

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN FREKUENSI 1,4-4,4 GHz UNTUK GROUND PENETRATING RADAR

DESIGN AND REALIZATION 1,4-4,4 GHz MICROSTRIP ANTENNA FOR GROUND PENETRATING RADAR

Achmad Alwan F¹, Dharu Arseno S.T.,M.T.², Dr. Antonius Darma Setiawan³
^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹achmadalwanf@student.telkomuniversity.ac.id,²darseno@telkomuniversity.ac.id,³-

Abstrak

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan radar yang berfungsi untuk mendeteksi benda yang ada di dalam tanah. Dalam perkembangannya, GPR memiliki berbagai macam aplikasi, diantaranya mendeteksi kerusakan di dalam tembok hingga mendeteksi pipa didalam tanah. Dalam pendeteksian pipa dibutuhkan resolusi yang baik agar dapat membedakan pipa didalam tanah dengan objek disekitarnya. Maka dibutuhkan Antena yang memiliki *bandwidth* yang lebar untuk mengakomodir hal tersebut. Selain itu diperlukan juga antena yang memiliki pola *radiasi unidirectional*, sehingga radar dapat bekerja dengan optimal. Pada penelitian ini dirancang antenna mikrostrip jenis vivaldi. Antena Vivaldi memiliki kelebihan yaitu bekerja dengan baik pada *Ultra Wide-Band (UWB)*. Karakteristik UWB yang memiliki pulsa yang sempit akan menghasilkan resolusi yang baik. Penambahan beban sirkular pada lengan vivaldi akan meningkatkan *bandwidth* dari antena, dan untuk pencatutan antena menggunakan pencatutan *microstrip line*. Perancangan antena dimulai dengan simulasi perangkat lunak, kemudian di fabrikasi, dengan bahan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,4 yang memiliki ketebalan 1,6mm. Hasil perancangan memiliki nilai *return loss* dibawah -10 dB dan nilai *VSWR* dibawah 2 dengan *gain* 8,038 dBi untuk simulasi, dan untuk hasil fabrikasi memiliki *return loss* dibawah -10 dB dan nilai *VSWR* dibawah 2 dengan *bandwidth* 3GHz dan *gain* 6,384 dBi. Sehingga antena yang dirancang memenuhi spesifikasi yang diperlukan..

Kata kunci: GPR, Antena Vivaldi , Resolusi , Ultra Wide-Band

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) are radar which have function to detect object burried at ground. On development, GPR have variety of application, like detection of broken structure inside wall until pipe detection on ground. For pipe detection, is needed good resolution in order to distinguish between pipe with other object around them. Then needed antenna which have wide bandwidth to accomodate that. Also needed unidirectional radiation pattern for antenna , so radar can work optimally. In this research design an antenna vivaldi type. Antenna vivaldi have profit is can work well on *Ultra Wide-Band(UWB)*. UWB have characteristic which have narrow pulse will produce good resolution. Adding a circular load on vivaldi arm will increase antena bandwidth. And for antenna feed will use *microstrip line* technique. The Antenna design start with software simulation, then fabrication, with using FR-4 as substrate material which have dielectric constant 4,4 and thickness 1,6mm. Then design result have *return loss* value below -10 dB and *VSWR* value below 2 with 8.038 dBi *gain* value, and for fabrication result have *return loss* value below -10 dB and *VSWR* value below 2 with 3 GHz bandwidth and 6,384 dBi *gain* value. Then antenna designed meet the requied specification.

Keywords: GPR, Vivaldi antenna, Resolution, Ultra Wide-Band

1. Pendahuluan

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan salah satu teknik *geophysical* yang telah digunakan dalam satu dekade terakhir. GPR menggunakan medan elektromagnetik untuk menyelidiki material dielektrik yang terdeteksi di dalam tanah dan perubahan material yang ada di dalam tanah [1]. Salah satu aplikasi dari GPR adalah untuk mendeteksi pipa yang berada di bawah tanah. Secara teori semakin besar frekuensi yang digunakan dalam antena maka panjang gelombang

yang dapat dikirimkan juga semakin kecil, yang menyebabkan jarak penetrasi pada radar semakin pendek [2]. Untuk pendeteksian pipa di dalam tanah dibutuhkan jarak penetrasi yang baik diimbangi dengan resolusi yang tinggi yang lebih baik daripada 10 cm agar dapat membedakan antara pipa dengan benda lainnya. Untuk memenuhi hal tersebut dibutuhkan antenna yang dapat memancarkan *bandwidth* pulsa yang lebar, yaitu Antena *ultra wideband* (UWB). Sebuah perangkat antenna dapat dikategorikan sebagai *ultra wide band* ketika memiliki *fractional bandwidth* bernilai lebih besar dari 0,25 [3]. Sehingga dipilihlah frekuensi operasi 1,4 – 4,4 GHz, karena frekuensi tersebut tergolong UWB. Untuk pola radiasi dari antenna *Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah pola radiasi unidirectional, dikarenakan dalam penerapan *Ground Penetrating Radar* (GPR) target yang dideteksi terletak di bawah medium (1 arah). Antenna dengan pola radiasi lebih dari 1 arah akan menyebabkan *Clutter* sehingga menurunkan akurasi pendeteksian [4]. Teknologi yang digunakan untuk aplikasi *Ground Penetrating Radar* (GPR) ini menggunakan antenna mikrostrip dengan bentuk *patch* Vivaldi dengan bahan substrat FR-4 dengan $\epsilon_r = 4,3$. Teknologi ini dipilih karena antenna jenis ini merupakan opsi terbaik untuk frekuensi *ultra-wide bandwidth* [5]. Berdasarkan konfigurasi patchnya, antenna vivaldi dibagi menjadi 2 jenis, yaitu Coplanar dan Antipodal. Bentuk Coplanar memiliki kelemahan di teknik pencatutan yang digunakan. Pencatutan yang digunakan pada bentuk coplanar yaitu *microstrip-to-slotline* memiliki rugi-rugi radiasi yang tinggi sehingga dibutuhkan *stub* yang berbentuk kipas yang dapat merusak pola radiasi antenna tersebut pada frekuensi tinggi [5]. Sehingga dipilih bentuk Antipodal yang dapat menggunakan teknik pencatutan *microstrip line feed*. Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan dan realisasi antenna vivaldi antipodal dengan penambahan beban sirkular.

2. Dasar Teori

2.1. Ground Penetrating Radar (GPR)

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan sebuah alat yang menggunakan medan elektromagnetik untuk mendeteksi permukaan tanah dan material yang terkandung di dalamnya, menggunakan pemantulan dan perhitungan waktu transmisi sebagai dasar cara kerja GPR, pengaplikasiannya umumnya untuk mendeteksi material geologi yang ada di dalam tanah, tetapi GPR juga digunakan untuk mendeteksi komposit buatan manusia seperti beton, aspal dan material konstruksi lainnya, di material dielektrik merugi, medan elektromagnetik dapat melakukan penetrasi untuk kedalaman yang terbatas sebelum teredam, maka dari itu penetrasi menjadi masalah dalam GPR.

Dengan GPR, medan elektromagnetik pada dasarnya berpropagasi sebagai gelombang *non-dispersive*. Sinyal yang dipancarkan berjalan melewati material, itu tersebar dan/atau tercermin dari perubahan impedansi sehingga menciptakan kejadian yang nampak serupa dengan sinyal yang dipancarkan.

Daerah kerja GPR terjadi pada rentang frekuensi tertentu yang umumnya disebut sebagai *GPR Plateau* dimana kecepatan dan atenuasi nya hampir memiliki frekuensi tersendiri, *GPR plateau* biasanya terjadi pada frekuensi 1MHz sampai 100 MHz, Di Frekuensi terendah medan elektromagnetik menjadi memiliki karakter difusi dan pulsa nya tersebar dan saat di frekuensi tertinggi terjadi beberapa faktor yang meningkatkan peredaman sinyal sehingga jarak penetrasi menjadi sangat terbatas [1]

2.2. Ultra Wide-Band (UWB)

Ultra Wide-Band merupakan teknologi dimana sebuah perangkat memiliki *fractional bandwidth* (FBW) lebih dari 0,25 atau 25% [3]. Nilai *fractional bandwidth* dapat dicari dengan rumus [8] :

$$FBW = \frac{\Delta f}{f_o} \quad (2.1)$$

Dimana Δf merupakan *bandwidth*, nilai *bandwidth* dicari dengan mengurangi frekuensi atas antenna (f_2) dengan frekuensi bawah antenna (f_1). f_o merupakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja yang digunakan. Rumus dari Δf dan f_o didefinisikan sebagai berikut

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (2.2)$$

$$f_o = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad (2.3)$$

Ultra Wide-Band digunakan untuk mendapatkan nilai *range resolution* yang baik [9]. Sehingga dibutuhkan UWB untuk penelitian ini agar radar GPR memiliki *range resolution* yang baik

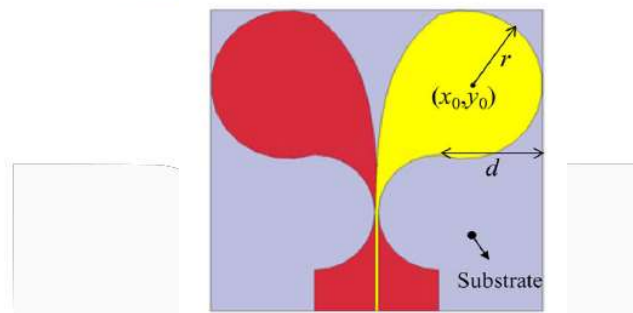
2.3. Antena Vivaldi

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang sering digunakan dikarenakan ukurannya yang kompak, mudah dalam fabrikasinya, dan bisa digunakan pada banyak aplikasi, dan salah satu jenis antena mikrostrip adalah antena vivaldi

Antena *vivaldi* pertama kali diperkenalkan oleh Gibson pada tahun 1979. Antena *vivaldi* memiliki frekuensi yang bebas yang dapat digunakan di berbagai gelombang frekuensi, dan memiliki bentuk yang meruncing secara eksponensial. Antena Vivaldi menjadi salah satu jenis antena yang banyak digunakan untuk aplikasi radar karena kelemahan antena mikrostrip konvensional yaitu bandwidthnya yang sempit dapat diatasi dengan bentuk patch vivaldi [7]. Dan untuk tugas akhir ini akan menggunakan antena vivaldi jenis Antipodal

2.3.1 Antena Vivaldi Sirkular

Antena vivaldi antipodal sirkular adalah antena vivaldi jenis antipodal yang pada lengannya ditambahkan beban sirkular dimana kedua lengannya saling berlawanan arah dengan penempatan berbeda, yang satu berada pada sisi atas antena dan yang lain berada pada bagian sisi bawah antena. Konfigurasi ini bertujuan untuk mengatasi masalah yang terjadi pada model *coplanar* [5]. bentuk antena vivaldi antipodal ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 1. Bentuk konfigurasi Antena Vivaldi antipodal sirkular

Dari gambar 2.3, *patch* bagian sisi atas dari antena vivaldi adalah yang berwarna kuning sedangkan bagian yang merah merupakan sisi bawah antena, dan bagian yang berwarna abu-abu merupakan substrat yang berada diantara kedua *patch*. Persamaan dari slot meruncing didefinisikan sebagai berikut [5]:

$$x = \begin{cases} w_0 - 0,5w_0 e^{\alpha y}, & x < 0 \\ -w_0 + 0,5w_0 e^{\alpha y}, & x > 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Sisi Bawah} \\ \text{Sisi Atas} \end{matrix} \quad (2.4)$$

Dimana w_0 merupakan lebar pencatutan mikrostrip, dan α merupakan tingkat dari transisi eksponensial yang dapat dicari nilainya dari rumus:

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \left(\frac{w_0 + 0,5w}{0,5w_0} \right) \quad (2.5)$$

Dimana l merupakan nilai panjang radiasi efektif dan w merupakan lebar aperture antena. Untuk menentukan letak beban sirkular didefinisikan dengan beberapa rumus, untuk jarak dari lengan didefinisikan dengan nilai d . Sedangkan untuk titik pusat didefinisikan dengan nilai (x_0, y_0) dan jari-jari beban sirkular didefinisikan dengan nilai r . Perhitungan untuk nilai tersebut didefinisikan sebagai berikut [5]:

$$\begin{cases} x_0 = r_0 + d - r \\ y_0 = r_0 + \frac{(1-r_0)}{2} \end{cases} \quad (2.6)$$

$$r = \frac{\frac{(1-r_0)}{2} + d^2}{2d} \quad (2.7)$$

2.4 Teknik Pencatutan dan Penyepadanan Impedansi

Teknik Pencatutan adalah cara yang digunakan untuk mengirimkan energi elektromagnetik menuju antenna. Teknik pencatutan antenna mikrostrip ada 4 jenis yaitu *microstrip line*, *probe coaxial*, *proximity coupling*, dan *aperture coupling*. [6] Untuk tugas akhir ini akan digunakan teknik *microstrip feeding*. Karena lebih mudah dalam fabrikasi dan pemasangan portnya. teknik ini merupakan teknik yang memang digunakan untuk antenna vivaldi [5] Untuk mendapatkan panjang dan lebar stripline (W_o dan l_o) diperlukan data yaitu impedansi karakteristik, konstanta dielektrik bahan dan tebal dielektrik (h). Jika semua data yang diperlukan telah ada maka digunakan persamaan berikut untuk mencari nilai W_o dan l_o [10]:

$$W_o = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right] \quad (2.8)$$

Dan Nilai B didapatkan dengan menggunakan rumus [10]:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_o \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

Untuk menghitung panjang saluran (l_o) digunakan rumus [10]:

$$l_o = 0,25 \lambda_g \quad (2.10)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.11)$$

$$\epsilon_{eff} = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W_o}}} + 0,04 \left(1 + \frac{W_o}{h} \right)^2 \right], & \frac{W_o}{h} \leq 1 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W_o}}} \right], & \frac{W_o}{h} > 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

3. Perancangan

3.1 Spesifikasi Antena

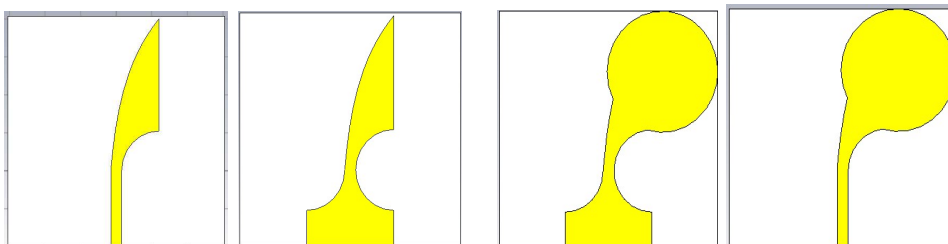
Berikut adalah spesifikasi yang dibutuhkan untuk pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 1 .Spesifikasi antenna untuk Ground Penetrating Radar

Spesifikasi Antena	Nilai
Frekuensi Kerja	1,4 – 4,4 GHz
Bandwidth	3 GHz
Bahan Antena	Konduktor menggunakan tembaga dengan tebal 0.035 mm dan substrat FR-4 dengan $\epsilon_r = 4,4$ dan ketebalan 1,6 mm
VSWR	≤ 2
Pola Radiasi	Unidirectional
Gain	$\geq 5,5$ dB

3.2 Perancangan Antena

Perancangan antenna dilakukan dengan perancangan antenna konfigurasi antipodal Vivaldi konvensional, Vivaldi dengan beban sirkular, serta proses optimasi dimensinya



Gambar 2.Desain Antena sisi depan dan belakang: (kiri) Vivaldi konvensional, (kanan) dengan beban sirkular

Tabel 2. Perbandingan dimensi antenna sebelum dan sesudah optimasi

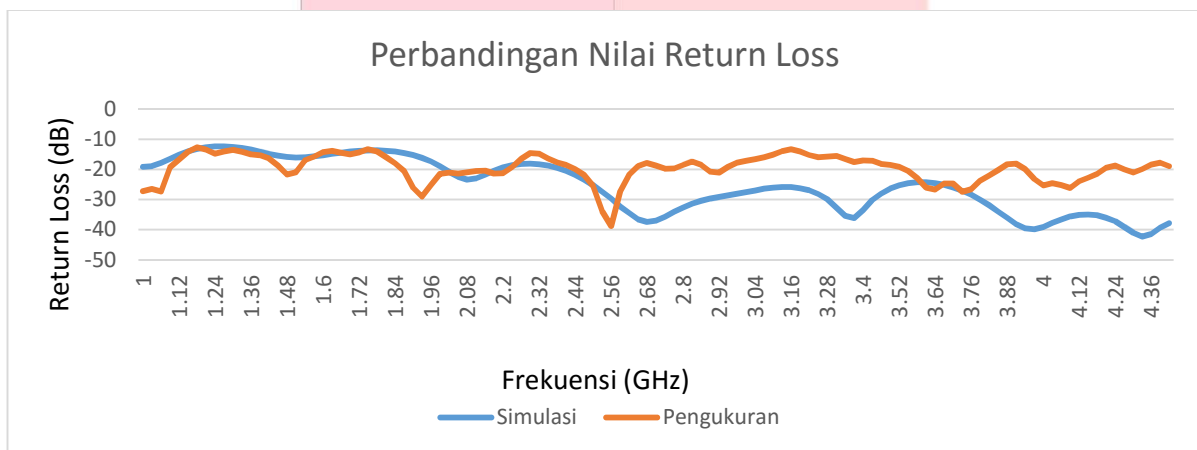
Dimensi Antena	Nilai sebelum optimasi (mm)	Nilai sesudah optimasi (mm)
Lebar catuan (w_0)	3.04	3.5
Panjang Catuan (l_0)	14.19	40
Panjang slot taper (l)	40	180
Lebar slot taper (w)	24	133
Lebar Beban Sirkular (d)	20	85

4. Pengukuran

Pengukuran parameter dalam antenna dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung dan

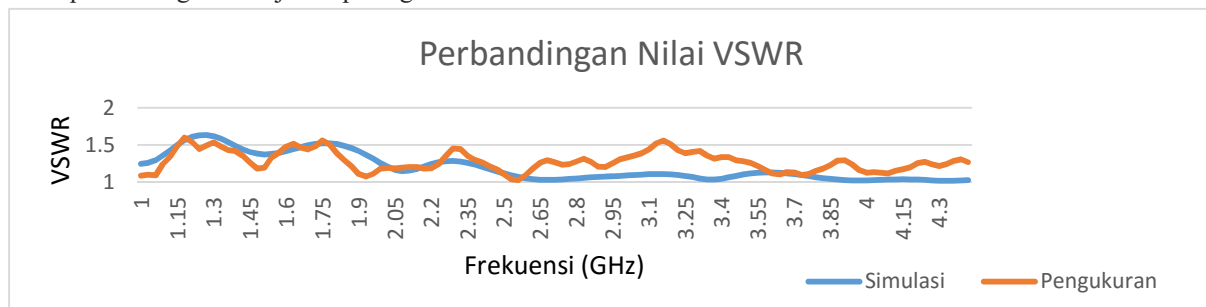
4.1. Return Loss

Berdasarkan pengukuran dengan *network analyzer*, didapatkan hasil perbedaan nilai *return loss* antara simulasi dengan pengukuran. Nilai *return loss* pada simulasi bernilai dari -14,356 hingga -38,88 dengan nilai *return loss* yang semakin baik di frekuensi yang tinggi sedangkan nilai *return loss* pada realisasi memiliki rentang dari -15,7108 hingga -26,0159 dengan nilai *return loss* berfluktuasi di frekuensi tertentu.. Dengan acuan *return loss* di bawah -10 dB, rentang frekuensi 1,4-4,4 GHz maka nilai *return loss* tercapai, baik hasil simulasi maupun pengukuran seperti pada gambar 3 berikut.

Gambar 3. Perbandingan nilai *return loss* hasil simulasi dengan pengukuran

4.2 VSWR

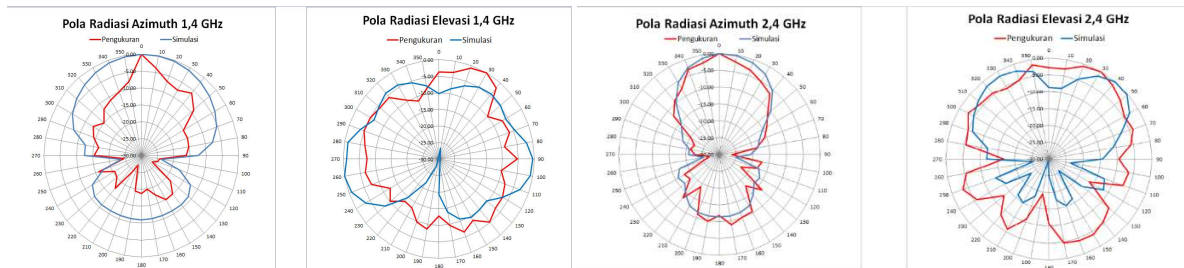
Berdasarkan pengukuran dengan *network analyzer*, didapatkan hasil perbedaan nilai VSWR antara simulasi dengan pengukuran. Nilai VSWR pada simulasi bernilai dari 1,4737 hingga 1,023 dengan nilai VSWR yang semakin baik di frekuensi yang tinggi sedangkan nilai VSWR pada realisasi memiliki rentang dari 1,395 hingga 1,105 dengan nilai VSWR berfluktuasi di frekuensi tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran realisasi memiliki nilai yang lebih rendah daripada simulasi, meskipun pada frekuensi 1,4 GHz hingga 1,9 GHz, pengukuran realisasi memiliki nilai yang lebih baik, tetapi di frekuensi setelahnya tidak dan menunjukkan bahwa antenna yang di realisasikan memancarkan lebih banyak gelombang yang diteruskan daripada yang dipantulkan. Hasil perbandingan ditunjukkan pada gambar 4



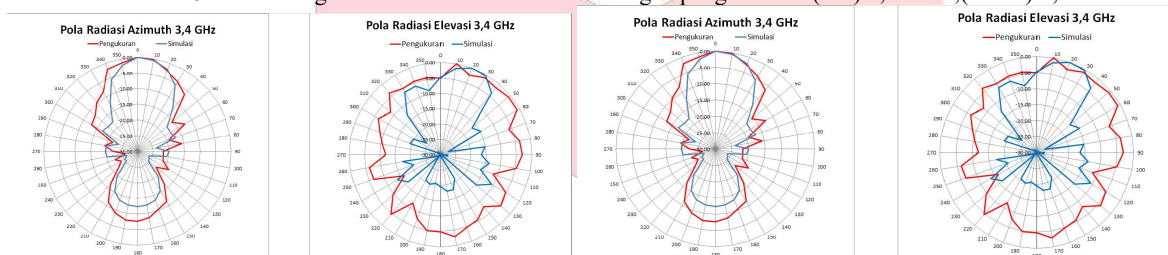
Gambar 4. Perbandingan nilai VSWR hasil simulasi dengan pengukura

4.3 Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi *azimuth* dan elevasi dari antenna dilakukan dengan menempatkan antenna penerima sebagai antenna pengujian. Lalu antenna diputar pada bidang *azimuth* dan elevasi. Setelah itu, dilakukan pengambilan data daya terima. Untuk membandingkan hasil pola radiasi pengukuran hasil simulasi, data simulasi harus dinormalisasi terlebih dahulu.



Gambar 5. Perbandingan Pola radias hasil simulasi dengan pengukuran : (kiri) 1,4 GHz ,(kanan) 2,4 Ghz



Gambar 6. Perbandingan Pola radias hasil simulasi dengan pengukuran : (kiri) 3,4 GHz ,(kanan) 4,4

4.4 Gain

Pengukuran *gain* pada tugas akhir ini menggunakan metode dua antenna identik. Pengukuran dilakukan dengan mengambil dua puluh sample data di setiap frekuensi, kemudian dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan nilai (P_r). pada penelitian ini daya yang dikirim (P_t) sebesar 1 mw atau 0 dBm

Tabel 3. Perbandingan *gain* hasil simulasi dengan pengukuran

Frekuensi	Gain Antena (dBi)	
	Simulasi	Pengukuran
1,4 GHz	6,031	4,775
2,4 GHz	6,557	5,044
3,4 GHz	7,551	5,510
4,4 GHz	8,038	6,384

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Penelitian tugas akhir ini yang berisi tentang perancangan dan realisasi antenna mikrostrip dengan frekuensi 1,4 - 4,4 GHz untuk ground penetrating radar memiliki beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Antena dapat berkerja pada frekuensi 1,4 hingga 4,4 GHz berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran.
2. Parameter kerja antenna seperti *bandwidth*, pola radiasi, polarisasi, *return loss*, dan VSWR berhasil terpenuhi pada simulasi dan pengukuran, hanya *gain* pada frekuensi 1,4 dan 2,4 GHz yang belum dapat dipenuhi pada pengukuran.
3. Antena yang dirancang memiliki pola radiasi *unidirectional* pada semua frekuensi pengukuran.
4. Penambahan beban sirkular pada Antena Vivaldi Antipodal mampu meningkatkan performa antenna terutama *bandwidth* dan *gain*.

5. Antena Vivaldi Antipodal dengan beban sirkular yang telah dirancang dapat digunakan dalam sistem radar Ultra Wide-Band dikarenakan telah memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut tentang perancangan antena vivaldi antipodal dengan beban sirkular, terdapat beberapa hal yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi bahan penelitian selanjutnya, diantaranya :

1. Penambahan *Slot Loaded* pada antena yang memungkinkan peningkatan kinerja antena
2. Penggunaan bahan substrat dielektrik dengan permitivitas yang lebih rendah agar ukuran antena dapat lebih kecil

Daftar Pustaka

- [1] A. P. Annan, Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Application, Missisauga: Sensor & Software inc, 2003.
- [2] M. A. Richard, Principles of Modern Radar, United States of America: Scitech Publishing, 2010.
- [3] F. C. Commission, "First Report and Order in The Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultrawideband Transmission Systems," ET Docket 98, 2002.
- [4] C. C. A. P. Nixon Randy, *Modifikasi Footprint Antena GPR dengan Susunan Antena Mikrostrip*, 2014.
- [5] S. S. a. D. W. P. Jian Bai, "Modified Compact Antipodal Vivaldi Antenna for 4–50-GHz UWB Application," pp. 1-2, 2011.
- [6] C. A. Balanis, ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION, United States of America.: A JOHN WILEY & SONS, INC, 2005.
- [7] H. M. Jol, Ground Penetrating Radar : Theory and Applications, The Boulevard, Langford Line, Kidlington: Elsevier B.V, 2009.
- [8] C. Martel, "Modelling and Design of Antennas for Ground-Penetrating Radar System," vol. 1, pp. 12-17, 2002.
- [9] M. A. SAPUTRA, *ANTENA VIVALDI ANTIPODAL SIRKULAR ULTRA WIDE-BAND (UWB) UNTUK RADAR TEMBUS TEMBOK*, 2018.
- [10] J. D. Kraus, ANTENNAS Second Edition, India: Tata McGraw-Hill.