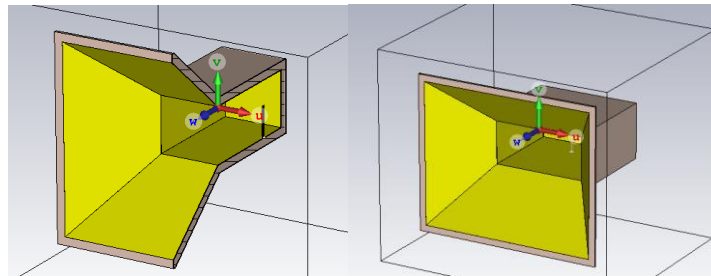
Tabel 3.1 Parameter Dimensi Awal

Nama Parameter	Waveguide Perhitungan	Waveguide datasheet	keterangan
A	13,8 cm	13,8 cm	Sisi <i>aperture</i> A
B	11,27 cm	11,27 cm	Sisi <i>aperture</i> B
a1	5 cm	7,21 cm	Sisi <i>waveguide</i> a
b1	2,5 cm	3,4 cm	Sisi <i>waveguide</i> b
E	8,2 cm	8,97 cm	Panjang total antena
F	6,9 cm	5,24 cm	Panjang <i>waveguide</i>
pm	2,5 cm	2,5 cm	Panjang Monopole
t	F/2	F/2	Jarak Monopole dari dinding belakang <i>waveguide</i>

Proses optimasi bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari simulasi sebelumnya. Optimasi dilakukan dengan menggeser ukuran dimensi antena. Hasil dimensi Optimasi dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Parameter Dimensi Optimasi

Simbol	Ukuran	keterangan
A	13,8 cm	Sisi <i>aperture</i> A
B	11,27 cm	Sisi <i>aperture</i> B
a1	7,21 cm	Sisi <i>waveguide</i> a
b1	3,4 cm	Sisi <i>waveguide</i> b
E	11,6 cm	Panjang total antena
F	6,9 cm	Panjang <i>waveguide</i>
pm	1,9 cm	Panjang Monopole
t	2 cm	Jarak Monopole dari dinding belakang <i>waveguide</i>



Gambar 3.25 Desain antenna yang sudah terlapis dengan bahan plastik

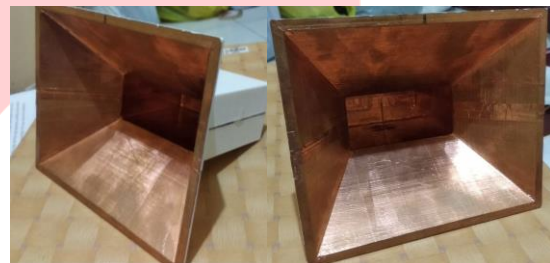
Berdasarkan grafik *return loss* pada Gambar 3.26 hasil pelapisan bahan plastik terhadap antenna berbahan tembaga mendapatkan hasil pada frekuensi kerja optimal mulai di 2.8082 GHz dengan nilai sebesar -10,185 dB, pada frekuensi 3 GHz didapatkan nilai -36,555 dB, pada Frekuensi 4 GHz dengan nilai -18.095 dB, dan pada frekuensi 4,4432 GHz bernilai -10,021 dB.

3.7 Pencetakan Antena

Berdasarkan dimensi yang telah masuk kedalam kategori parameter perbandingan serta melakukan perbandingan antara desain antenna dilapisi *Polycarbonate*. Maka tahap selanjutnya adalah pencetakan antenna. Pencetakan antenna *horn* ini menggunakan Jasa Cetak 3D Printing di PT. Simbur Cahaya Utama (DR3D).



Gambar 3.31 Hasil Pencetakan 3D Printing



Gambar 3.33 Hasil pelapisan *copper tape* dan pemasangan konektor

4. Pengukuran dan Analisis

4.1 Pengukuran VSWR dan Bandwidth

Pada tahap pengukuran VSWR dilakukan pada ruangan Satcommradar Telkom University. Pengukuran bertujuan mendapatkan hasil pengukuran *prototype* antenna *horn* serta mengetahui seberapa besar gelombang berdiri akibat dari superposisi sinyal datang dan sinyal pantul terjadi. Dalam hal ini elah ditetapkan pada parameter pembanding nilai VSWR ≤ 2 .



Gambar 4.1 Grafik VSWR simulasi dan pengukuran

Tabel 4.1 VSWR hasil simulasi dan pengukuran

Frekuensi	Parameter Pembanding	Simulasi	Pengukuran
3000 MHz	≤ 2	1,03	1,26

Tabel 4.2 Bandwidth hasil simulasi dan pengukuran

Frekuensi	Parameter Pembanding	Simulasi	Pengukuran
3000 MHz	2000 MHz	S-Band (1193 MHz)	1250

A.) Pengukuran Gain

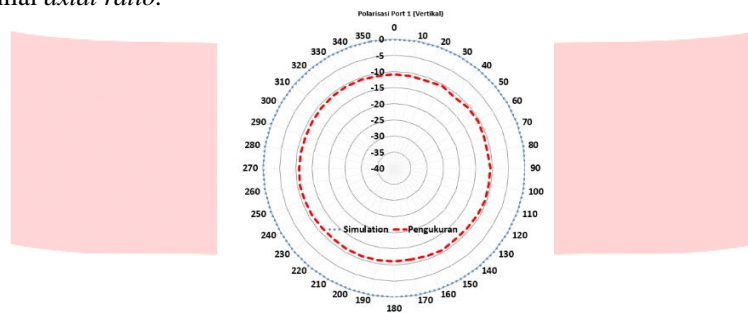
nilai daya terima diambil pada sudut 0° antara Tx (pengirim) dan Rx (penerima). Kemudian nilai Prx diambil sebanyak 10 kali dengan waktu interval 30 detik, sehingga dari nilai yang telah diambil dapat dihitung nilai rata-ratanya yaitu -62,1 dBm.

Tabel 4.4 Perbandingan hasil *Gain*

Jenis	Parameter Perbandingan	Simulasi	Pengukuran
<i>Horn</i>	≥ 10 dB	11,47 dB	11,6 dB

B.) Pengukuran Polarisasi

Tahap pengukuran polarisasi ditujukan untuk melihat arah medan elektrik dari gelombang yang dipancarkan oleh *prototype* antena *horn* yang diukur. Jenis polarisasi antena dapat diketahui dengan melihat perbandingan pada nilai *axial ratio*.

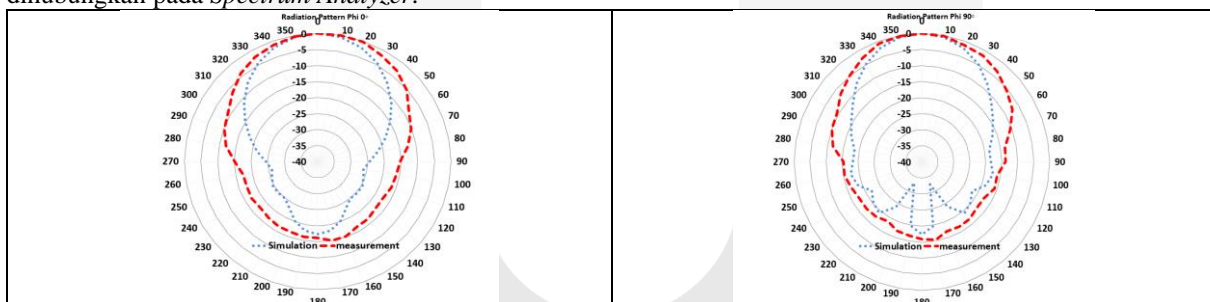


Gambar 4.2 Hasil pengukuran polarisasi

Frekuensi	Hasil	Jenis Polarisasi
3000 MHz	1,08	sirkular

C.) Polaradiasi

Seperti pada Gambar 4.2, konfigurasi pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menggunakan antena pemancar yang dibangkitkan menggunakan SG. Dengan jarak tertentu, terdapat antena yang akan diuji yang dihubungkan pada *Spectrum Analyzer*.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran polaradiasi azimuth dan elevasi

Berdasarkan hasil yang didapat pada Gambar 4.3, dapat dilihat yaitu pola radiasi azimuth pengukuran *prototype* antena *horn* dengan phi = 0 didapatkan nilai *main lobe direction* memiliki arah 0° uni-direksional. Dari Gambar 4.4 didapatkan hasil pola radiasi elevasi antena dengan phi = 90° didapatkan nilai *main lobe direction* memiliki arah 0° uni-direksional.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan realisasi antena *horn* metode 3D *printing* pada frekuensi S-Band yang telah dilaksanakan penulis mendapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan antena *horn* pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan perhitungan dimensi *waveguide* matematis dan *waveguide datasheet* yaitu WR 284.
2. Optimasi desain berdasarkan hasil simulasi kedua perhitungan *waveguide* yang dilakukan iterasi.
3. Hasil optimasi mendapatkan pada rentang S-Band frekuensi *cutoff* bawah pada 2,8 GHz, frekuensi tengah pada 3 GHz, frekuensi *cutoff* atas pada 4 GHz atau secara menyeluruh diperoleh pada rentang frekuensi kerja 2,8 – 4,4 GHz.
4. Hasil pelapisan bagian luar material *copper* menggunakan bahan plastik hanya terdapat perbedaan pada hasil *return loss* yaitu -36,555 dB sedangkan sebelum dilapisi hanya material tembaga sebesar -51,263 dB.

5. Berdasarkan hasil simulasi penambahan lapisan material plastik terhadap sisi bagian luar *copper* memiliki pengaruh terhadap frekuensi resonansi antenna yaitu berkurangnya nilai *return loss* pada saat seluruh daya dipancarkan secara maksimal.
6. Nilai VSWR terendah yaitu pada simulasi bermaterial hanya *copper* saja pada frekuensi 3 GHz yaitu 1,006 dibandingkan dengan lapisan luar dilapisi plastik bernilai sebesar 1,03. Berdasarkan pengukuran hasil VSWR realisasi adalah 1,26.
7. Nilai Bandwidth yang didapatkan pada simulasi dengan bagian material *copper* adalah 1193 MHz didalam rentang S-Band atau 1660 MHz keseluruhan. Sedangkan hasil realisasi sebesar 1250 MHz.
8. *Gain* yang didapatkan saat simulasi optimal terlapis adalah 11,5 dB sedangkan hasil realisasi sebesar 11,7 dB.
9. Polarisasi yang dihasilkan yaitu berjenis sirkular.
10. Pola radiasi yang dihasilkan yaitu berjenis uni-direksional

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat menjadi sebuah pengembangan lebih baik lagi dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan pencetakan dengan desain full tanpa pembagian elemen.
2. Menggunakan bahan pelapisan lain seperti *Copper Spray*.
3. Menggunakan monopole dengan diameter dan lokasi penempatan yang berbeda.
4. Melakukan optimasi dimensi seperti miniaturisasi antenna.
5. Melakukan pengukuran di ruangan *anechoic chamber* agar tidak terganggu sinyal atau interferensi dari elemen lain.

REFERENSI

- [1] T. H. Gan & E. L. Tan, "Design of Broadband Circular Polarization Truncated Horn Antenna with Single Feed", *Progress in Electromagnetics Research C*, Vol.24, 197-206, 2011.
- [2] M. Botello-Perez, H. Jardon-Aguilar, and I. G. Ruiz, "Design and simulation of 1-14 GHz broadband electromagnetic compatibility DRGH antenna," *ICEEE-ICE, 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pp. 118-121, Sept. 2005.
- [3] M. Ichsan, F. Teknik, P. Studi, and T. Elektro, "Rancang bangun antenna horn menggunakan teknik penambahan batang metal yang bekerja pada frekuensi 2,8 GHz–3,1 GHz, Muhammad Ichsan, FT UI, 2012," 2012.
- [4] Caca Maulana, Dwi Andi Nurmantris, S.T., M.T. 1, Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T. 2, "Perancangan dan Realisasi antenna Double-ridged Horn untuk standar pengukuran antenna," vol. 4, p. 1, 2018.
- [5] Yohandri, Yohandri, et al. "Rancang Bangun Sistem Ground-Based Synthetic Aperture Radar Gb-Sar) Untuk Deteksi Dini Bencana Longsor." 2016.
- [6] PUTRA, Kumara Sadana, Sari, Ulin Ranicarfita. "Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup". In: *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*. STMIK Pontianak, p. 917-922, 2018.
- [7] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION*, United States of America.: A JOHN WILEY & SONS, INC, 2005.
- [8] M. Q. Khairuzzaman, *Pozar. Microwave Engineering*, vol. 4, no. 1. 2016.
- [9] Yadava, R. L. *Antenna And Wave Propagation*. New Delhi: PHI Learning Private Limited. 2011.
- [10] P. Triyoga, "Optimasi Perencanaan Antena Horn Piramida dengan menggunakan Algoritma Genetik," Universitas Diponegoro, Semarang. 2011.
- [11] Fitriana, W. A., Syihabuddin, B., & Wahyu, I. Y. (n.d.). "Antena Horn Piramida untuk *Electronic Support Measure* pada frekuensi L-Band *Electronic Support Measure Pyramidal Horn Antenna for L-Band*." 2018.
- [12] Pradono, Wirianto., Hamjen, Hilarion., Hidayat, Iswahyudi. "KAJIAN FREKUENSI KA-BAND UNTUK KOMUNIKASI SATELIT." 2016.
- [13] Yuniarti, Diah., Ariansyah, Kasmad Ariansyah., Heppy A, Vidyantina. "Studi Sharing IMT dan FSS pada pita 3,4-4,2 GHz." 2018.