



**JESCE**  
**(Journal of Electrical and System Control Engineering)**

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>

---

**Perancangan dan Realisasi Antena Vivaldi Ultra Wideband  
Untuk Soil Water Content Radar**

**Design and Realization of Vivaldi Ultra Wideband Antenna  
For Soil Water Content Radar**

**Dessy Rahmadhani Mandalika<sup>1)</sup>\*, Dharu Arseno<sup>2)</sup> & Yussi Perdana Saputera<sup>3)</sup>**

1) Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

2) Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

3) Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

\*Corresponding Email: [drmandalika15@gmail.com](mailto:drmandalika15@gmail.com)

---

**Abstrak**

*Soil Water Content (SWC) merupakan faktor penting dalam sistem pertanian, untuk mengukur SWC dapat menggunakan sebuah radar GPR. Salah satu komponen penting dalam sebuah sistem radar adalah antena. Radar GPR bekerja pada bandwidth yang lebar, maka dibutuhkan antena dengan bentuk proposional untuk mendukung hal tersebut. Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan perancangan dan realisasi antena vivaldi dengan bandwidth yang lebar untuk sistem GPR yang bermanfaat dalam mengukur SWC. Antena yang dirancang memiliki katakarakteristik bandwidth UWB dengan frekuensi kerja 2 GHz, bersifat unidireksional dan menggunakan teknik pencatuan microstrip line. Perancangan dilakukan dengan mensimulasikan desain antena, kemudian difabrikasi dan diukur menggunakan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil simulasi dengan software, desain antena yang dirancang memiliki nilai bandwidth sebesar 966 MHz, return loss -16.066 dB, VSWR 1.3732 dan pola radiasi unidireksional, nilai ringing level yang dihasilkan dari simulasi antena masih lebih besar dari nilai yang diharapkan. Terjadi perbedaan nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan hasil simulasi, tetapi masih tetap memenuhi spesifikasi antena yang diinginkan untuk mengukur soil water content.*

**Kata Kunci: Antena Vivaldi, Radar, Soil Water Content (SWC), Ultra Wideband**

**Abstract**

*Soil Water Content (SWC) is an important factor in agricultural systems, to measure SWC can use a GPR radar. One of the important components in a radar system is the antenna. GPR radar works on a wide bandwidth, so an antenna with a proportional shape is needed to support it. In this final project, the design and realization of a vivaldi antenna with a wide bandwidth for the GPR system is carried out which is useful in measuring SWC. The designed antenna has a UWB characteristic bandwidth with a working frequency of 2 GHz, unidirectional and uses a microstrip line feeding technique. The design is done by simulating the antenna design, then fabricated and measured using a Vector Network Analyzer (VNA). The results of the simulation with the software, the designed antenna has a bandwidth value of 966 MHz, return loss is -16.066 dB, VSWR 1.3732 and unidirectional radiation pattern, the ringing level value generated from the antenna simulation is still greater than the expected value. There is a difference in the values obtained from the measurement results with the simulation results, but still meet the desired specifications for measuring soil water content.*

**Keywords: Vivaldi Antenna, Radar, Soil Water Content (SWC), Ultra Wideband**

---

---

**How to Cite:** Mandalika, D R, Arseno, D, & Saputera, Y P. (2021). Perancangan dan Realisasi Antena Vivaldi *Ultra Wideband* Untuk *Soil Water Content Radar*. *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering)*. 5 (2): 59-69

---

## PENDAHULUAN

*Soil Water Content* (SWC) merupakan hal yang penting dalam ekologi, pertanian dan pengelolaan tanaman. Contoh penerapannya untuk pemupukkan, karena tanaman membutuhkan air yang cukup dalam pertumbuhannya. Salah satu cara untuk mengukur SWC dengan menggunakan sebuah radar. *Radio Detection and Ranging* (Radar) adalah suatu sistem yang memiliki fungsi pencarian atau pendeteksian, pelacakan dan pencitraan. Salah satu pemanfaatan radar untuk SWC adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR). GPR adalah sistem radar yang menggunakan propagasi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi (10 Mhz – 10 GHz) untuk mengidentifikasi suatu objek atau untuk memetakan struktur dan fitur yang terkubur secara visual buram [1].

Antena merupakan bagian penting pada sistem radar. Kemampuan GPR dalam pendeteksian tergantung pada kemampuan anrena yang digunakan, karena radar bekerja pada *bandwidth* yang lebar maka dibutuhkan antena yang mendukung hal tersebut [2]. Salah satu jenis antena yang dapat bekerja pada *bandwidth* yang lebar adalah antena vivaldi. Antena vivaldi termasuk kedalam *Tapered Slot Antenna* (TSA) jenis eksponensial dengan bentuk slot yang meruncing [3]. *Ultra-Wideband*

(UWB) adalah sebuah sistem atau teknologi yang memiliki beberapa karakteristik diantaranya *bandwidth* yang lebar, kecepatan pengiriman data yang tinggi, penggunaan daya yang rendah. Hal tersebut membuat teknologi atau sistem UWB sangat bermanfaat bagi kehidupan pada era modern ini. Menurut regulasi *Federal Communications Commission* yang dirilis pada tahun 2002 [4], penggunaan UWB dapat diterapkan pada GPR, sistem radar kendaraan, sistem komunikasi dan pengukuran, dan lain-lain. UWB dapat beroperasi pada rentang frekuensi 3,1 – 10,6 GHz. Penelitian [5] telah menggunakan antena frekuensi tinggi 2 GHz untuk menentukan kandungan air tanah yang berasal dari berbagai jenis tanah. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa estimasi GPR frekuensi tinggi dari *soil water content* memiliki banyak keuntungan.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini diusulkan perancangan antena vivaldi UWB untuk pengukuran *soil water content* (SWC) pada aplikasi GPR dengan karakteristik antena memiliki *bandwidth* UWB dengan frekuensi kerja 2 GHz, bersifat direksional dan menggunakan teknik pencatuan *microstrip line*. Pemilihan antena vivaldi sebagai antena yang diusulkan untuk dirancang

karena antena vivaldi termasuk kedalam salah satu jenis antena UWB yang memiliki pola radiasi yang terarah untuk keperluan GPR.

### **Soil Water Content (SWC)**

Permintaan air bersih untuk kebutuhan pertanian, sanitasi, industri dan perkotaan semakin meningkat. Dalam berbagai bidang ilmu mulai dari hidrologi, pertanian, lingkungan hingga meteorologi, pengetahuan tentang keragaman spasial kandungan air tanah (SWC) sangatlah penting [6]. Alokasi air untuk tanaman juga perlu diperhatikan. Kadar air tanah dapat dipengaruhi beberapa faktor antara lain kedalaman lapisan tanah, tekstur tanah, iklim dan tumbuhan [7]. *Soil water content* secara gravimetri didefinisikan sebagai perbandingan massa air dan massa tanah kering atau secara volumetric sebagai perbandingan volume air dan volume tanah, keduanya saling berhubungan dengan massa jenis tanah kering dan massa jenis air. Oleh karena itu, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut [8][9]:

$$\theta_v = \left(\frac{\rho_b}{\rho_w}\right) \theta_m \dots\dots\dots(1)$$

### **Ultra Wideband (UWB)**

*Ultra-Wideband* (UWB) merupakan teknologi yang memiliki karakteristik *bandwidth* yang lebar. Menurut regulasi *Federal Communications Commission* (FCC),

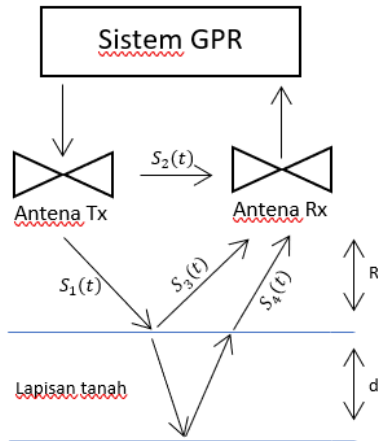
teknologi telekomunikasi untuk aplikasi radar, komersil dan lain-lain yang tergolong dalam UWB memiliki rentang frekuensi antara 3,1 GHz – 10,6 GHz [4], *bandwidth* lebih besar dari 500 MHz atau *fractional bandwidth* lebih besar sama dengan 0,2 atau 20%. *Fractional bandwidth* ( $B_f$ ) merupakan perbandingan antara *bandwidth* sinyal dengan frekuensi tengah, secara sistematis dapat didefinisikan sebagai berikut [10]:

$$B_f = 2 \frac{(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} \geq 0.2 \dots\dots\dots(2)$$

### **Ground Penetrating Radar (GPR)**

Sistem GPR terdiri atas *transmitter* (pengirim) dan *receiver* (penerima). Prinsip kerja dari GPR adalah memancarkan gelombang elektromagnetik kebawah permukaan tanah dan menerima kembali sinyal echo yang dipantulkan objek dari struktur bawah permukaan tanah, dimana antena ditempatkan dekat dengan tanah sehingga gelombang elektromagnetik dapat menembus tanah sejauh mungkin. Sinyal yang diterima mengandung informasi dari hasil perambatan gelombang elektromagnetik dalam media dengan permittiitas yang berbeda [1][2]. Menurut penelitian [11], untuk mendeteksi *soil water content* (SWC) menggunakan GPR hal yang harus diperhatikan adalah posisi dari antena GPR. Jarak antara antena GPR dengan permukaan tanah harus

disesuaikan dengan benar agar mendapatkan pantulan yang lebih jelas. Jarak antenna ke tanah dapat diperkirakan berdasarkan lebar pulsa yang dipancarkan oleh antenna.



**Gambar 1.** Ilustrasi pemodelan GPR untuk mengukur SWC

Pada umumnya hubungan antara permitivitas tanah dengan SWC didefinisikan oleh persamaan Topp sebagai berikut [12]:

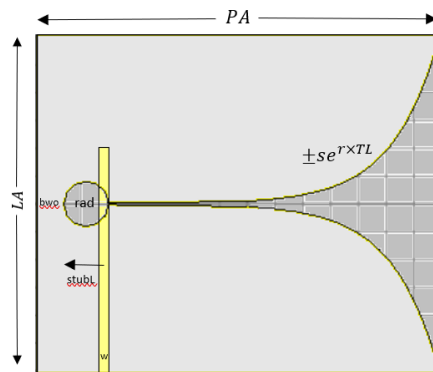
$$\theta_{soil} = -5.3 \times 10^{-2} \times 2.92 \times 10^{-2} \epsilon_{soil} - 5.5 \times 10^{-4} \epsilon_{soil}^2 + 4.3 \times 10^{-6} \epsilon_{soil}^3 \dots \dots \dots (3)$$

**Antena Vivaldi**

Salah satu komponen penting dalam sebuah radar khususnya GPR adalah antenna. Antena merupakan bagian dari sistem pemancar atau penerima yang dirancang untuk mengirim atau menerima gelombang elektromagnetik. Antena juga dapat didefinisikan sebagai tranduser yang mengubah gelombang terintegrasi pada

saluran transmisi menjadi gelombang elektromagnetik di ruang bebas [13].

Syarat antenna yang baik adalah antenna yang memiliki daya tidak hilang lebih dari 10%. Sebuah GPR bekerja pada *bandwidth* yang lebar maka dibutuhkan antenna yang mendukung hal tersebut. Antena UWB menjadi solusi untuk GPR yang bekerja pada *bandwidth* lebar. Antena vivaldi pertama kali diperkenalkan oleh Gibson pada tahun 1979 dan merupakan versi datar dari antenna horn yang memberikan penguatan sedang dengan biaya struktur rendah [4]. Antena vivaldi termasuk kedalam Tapered Slot Antenna (TSA) jenis eksponensial dengan bentuk slot yang meruncing pada substrat dielektrik. Keuntungan antenna vivaldi selain memiliki bandwidth yang lebar juga memiliki pola radiasi yang searah dan gain yang tinggi [3]. Desain antenna vivaldi ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Perancangan Antena Vivaldi

Untuk menghitung dimensi antenna vivaldi dapat menggunakan rumus berikut [14]:

$$y = \pm se^{r \times TL} \dots\dots\dots(4)$$

$$PA = \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(5)$$

$$LA = TL = \frac{1}{2} \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(6)$$

$$s = 2\% \times \frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

$y$  = Slot meruncing antena vivaldi

$PA$  = Panjang antena vivaldi

$LA$  = Lebar antena vivaldi

$TL$  = *Tapered length* atau panjang slot meruncing antena

$s$  = Lebar slot antena

Dengan nilai  $f_1$  adalah nilai rentang frekuensi terendah,  $f_2$  adalah nilai rentang frekuensi tertinggi,  $c$  adalah kecepatan cahaya dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik bahan substrat.

Teknik pencatutan yang digunakan dalam perancangan antena adalah microstrip line. Secara sederhana konsep dari pencatutan microstrip line adalah dengan menyilangkan antara *slotline* dengan *microstrip* [15]. Jarak antara titik tengah pertemuan antara *slotline* dengan *microstrip* disebut juga dengan *stub*. Panjang *stub* dari *slotline* dan *microstrip* sebesar  $0,25\lambda$ . Lebar *microstrip line* dapat ditentukan dari impedansi karakteristik  $Z_0$ , konstanta dielektrik  $\epsilon_r$ , dan tebal dielektrik  $h$  [16].

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(8)$$

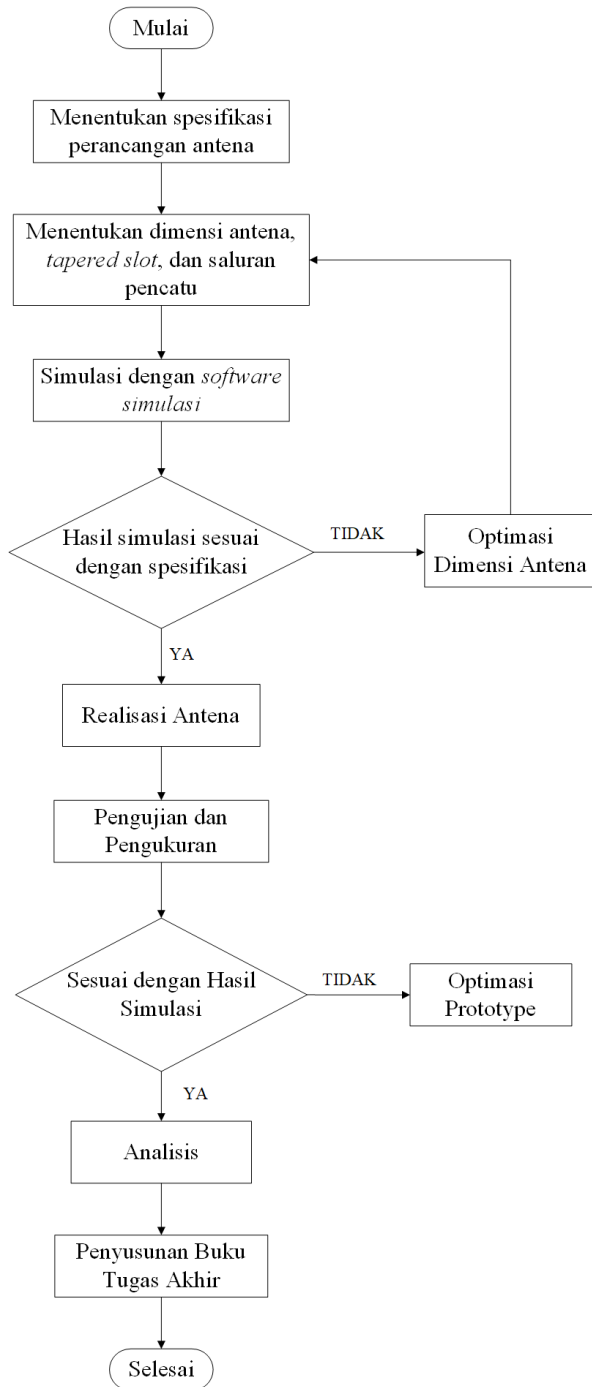
$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \dots\dots\dots(9)$$

### Ringing Level

Performansi GPR dalam mendeteksi sebuah objek yang diinginkan berpengaruh pada nilai *late-time ringing* atau *ringing level*. *Late-time ringing* merupakan gelombang pantul yang menyebabkan terjadinya efek *masking*. *Late-time ringing* menunjukkan karakteristik untuk antena *narrowband* yang disebabkan oleh *multiple reflection* antara ujung antena dengan *feed point* [17]. Nilai *late-time ringing* yang tinggi memungkinkan terjadinya tumpang tindih antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal pantulan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan antena yang dapat memiliki kemampuan pendeteksian yang bagus dibutuhkan antena dengan nilai *late-time ringing* atau *ringing level* yang rendah.

### Diagram Alir Penelitian

Adapun alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini.



Gambar 3. Flowchart perancangan antenna

### Spesifikasi Antena

Pada penelitian ini dilakukan perancangan antenna Vivaldi yang dapat bekerja pada rentang frekuensi 1 – 3 GHz dengan frekuensi tengah 2 GHz yang bersifat UWB dengan pencatuan *microstrip*

*line* yang ditujukan untuk penggunaan *soil water content* radar. Adapun spesifikasi antenna yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. dibawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Antena

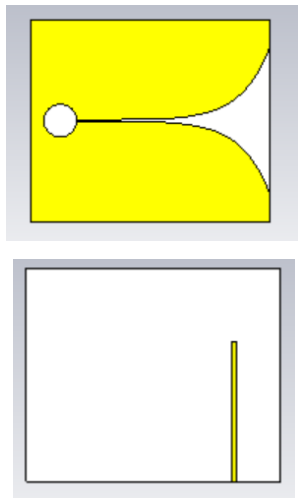
Parameter	Spesifikasi
Bahan Antena	Copper ( $\epsilon_r = 1$ ; $t = 0,035 \text{ mm}$ )
	FR4 Epoxy ( $\epsilon_r = 4,3$ ; $t = 1,6 \text{ mm}$ )
Frekuensi	2 GHz [18]
Return Loss	$\leq -10 \text{ dB}$ [19]
( $S_{11}$ )	
Bandwidth	Ultra Wideband
Pola Radiasi	Unidireksional
Ringing Level	-40 dB [17]

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Dimensi Antena

Sebelum merancang antenna, terlebih dahulu menentukan dimensi antenna. Antena yang dirancang terdiri atas *patch*, substrat dan saluran pencatu *microstrip line*. Antena yang telah dirancang kemudian disimulasikan pada *software* simulasi. Apabila hasil data awal tidak memenuhi spesifikasi dilakukan optimasi dimensi antenna hingga spesifikasi antenna sesuai dengan yang diinginkan. Dimensi keluruhan dari antenna yang telah

dioptimasi dapat dilihat pada Gambar 4. **Fabrikasi Antena** dan Tabel 2. dibawah ini.

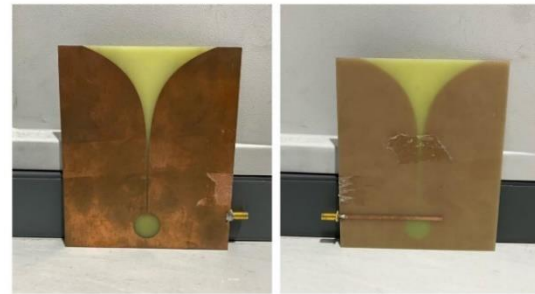


**Gambar 4.** Rancangan antena vivaldi tampak depan dan belakang setelah optimasi

**Tabel 2.** Dimensi antena setelah optimasi

Dimensi	Nilai Setelah Optimasi (mm)
PA	145
LA	122
TL	66
r	0,0587
s	0,944
sL	71
stubL	18,08
rad	10
bwo	8
W	3,1139
h	1,6
k	6,8

Setelah dilakukan simulasi perancangan menggunakan *software* simulasi. Hasil fabrikasi antena vivaldi ditunjukkan pada Gambar 5.

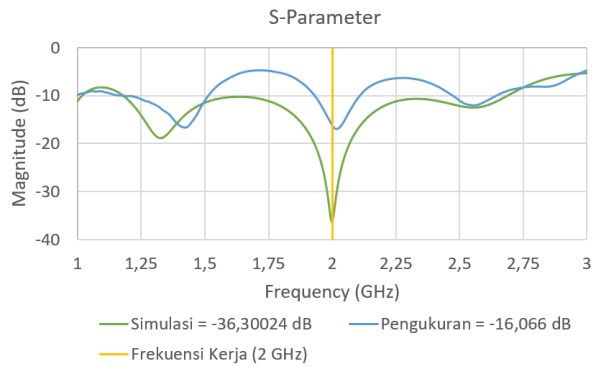


**Gambar 5.** Antena vivaldi tampak depan dan belakang

### Hasil Pengukuran *Return Loss* Antena

*Return loss* atau  $S_{11}$  merupakan perbandingan antara daya yang dipantulkan kembali dengan daya yang ditransmisikan, atau dapat dikatakan sebagai parameter antena yang menunjukkan koefisien refleksi (koefisien pantul) pada *port input* antena. Pengukuran *return loss* bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang kembali ke saluran transmisi yang akan berpengaruh terhadap berkurangnya daya yang ditransmisikan. Pengukuran antena dilakukan pada rentang frekuensi 1 GHz hingga 3 GHz.





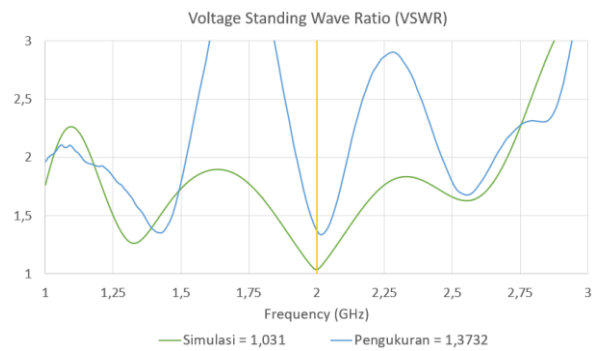
**Gambar 6.** Perbandingan nilai *return loss*

Pada Gambar 6. dapat dianalisa bahwa pada frekuensi kerja 2 GHz antenna vivaldi hasil simulasi dan hasil fabrikasi memiliki nilai *return loss*  $\leq -10$  dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa antenna vivaldi hasil fabrikasi telah memenuhi spesifikasi antenna.

### Hasil Pengukuran VSWR dan *Bandwidth* Antena

Nilai VSWR dapat mempengaruhi efektivitas transfer daya dari sumber menuju antenna. Batas nilai VSWR yang digunakan dapat berdasarkan nilai acuan *return loss* -10 dB, yaitu  $VSWR < 1,92397$ . *Bandwidth* merupakan rentang frekuensi kerja dari sebuah antenna. Pengukuran VSWR dan *bandwidth* dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Perbandingan grafik antara nilai VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai VSWR pada simulasi sebesar 1,031 dengan *bandwidth* sebesar 1,5077 GHz dengan *fractional bandwidth* sebesar

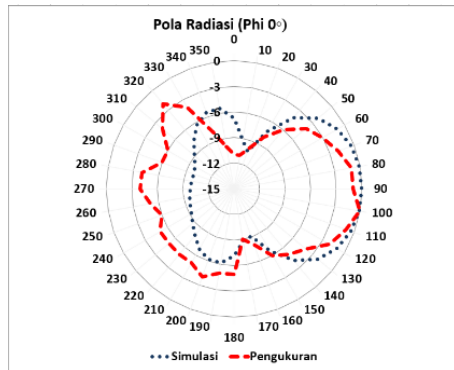
77,9%. Untuk nilai VSWR hasil pengukuran sebesar 1,3732 dengan *bandwidth* 966 MHz atau *fractional bandwidth* sebesar 47,29%. Antara hasil simulasi dan hasil pengukuran telah memenuhi spesifikasi VSWR dan *fractional bandwidth* yang diinginkan.



**Gambar 7.** Perbandingan nilai VSWR

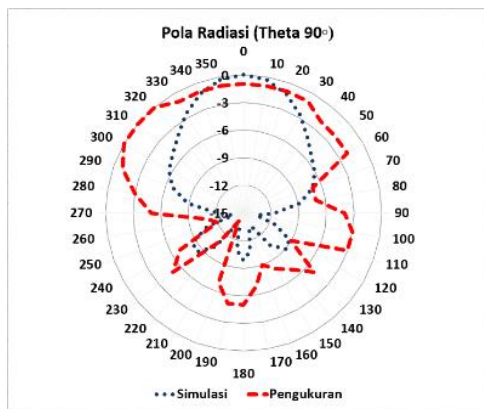
### Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dari antenna yang dirancang diukur dengan dua arah yaitu arah azimuth dan elevasi. Antenna *under test* (AUT) pada pengukuran pola radiasi berfungsi sebagai antenna penerima, dan antenna yang digunakan sebagai antenna pengirim adalah antenna horn sebagai antenna referensi. Pada pengukuran pola radiasi, antenna diputar pada sudut azimuth dan elevasi dengan kelipatan 10 derajat.



Gambar 8. Perbandingan pola radiasi azimuth

Hasil pengukuran pola radiasi arah azimuth daya maksimum berada pada sudut  $100^\circ$  dan daya minimum berada pada sudut  $0^\circ$  dan  $10^\circ$ . Pada hasil pengukuran didapatkan pola radiasi *unidirectional*.



Gambar 9. Perbandingan pola radiasi elevasi

Hasil simulasi desain antena memiliki daya maksimum pada sudut  $90^\circ$ . Hasil pengukuran pola radiasi arah elevasi memiliki nilai daya maksimum pada sudut  $300^\circ$  hingga  $320^\circ$  dan untuk nilai daya minimum berada pada sudut  $210^\circ$ . Pada hasil pengukuran didapatkan pola radiasi *unidirectional*. Hasil simulasi desain antena memiliki daya maksimum pada sudut  $0^\circ$ . Sehingga pada arah azimuth dan elevasi, daya maksimum pada saat simulasi dan

pengukuran berada pada sudut yang berbeda.

### Hasil Pengukuran *Gain* Antena

Pengukuran *gain* antena menggunakan antena horn sebagai antena referensi dan antena vivaldi sebagai antena penerima. Jarak yang digunakan dalam pengukuran *gain* adalah 1,5 meter. Pengukuran *gain* dilakukan dengan menggunakan 10 sampel pengukuran dengan daya antena pengirim sebesar 1 mW, *loss* kabel sebesar 1,2 dB, *gain* antena pengirim sebesar 7 dB dan rata-rata daya terima sebesar -32,7 dBm. Sehingga nilai *gain* yang didapatkan melalui pengukuran sebesar 4,69242509 dBi.

### SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian antena vivaldi pada frekuensi 1 GHz - 3 GHz dengan frekuensi tengah sebesar 2 GHz. Antena memiliki dimensi sebesar  $144 \times 122 \text{ mm}^2$ . Simulasi dan pengukuran parameter dilakukan untuk melihat kinerja antena yang dirancang. Hasil simulasi dan pengukuran pada parameter antena menunjukkan bahwa antena memiliki sifat UWB, ditunjukkan dengan *fractional bandwidth* sebesar 42,99%. Terdapat perbedaan nilai antara hasil simulasi dan pengukuran. Hal ini diakibatkan karena pada sisi matematis

dilakukan pembulatan frekuensi yang digunakan. Pada langkah fabrikasi antena, penggunaan pada frekuensi tinggi dapat mengakibatkan perbedaan hitungan yang sangat signifikan sehingga terjadinya pergeseran frekuensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2nd ed., vol. 58, no. 12. McGraw-Hill Education, 2014.
- M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holm, *Principles of Modern Radar. Vol I: Basic Principles*, vol. 53, no. 9. SciTech, 2010.
- C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," vol. 66, pp. 37–39, 2016.
- H. J. A. Giselle M. Galvan-Tejada, Marco Antonio Peyrot-Solis, *Ultra Wideband Antennas :Design, Methodologies, and Performance*. 2016.
- L. Zhou, D. Yu, Z. Wang, and X. Wang, "Soil Water Content Estimation Using High-Frequency Ground Penetrating Radar," pp. 1–16, 2019.
- X. Liu, J. Chen, X. Cui, Q. Liu, X. Cao, and X. Chen, "Measurement of soil water content using ground-penetrating radar: a review of current methods," *Int. J. Digit. Earth*, vol. 12, no. 1, pp. 95–118, 2019, doi: 10.1080/17538947.2017.1412520.
- H. K. Indranada, *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Jakarta: Bumi Aksara, 1994.
- M. . Carter and E. G. Gregorich, *Soil Sampling and Methos of Analysis Second Edition*. Taylor & Francis, 2007.
- V. Novák and H. Hlaváčiková, "Soil-water content and its measurement," *Theory Appl. Transp. Porous Media*, vol. 32, pp. 49–61, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-01806-1\_5.
- H. Nikookar and R. P, *Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications*. 2009.
- A. A. Pramudita and L. Sari, "Extraction model of Soil Water Content Information based on Least Square Method for GPR," *2016 Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. ISPACS 2016*, pp. 0–4, 2017, doi: 10.1109/ISPACS.2016.7824717.
- J. A. Huisman, S. S. Hubbard, J. D. Redman, and A. P. Annan, "Measuring Soil Water Content with Ground Penetrating Radar: A Review," *Vadose Zo. J.*, vol. 2, no. 4, p. 476, 2003, doi: 10.2136/vzj2003.0476.
- W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 3rd ed., vol. 7, no. 2. 2013.
- T. Yin, Y. Wang, and M. Zhao, "A design of modified Vivaldi antenna," no. Icamcs, pp. 714–720, 2016, doi: 10.2991/icamcs-16.2016.145.
- Y. Erdogan, "Parametric Study and Design of Vivaldi Antennas and Arrays," no. March, 2009.
- John D. Kraus, *ANTENNAS*, no. July. India: Tata McGraw-Hill, 1988.
- A. Munir, R. B. V. B. Simorangkir, and F. Kurniawan, "Late-time ringing characterization of cavity-backed UWB printed monopole antenna," *2017 IEEE Conf. Antenna Meas. Appl. CAMA 2017*, pp. 419–422, 2017, doi: 10.1109/CAMA.2017.8273470.
- X. Liu, X. Dong, and D. I. Leskovar, "Ground penetrating radar for underground sensing in agriculture: A review," *Int. Agrophysics*, vol. 30, no. 4, pp. 533–543, 2016, doi: 10.1515/intag-2016-0010.
- S. Maalik, "Antenna Design for UWB Radar Detection Application," *Antenna*, 2010.