

## ANTENA SUSUNAN 2 X 2 MIKROSTRIP VIVALDI UNTUK DETEKSI PERNAPASAN ULTRA-WIDEBAND 3 – 6 GHz

### VIVALDI MICROSTRIP ARRAY 2 X 2 ANTENNA FOR ULTRA- WIDEBAND RESPIRATORY DETECTION 3 – 6 GHz

Muhamad Risyad Azhary<sup>1</sup>, Dr. Heroe Wijanto Ir.MT.<sup>2</sup>, Yussi Perdana S, ST. MT.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
 1farizm@students.telkomuniversity.ac.id, 2heroe.wijanto@gmail.com, 3  
 yussips@gmail.com

#### Abstrak

Studi tentang penerapan Radar Ultra-Wideband (UWB) banyak dibahas dan di implementasikan dalam bidang kesehatan yaitu mengukur parameter fisiologis seperti detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah dan pemantauan tanda vital tubuh. Radar UWB sering digunakan diberbagai aplikasi pada radar khususnya dalam bidang kesehatan karena keunggulan pada UWB diantaranya adalah memiliki bandwidth lebar yang dapat mendukung untuk resolusi tinggi tidak memerlukan alat kontak langsung pada tubuh manusia, dan memiliki sifat non-ionizing radiation yang aman ketika menembus jaringan biologis manusia.

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dirancang dan direalisasikan Antena Vivaldi berpolarisasi elliptical. Antena berpolarisasi elliptical dapat mengurangi dampak polarisation loss factor (PLF) dan multipath interference dengan rentang frekuensi 3 hingga 6 GHz. Antena ini dibuat dengan metode Array dan disusun secara cross agar mendapatkan hasil gain yang baik. Realisasi Antena Vivaldi telah difabrikasi dengan menggunakan substrat FR-4 dengan permitivitas relative 4,6 dan ketebalan 1,6 mm.

Antena UWB yang dihasilkan dengan frekuensi tengah 4,5 GHz, pada parameter dalam memiliki nilai return loss sebesar -17.84 dB VSWR sebesar 1,29 dan pada parameter luar memiliki nilai gain 7,8 dBi. berpolarisasi elliptical, dan pola radiasi unidirectional..

**Kata kunci:** UWB, Respiratory Detection, Vivaldi, Radar.

#### Abstract

*Studies on the application of Ultra-Wideband Radar (UWB) are widely discussed and implemented in the health field which measures physiological parameters such as heart rate, body temperature, and blood pressure and vital body protectors. UWB radars are often used in various applications on specialized radars in the health field because the advantages of sponsored UWBs have a bandwidth that can support to increase the height does not require direct contact on the human body, and has non-ionic radiation properties that can easily connect through human tissue.*

*In this Final Project research, the design and realization of Vivaldi Antennas are elliptical. The elliptical polarized Antenna can reduce the dimensions of polarization loss factor (PLF) and multipath interference with a frequency range of 3 to 6 GHz. This Antenna is made by the Array method and arranged in order to get good results. The Realized Vivaldi Antenna has been fabricated using FR-4 substrate with a relative permittivity of 4.6 and a thickness of 1.6 mm. UWB Antenna produced with the middle frequency of 4.5 GHz, the inner parameter has a return loss value of -17.84 dB VSWR of 1.29 and the outside parameter has a gain value of 7.8 dBi. elliptical polarization, and unidirectional radiation pattern.*

**Keywords:** UWB, Respiratory Detection, Vivaldi, Radar.

#### 1. Pendahuluan

Radar merupakan alat sensor gelombang elektromagnetik yang berfungsi untuk mendeteksi suatu objek. Radar kini telah dipelajari untuk beberapa bidang salah satunya biomedis. teknologi radar yang digunakan dalam bidang medis difungsikan sebagai sensor *non-contact* yang dapat meningkatkan aspek kemampuan kesehatan dan kenyamanan dalam menggunakan perangkat medis. Radar digunakan dalam *vital sign detection* yaitu pernapasan dan detak jantung[1, 2].

Dalam sistem radar Antenna digunakan untuk mengirim dan menerima sinyal radar. Antenna yang digunakan dalam radar respirasi harus memenuhi beberapa persyaratan seperti *bandwidth* impedansi *ultra-wideband* dan lebih sedikit distorsi terhadap gelombang yang ditransmisikan. Antenna *Vivaldi* merupakan struktur Antenna UWB yang banyak digunakan diberbagai aplikasi UWB seperti komunikasi, radar, dan sistem pencitraan [7].

Antenna *Vivaldi* merupakan Antenna khusus dari *Tapered Slot Antenna* (TSA) dengan bentuk eksponensial atau biasa dikenal dengan *Exponentialy Tapered Slot Antenna* (ETSA). Antenna *Vivaldi* memiliki struktur yang relatif sederhana, ringan, dimensi kecil, pita lebar, efisiensi tinggi, dan karakteristik penguatan tinggi, oleh karena itu Antenna ini berpotensi diimplementasikan dalam radar UWB. UWB didefinisikan oleh *bandwidth* fraksional yang lebih dari 20% dari frekuensi tengah atau minimal memiliki *bandwidth* 500 MHz atau memiliki *fractional bandwidth*[8]. Pada kebutuhan sistem radar ultra-wideband maka kriteria ultra-wideband tidak hanya dilihat dari fraksional *bandwidth*. Level distorsi terhadap pulsa yang dipancarkan perlu diminimalkan. Distorsi minimal terjadi ketika respon fasa dari  $S_{21}$  linear. Sehingga kriteria ultra-wideband yang harus dipenuhi selain fraksional *bandwidth* adalah linearitas fasa dari  $S_{21}$ .

Dalam Tugas Akhir ini, desain Antenna *Vivaldi* dengan *elliptical polarization* diusulkan untuk sistem radar pernapasan UWB, beberapa parameter Antenna seperti koefisien refleksi, *bandwidth* impedansi, respon fasa, pola radiasi, dan pulsa yang ditransmisikan dipertimbangkan dalam analisis Antenna.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Antenna Mikrostrip

Antenna mikrostrip merupakan salah satu jenis Antenna yang berbentuk papan (board) tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi[9].

### 2.2 Antena Vivaldi

Antenna *Vivaldi* merupakan Antenna khusus dari *Tapered Slot Antenna* (TSA) dalam bentuk eksponensial atau biasa dikenal dengan istilah *Exponentialy Tapered Slot Antenna* (ETSA). Antenna *Vivaldi* memiliki keunggulan yaitu mempunyai *bandwidth* lebar serta polaradiasi *linear*[11]. Antenna *Vivaldi* dapat bekerja pada frekuensi 2 GHz hingga 20 GHz[11].

Langkah pertama dalam merancang Antenna yang diusulkan adalah menentukan dimensi Antenna. Dimensi Antenna dimulai dengan menentukan ukuran *flare* terbesar, dimana  $L$  ditentukan berdasarkan persamaan 1:

$$L = \frac{c}{f_L \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (1)$$

Dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $f_L$  adalah frekuensi terendah. Untuk menentukan  $\epsilon_{reff}$  dapat menggunakan persamaan 2:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W_p}} \right) \quad (2)$$

Dimana  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik bahan substrat,  $h$  adalah ketebalan substrat. Untuk menentukan  $W_p$  dapat menggunakan persamaan persamaan 3:

$$W_p = \frac{c}{2f_L \sqrt{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

### 2.3 Transmission Feed Line

Pada jenis saluran ini, sebuah garis langsung terhubung ke tepi dari *patch* mikrostrip seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Saluran mikrostrip tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan saluran *patch* dan dalam hal ini saluran dapat dibuat satu sket dengan substrat yang sama dan teknik ini disebut struktur planar.

Semua saluran mempunyai Impedansi karakteristik dimana impedansi karakteristik suatu saluran dilambangkan  $Z_0$ [13]. Impedansi karakteristik saluran digambarkan sebagai impedansi saluran dengan panjang saluran tak terbatas, atau impedansi diujung saluran terbebani sebesar impedansi karakteristiknya[13]. Dengan pengertian diatas yaitu panjang saluran yang tidak terbatas berarti apabila suatu energy (sebesar apapun) diberikan pada ujung pengirim, energy tersebut tidak pernah kembali lagi ke sumber atau dengan kata lain semua energy telah diserap oleh saluran[13].

Berikut dibawah ini, persamaan impedansi karakteristik dari saluran transmisi mikrostrip:

Untuk  $w/d < 1$ [4]

$$\frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left( \frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) \tag{4}$$

Untuk  $w/d > 1$ <sup>[4]</sup>

$$\frac{120 \pi / \sqrt{\epsilon_e}}{W/d + 1.393 + 0.667 \ln(W/d + 1.444)} \tag{5}$$

### 2.1 Lebar Saluran Transmisi

Antenna ini menggunakan metode *coupled line* sebagai teknik pencatuannya. Untuk lebar saluran pencatu ( $W_0$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut[16].

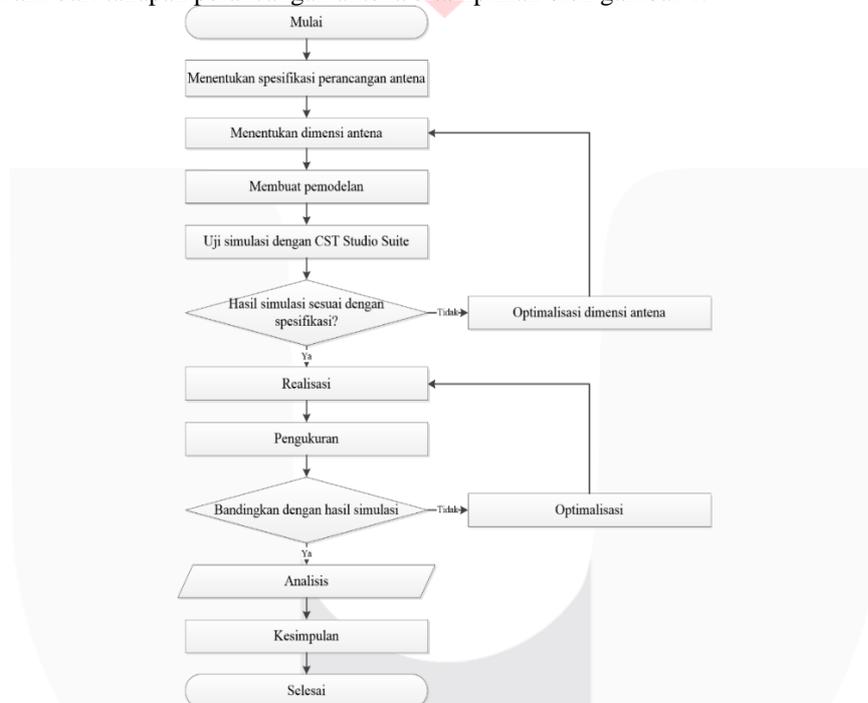
$$W_{slt} = \frac{2h}{\pi} \left\{ (B - 1 - \ln(2B - 1)) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \tag{6}$$

$$B = \frac{60\pi}{z\sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.15}$$

## 3. Perancangan Antena

### 3.1. Diagram Alir

Diagram alir dari tahapan perancangan antenna ditampilkan oleh gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir perancangan antenna

### 3.2 Spesifikasi Antena

Antena yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi antenna

Spesifikasi	Nilai
VSWR	$\leq 2$
Gain	$6 \geq$ dB
Polaradiasi	Unidirectional
Polarisasi	Linier
Bandwidth	3 GHz
Impedansi	$50 \Omega$
Return Loss	$\leq -10$ dB
Frekuensi kerja	3 GHz - 6 GHz

### 3.3 Simulasi Antena

Simulasi dijalankan dengan merancang antenna mikrostrip rectangular dengan nilai nilai parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Jika hasil simulasi sudah sesuai dengan parameter yang ditentukan, maka simulasi berhasil. Jika hasil belum sesuai maka akan dilakukan optimasi.

**a. Desain awal Antena Vivaldi**

Antena konvensional yang dirancang merupakan antenna mikrostrip dengan patch rectangular. Berikut merupakan gambar simulasi antenna konvensional (gambar 2) dan ukuran dimensinya (tabel 2)



**Gambar 2** Desain Awal Vivaldi Antenna

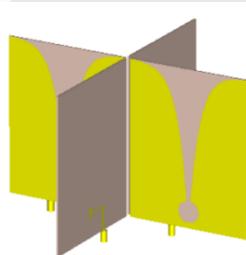
**Tabel 2** Ukuran dimensi antenna konvensional

Parameter	Nilai (mm)
$L$	40
$R$	0,11
$g1$	15
$g2$	15
$f$	30,5
$s$	0,7
$d$	12
$Wf$	1,4
$Ws$	1,4

Simulasi antenna dilakukan dengan tujuan hasil simulasi mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yaitu nilai return loss  $\leq -10$  dB, nilai VSWR  $\leq 2$  dan nilai gain  $6 \geq$  dB.

Hasil simulasi antenna pada Gambar 3.4 diketahui nilai return loss -7,4883 dB pada frekuensi bawah 3 GHz, pada frekuensi tengah diketahui return loss -14.672 dB pada frekuensi 4.5 GHz dan pada frekuensi atas diketahui return loss -5.3583 dB pada frekuensi 6 GHz. Hasil yang diperoleh pada tahap simulasi ini belum sesuai dengan spesifikasi, oleh karna itu diperlukan optimasi.

**b. Antena Vivaldi array 2 x 2.**



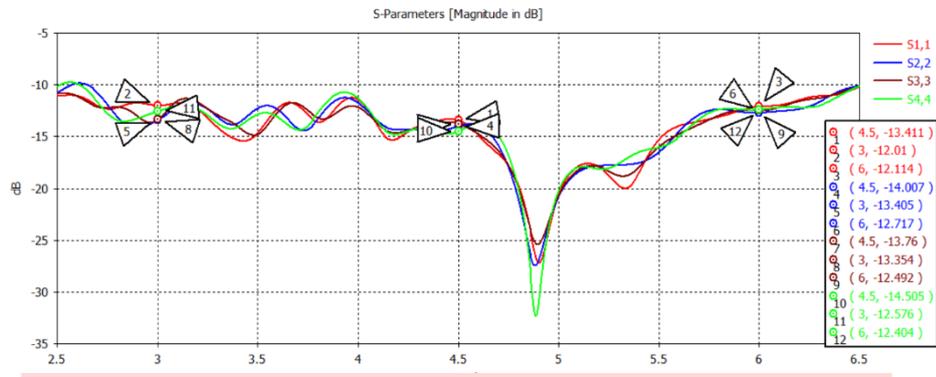
**Gambar 3** Desain antenna vivaldi array  $2 \times 2$ .

Setelah optimasi dengan pergeseran *feed* dan dimensi optimasi selanjutnya yaitu merancang antenna dengan array  $2 \times 2$ . untuk memenuhi spesifikasi antenna dikarenakan hasil optimasi sebelumnya gain dalam salah satu frekuensi dan polarisasinya belum mencapai spesifikasi.

### 3.4 Hasil Simulasi

Setelah dirancang sesuai dengan ukuran dimensi diatas, maka dijalankan simulasi yang menghasilkan nilai parameter sebagai berikut:

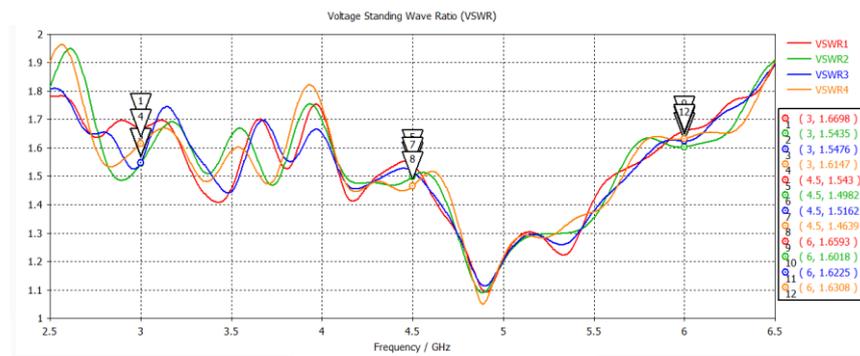
1. Return loss



Gambar 4 desain antenna vivaldi array 2 × 2.

Hasil return loss pada antenna vivaldi array 2 × 2 pada Gambar 3.23 menunjukkan pada semua antenna dan rentang frekuensi sudah memenuhi kriteria spesifikasi yang diinginkan.

2. VSWR



Gambar 5 hasil VSWR antenna Vivaldi array 2 × 2.

Grafik VSWR pada Gambar 3.24 menunjukkan hasil VSWR menunjukkan pada semua antenna dan rentang frekuensi sudah memenuhi kriteria spesifikasi yang diinginkan, yaitu hasil VSWR dapat dilihat pada tabel 3.7

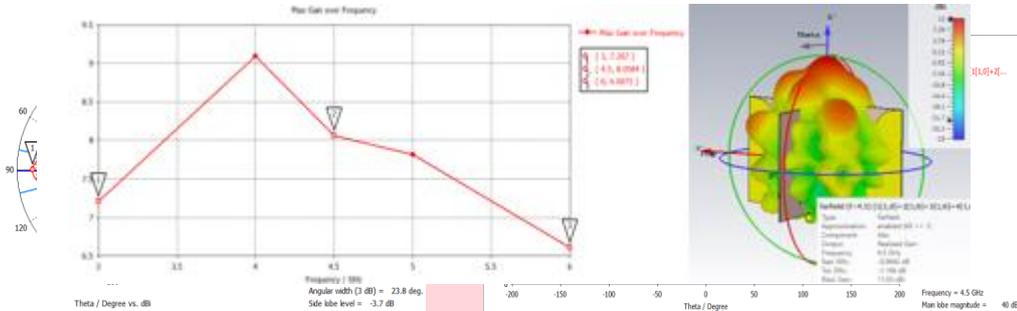
Tabel 3 hasil VSWR antenna Vivaldi array 2 × 2.

Frekuensi	Antenna 1	Antenna 2	Antenna 3	Antenna 4
3	1,66	1,54	1,54	1,61
4.5	1,54	1,49	1,51	1,46
6	1,65	1,60	1,62	1,63

3. Gain

**Gambar 6** hasil Gain antenna Vivaldi array  $2 \times 2$ .

Grafik gain pada Gambar 3.25 menunjukkan hasil gain antenna 1 pada frekuensi 3, 4,5, dan 6 Ghz bernilai 7,20 dB, 8,05 dB dan 6,60 dB. Dan hasil realized gain pada gambar 3.26 senilai 11,03 dBi. Hal ini menunjukkan hasil gain pada semua rentang frekuensi sudah memenuhi spesifikasi.



4. Polaradiasi dan Polarisasi

(a)

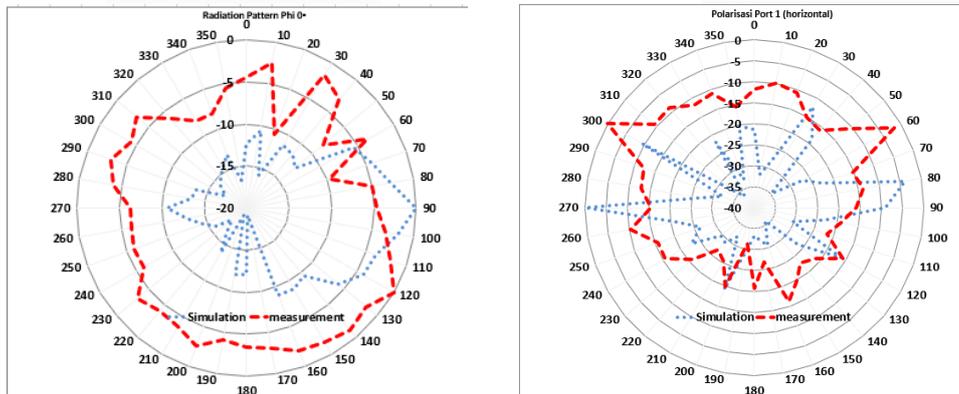
(b)

**Gambar 7** hasil Polaradiasi (a) dan Polarisasi (b) antenna Vivaldi array  $2 \times 2$ .

Pada Gambar 6 (a) hasil polaradiasi menunjukkan bentuk *unidirectional*. Karakteristik pola radiasi unidireksional adalah dikarenakan *main lobe* nya pada sudut  $90^\circ$ . Pada gambar 6 (b) didapatkan nilai axial ratio pada kedua antenna di frekuensi 4.5 Ghz adalah 25,22 dB pada sudut  $90^\circ$  yang berarti polarisasi berbentuk *elliptical*.

5. Realisasi

1. Polaradiasi dan Polarisasi



(a)

(b)

**Gambar 8** Perbandingan polaradiasi (a) dan Polarisasi (b) simulasi dan pengukuran.

Hasil pengukuran menunjukkan hasil polaradiasi berbentuk omnidirectional dan polarisasi berbentuk eliptical

2. Gain.

Pengukuran *gain* Antenna menggunakan metode perbandingan antara intensitas radiasi maksimum suatu Antenna penerima terhadap intensitas maksimum Antenna pemancar dengan nilai inputan daya yang sama. pengukuran menggunakan Antenna *horn* sebagai Antenna pemancar dengan *gain* menyesuaikan dengan frekuensi kerja yang digunakan pada Antenna. Hasil dapat dilihat pada tabel 4 dan perbandingan dengan simulasi dapat dilihat di tabel 5

**Tabel 4** hasil pengukuran gain antenna realisasi.

Pengukuran Gain 4,5 GHz		
Sampel Pengukuran	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (mW)
1	-34.59	0.000347536
2	-34.58	0.000348337

3	-34.42	0.00036141
4	-33.54	0.000442588
5	-34.64	0.000343558
6	-33.51	0.000445656
7	-33.57	0.000439542
8	-33.38	0.000459198
9	-34.4	0.000363078
10	-33.53	0.000443609
Rata-rata	-33.98536244	0.000399451

**Tabel 5** Perbandingan hasil pengukuran gain antenna realisasi.

Frekuensi	Simulasi	Realisasi
4,5	11 dBi	7.8 dBi

### 5. Analisis Perbandingan Parameter

Analisis dilakukan Berdasarkan hasil pengukuran parameter dalam dan luar untuk mengetahui perbandingan parameter simulasi dan realisasi. Pada parameter dalam nilai *return loss* dan VSWR pada saat proses simulasi dan realisasi telah sesuai dengan spesifikasi yang di inginkan yaitu bernilai  $\leq 2$  untuk VSWR dan senilai  $\leq -10$  dB untuk *return loss*, Meskipun begitu terdapat perbedaan dengan nilai parameter Antenna hasil simulasi. Pada pengukuran ini perbedaan tersebut antara lain nilai hasil VSWR realisasi ada yang lebih kecil yang disebabkan ketelitian saat fabrikasi, proses penyolderan yang tidak sempurna dan *loss* serta kesensitifitasan dari kabel *probe*. Tetapi nilai rata rata *return loss* dan VSWR Antenna realisasi lebih baik dibandingkan dengan nilai *return loss* Antenna simulasi, hal ini bukan hal umum yang dapat ditemui karna pada saat proses simulasi memiliki kondisi lingkungan yang ideal, dibanding melakukan realisasi tidak selalu mendapatkan kondisi lingkungan yang ideal seperti pada *software* simulasi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya pengaruh realisasi pada saat fabrikasi yaitu pada bagian copper dilapisi perak sehingga epsilon r nilainya berubah sehingga hasil pengukuran realisasi menjadi lebih baik dari simulasi. Hasil perbandingan parameter dalam pengukuran simulasi dan realiasi tiap antenna dapat dilihat pada tabel 4.12, tabel 4.13, tabel 4.14 dan tabel 4.15

**Tabel 6** Perbandingan hasil pengukuran simulasi dan realisasi Antenna 1.

Parameter	Frekuensi	Simulasi	Pengukuran
Return Loss	3	-12,01 dB	-14,038 dB
	4.5	-13,41 dB	-14,708 dB
	6	-12,717 dB	-17,511 dB
VSWR	3	1,66	1,38
	4.5	1,54	1,42
	6	1,65	1,29

**Tabel 7** Perbandingan hasil pengukuran simulasi dan realisasi Antenna 2.

Parameter	Frekuensi	Simulasi	Pengukuran
Return Loss	3	-13,40 dB	-14,755 dB
	4.5	-14,00 dB	-13,937 dB
	6	-12,717 dB	-15,126 dB
VSWR	3	1,54	1,41
	4.5	1,49	1,35
	6	1,60	1,48

**Tabel 8** Perbandingan hasil pengukuran simulasi dan realisasi Antenna 3.

Parameter	Frekuensi	Simulasi	Pengukuran
Return Loss	3	-13,25 dB	-12,38 dB
	4.5	-13,76 dB	-19,12 dB
	6	-12,49 dB	-15,17 dB
VSWR	3	1,54	1,60
	4.5	1,51	1,26
	6	1,62	1,4

**Tabel 9 Perbandingan hasil pengukuran simulasi dan realisasi Antenna 4.**

Parameter	Frekuensi	Simulasi	Pengukuran
<i>Return loss</i>	3	-12,57 dB	-12,49 dB
	4.5	-13,76 dB	-17.84 dB
	6	-12,40 dB	-14,20 dB
VSWR	3	1,61	1,65
	4.5	1,46	1,29
	6	1,63	1,48

Analisis perbandingan untuk parameter luar Antenna pengukuran menggunakan power combiner dan berfokus pada frekuensi tengah antenna yaitu 4.5 GHz. Berdasarkan pengukuran simulasi dan realiasi polaradiasi, polarisasi dan gain terdapat perbedaan hasil pengukuran. Pada hasil simulasi polaradiasi berbentuk *unidirectional*, sedangkan hasil pengukuran realisasi menghasilkan polaradiasi *omnidirectional*. Untuk hasil pengukuran polarisasi hasil simulasi dan realisasi mendapatkan hasil yang sama yaitu polarisasi *elliptical*. dan untuk hasil gain pada pengukuran realiasi mendapatkan hasil gain 7,8 dBi, hasil gain pengukuran realisasi lebih kecil dibanding hasil gain simulasi yaitu 11,03 dBi. Hasil perbandingan pengukuran parameter luar dapat dilihat pada tabel 4.16.

**Tabel 10 Perbandingan Parameter dalam simulasi Antenna dan realisasi Antenna.**

parameter	Simulasi	realisasi
<b>Polaradiasi</b>	<i>Unidirectional</i>	<i>Omnidirectional</i>
<b>Polariasi</b>	<i>elliptical</i>	<i>elliptical</i>
<b>Gain</b>	<b>11 dBi</b>	<b>7.8 dBi</b>

Perubahan dan perbedaan hasil simulasi dan realisasi antenna pada parameter luar ini dapat terjadi dikarenakan ruang pengukuran antenna realisasi tidak dilakukan di *anacoic chamber* sehingga kurang dapat meredam frekuensi lain dari dalam ruang pengukuran maupun dari luar ruangan sehingga menyebabkan interferensi, dan keterbatasan ruangan sehingga jarak pengukuran terbatas.

## 6. Kesimpulan

Pada tugas akhir ini mengusulkan antenna vivaldi Array 4 untuk radar respirasi dengan bandwidth yang lebar dengan frekuensi utama di 4.5 GHz. Rancangan Antenna di desain menggunakan software CST microwave studio 2019. Antenna hasil desain di realisasikan pada frekuensi tengah di 4.5 GHz memiliki Return Loss Antenna 1,2,3,4 senilai -17,08 dB,-13.937 dB,-19,12 dB dan -17.84 dB VSWR Antenna 1,2,3,4 senilai 1,42, 1,35, 1,26 dan 1,29. Dengan bentuk polaradiasi *Ommi directional*, bentuk polarisasi *elliptical* dan gain senilai 7,8 dBi.

## 7. Saran

Agar hasil performansi yang lebih optimal, dalam tugas akhir ini penulis menyarankan hal berikut: Sebaiknya pengukuran dilakukan dengan alat yang lebih baik dan teliti agar mendapatkan hasil yang lebih presisi di ruangan *anechoic chamber*. *anechoic chamber* merupakan tempat khusus untuk melakukan pengukuran sehingga pancaran gelombang elektromagnetik tidak ter-interferensi.

Perlunya pengujian alat dengan objek manusia agar dapat terlihat apakah Antenna yang dirancang dan realisasi dapat di implementasikan pada kasus yang nyata.

Proses fabrikasi sebaiknya dilakukan dengan ketelitian dan kehati-hatian yang tinggi agar hasilnya tidak jauh dari simulasi, karna sekecil apapun perbedaan antara dimensi simulasi dan realisasi memberikan dampak pada hasil pengukuran.

### Daftar Pustaka:

- [1] M. Shatila and H. Wijanto, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENNA PLASTER PADA FREKUENSI 2 . 45 GHZ UNTUK KOMUNIKASI WIRELESS BODY AREA NETWORK," *Telkom Univ.*, 2014.
- [2] D. P. Wulandari and H. Wijanto, "Design of An Ultra Wideband Antenna for Non- Contact Respiratory Monitoring," *Telkom Univ.*, pp. 4–5, 2018.

- [3] A. L. Goldberger, *Clinical Electrocardiography: A Simplified Approach*, 7Th Editio. Mosby, 2006.
- [4] A. Tariq, "Vital signs monitoring using Doppler Radar and on-body antennas," no. August, 2012.
- [5] Y. Xiong, S. Chen, X. Dong, Z. Peng, and W. Zhang, "Accurate measurement in doppler radar vital sign detection based on parameterized demodulation," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 65, no. 11, pp. 4483–4492, 2017.
- [6] I. Hilger *et al.*, "ultraMEDIS – Ultra-Wideband Sensing in Medicine," *Ultra-Wideband Radio Technol. Commun. Localization Sens. Appl.*, 2013.
- [7] B. S. K. Reddy and B. Lakshmi, "Design of a Wideband Widebeam Vivaldi Phased Array Antenna for X-band Airborne Radar Applications," pp. 6–11, 2015.
- [8] M. Welborn and J. McCorkle, "The importance of fractional bandwidth in ultra-wideband pulse design," *IEEE Int. Conf. Commun.*, vol. 2, no. 2, pp. 753–757, 2002.
- [9] I. M. S. Dwiantara, H. Wijanto, and Y. Wahyu, "Perancangan dan Implementasi Antenna Array Mikrostrip Bentuk Fraktal Sierpinski Gasket Pada Range Frekuensi 2, 3-2, 4 GHz," *Inst. Teknol. Telkom*, 2008.
- [10] P. J. Gibson, "The vivaldi aerial," in *1979 9th European Microwave Conference*, 1979, pp. 101–105.
- [11] Y. Yang, Y. Wang, and A. E. Fathy, "Design of Compact Vivaldi Antenna Arrays for Uwb See Through Wall Applications," *Prog. Electromagn. Res. PIER*, vol. 82, pp. 401–418, 2008.