

# PERANCANGAN DAN SIMULASI ANTENA HILBERT DENGAN FREKUENSI ZIGBEE 2400 MHZ UNTUK PERANGKAT TELEMEDIS

## DESIGN AND SIMULATION OF HILBERT ANTENNA WITH 2400 MHZ ZIGBEE FREQUENCIES FOR TELEMEDICINE DEVICES

Muhammad Endi Hardanu<sup>1</sup>, Bambang Setia Nugroho<sup>2</sup>, Harfan Hian Ryanu<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

harhardanu@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>,

bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>, harfanhr@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

### Abstrak

Telemedis adalah salah satu penerapan teknologi telekomunikasi di bidang kesehatan. Dalam pengembangan telemedis diperlukan antenna yang sesuai agar dapat diimplementasikan kepada perangkat yang dapat beroperasi di tubuh manusia. Salah satu antenna yang terus dikembangkan pada saat ini adalah *wearable antenna*, yaitu antenna berukuran kecil yang dapat digunakan pada tubuh manusia.

Pengimplementasian kurva Hilbert sebagai dasar geometri antenna dengan kemampuannya mengisi ruang dapat mempertahankan ukuran dimensi luar antenna, menghasilkan frekuensi resonansi yang relatif rendah, serta menghasilkan performa penguatan yang baik. Antenna yang dirancang akan beroperasi pada frekuensi 2400 MHz *band zigbee*, frekuensi radio yang melayani kecepatan transfer data rendah untuk mendukung teknologi *Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*. Material yang akan digunakan sebagai bahan dielektrik adalah FR-4 ( $\epsilon_r = 4,4$ ) dan bahan konduktor menggunakan tembaga. Teknik pencatutan yang digunakan pada antenna adalah *coaxial feeding*.

Pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dua skenario pengujian, yaitu simulasi antenna hilbert orde 1 dan orde 2. Berdasarkan simulasi pada kedua skenario, hasil pengukuran parameter terbaik diperoleh pada perancangan antenna skenario kedua dengan frekuensi operasi 2440 MHz. Hasil pengukuran *gain* yang diperoleh pada perancangan antenna skenario kedua 0,59% lebih besar daripada skenario pertama. Pada pengukuran SAR, skenario kedua memperoleh tingkat SAR 0,56% lebih rendah daripada skenario pertama. Pengukuran *bandwith* yang diperoleh pada skenario kedua 0,84% lebih lebar dibandingkan dengan perancangan antenna pada skenario pertama.

**Kata Kunci:** Telemedis, Wearable Antenna, Zigbee, Kurva Hilbert.

### Abstract

*Telemedicine is the application of telecommunications technology in the health sector. In the development of telemedicine, it is necessary to have an antenna that is suitable for application to devices that can operate in the human body. One of the antennas that continue to be developed at this time is the wearable antenna, which is a small and flexible antenna to maintain user comfort.*

*The implementation of hilbert curves as the basis of antenna geometry with its ability to fill space can maintain the size of the outer dimensions of the antenna, produce relatively low resonance frequencies, and produce better gain performance. The designed antenna will operate at a 2400 MHz zigbee band, a radio frequency that serves low data transfer rates to support Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) technology. The materials to be used as dielectric materials are FR-4 ( $\epsilon_r = 4.4$ ) and conductor materials using copper. The technique used on antennas is coaxial feeding.*

*In this Final Project, two test scenarios were carried out, namely the simulation of hilbert antenna order 1 and order 2. Based on simulations on both scenarios, the best parameter measurement results are obtained in the design of the second scenario antenna with an operating frequency of 2440 MHz. The gain measurement results obtained in the design of the second scenario antenna are 0.59% greater than the first scenario. In SAR measurements, the second scenario obtains a SAR level 0.56% lower than the first scenario. The bandwidth measurement obtained in the second scenario is 0.84% wider than the antenna design in the first scenario.*

**Keywords:** Telemedicine, Wearable Antenna, Zigbee, Hilbert Curves.

### 1. Pendahuluan

Pandemi *Covid-19* menjadi fenomena yang menggemparkan di seluruh dunia. Menurut WHO, di Indonesia telah terkonfirmasi jumlah kasus positif *Covid-19* sebanyak 4.116.890 jiwa dengan jumlah kematian sebanyak 134.930 jiwa per agustus 2021. Dari jumlah tersebut, sebanyak 1.967 kasus kematian merupakan tenaga kesehatan. Sebagai salah satu upaya dalam mengurangi angka kasus positif *Covid-19*, dibutuhkan sebuah teknologi pemantauan kondisi pasien jarak jauh berbasis komunikasi nirkabel untuk mengurangi interaksi antara tenaga medis dengan pasien terpapar. Pengaplikasian teknologi komunikasi nirkabel pada bidang kesehatan disebut telemedis.

Pada teknologi komunikasi nirkabel, antenna merupakan salah satu perangkat yang memiliki peran penting karena mampu melayani pengiriman sinyal atau data dengan mengkonversikan sinyal radio dan dipancarkan melalui konduktor menjadi gelombang elektromagnetik di ruang bebas. Penentuan bentuk dan ukuran dimensi antenna memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa antenna. Perancangan teknologi telemedis pada umumnya menggunakan *wearable antenna*, yaitu antenna *low profile* yang dapat digunakan pada tubuh manusia. Penerapan kurva hilbert sebagai bentuk geometri antenna dapat mempertahankan ukuran dimensi luar antenna meskipun dengan berbagai orde yang berbeda dan menghasilkan frekuensi resonansi minimum. Karakteristik yang dimiliki kurva hilbert sesuai dengan spesifikasi yang dipertimbangkan untuk perangkat telemedis.

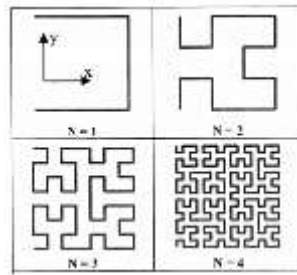
Terdapat beberapa penelitian yang terkait dengan perancangan antenna *wearable* dengan pengimplementasian kurva fraktal untuk telemedis. Penelitian [1] mengusulkan pembuatan antenna Hilbert orde ketiga untuk komunikasi *on-body* dan *off-body* menggunakan frekuensi 2,45 GHz dan frekuensi WLAN 5,5 GHz band ISM. Perancangan antenna pada penelitian tersebut menghasilkan nilai *return loss* sebesar -18 dB pada frekuensi 2,45 GHz dan -15 dB pada frekuensi 5,5 GHz. Penelitian [2] mengusulkan perancangan antenna *multi-band* fraktal orde ketiga, antenna fraktal *Sierpinski carpet* orde kedua dan antenna fraktal *crown rectangular* orde kedua untuk perangkat *wearable*. Hasil analisis pada penelitian tersebut menunjukkan ketiga antenna yang dirancang memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk perangkat GPS, WiMax dan Wifi. Pada penelitian [3] mengusulkan perancangan antenna menggunakan kombinasi geometri mikrostrip *standard equilateral triangular* dengan kurva fraktal Koch pada frekuensi 2,45 GHz band ISM. Perancangan antenna pada penelitian tersebut menghasilkan nilai *return loss* sebesar -30 dB pada frekuensi 2,45 GHz dengan *gain* maksimum sebesar 2,06 dBi dan SAR maksimum sebesar 1,58 W/kg. Pada penelitian [4] mengusulkan perancangan antenna fraktal *Self-Affine* orde 0, 1, 2 dan 3 pada frekuensi 405 MHz band MICS untuk aplikasi telemedis. Perancangan antenna pada penelitian tersebut memperoleh performa terbaik pada orde 3 dengan nilai *return loss* sebesar -40 dB pada frekuensi 403 MHz.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perancangan dan simulasi antenna dengan mengaplikasikan kurva Hilbert orde 1 dan orde 2 yang beroperasi pada frekuensi 2400 MHz band Zigbee untuk perangkat telemedis. Bahan dielektrik yang digunakan adalah FR-4 ( $\epsilon_r = 4,4$ ) dengan ketebalan 1,6 mm dan menggunakan pencatu *coaxial*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Antena Hilbert

Antena Hilbert merupakan suatu antenna dengan pengimplementasian kurva Hilbert sebagai strukturnya. Kurva Hilbert merupakan kurva pengisi ruang yang efektif untuk mempertahankan ukuran dimensi antenna meskipun dengan orde yang berbeda. Kemampuan tersebut memungkinkan penggunaan kurva Hilbert ke dalam bentuk dimensi antenna dapat menghasilkan suatu antenna dengan ukuran yang kecil dengan frekuensi resonansi yang relatif rendah dan performa penguatan (*gain*) antenna yang baik sehingga cocok untuk diaplikasikan ke dalam perangkat telemedis. Gambar 2.1 menunjukkan bentuk geometri kurva hilbert orde ke-n.



**Gambar 2.1** Kurva hilbert pada orde ke-n [11].

Komposisi kurva Hilbert terdiri dari; kabel paralel per segmen ( $d$ ) dan lebar patch ( $w$ ) atau ( $b$ ). Perhitungan lebar patch ( $w$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$w = \frac{8he^A}{e^{2A-2}} ; \quad (2.1)$$

$$A = \left( \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} \right) + \left( \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \right) \left( 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.2)$$

dengan  $h$  adalah nilai ketebalan substrat dan  $\epsilon_r$  adalah nilai konstanta dielektrik. Setelah mendapatkan nilai lebar patch ( $w$ ), dilanjutkan dengan perhitungan dimensi luar antenna ( $d$ ) dengan persamaan 2.3.

$$d = 20 \times w \quad (2.3)$$

Perhitungan panjang patch per segmen ( $l$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$l = \frac{d}{2^{n-1}} \quad (2.4)$$

## 2.2 Coaxial Feeding

Teknik pencatutan *coaxial probe* dilakukan dengan melubangi bagian *ground plane* dan substrat sehingga konduktor bagian dalam dari konektor *coaxial* menyentuh *patch* dan konduktor luar memanjang dari bawah ke *ground plane*. Keunggulan dari *coaxial feeding* adalah tidak membutuhkan rangkaian penyepadan apabila telah berada pada posisi *feed point* yang sesuai. Kekurangan dari teknik pencatutan *coaxial probe* adalah menghasilkan *bandwidth* yang sempit.

## 2.3 Electromagnetic Band Gap (EBG)

EBG merupakan struktur buatan dengan arus impedansi tinggi. Karakteristik yang dimiliki oleh EBG dapat menekan gelombang arus permukaan yang dapat mengurangi efisiensi antenna. Sehingga karakteristik tersebut memiliki dampak yang cukup berpengaruh apabila struktur EBG diaplikasikan sebagai *ground* pada antenna.

## 2.4 Specific Absorption Rate (SAR)

SAR adalah ukuran energi dari paparan bidang frekuensi radio (RF) oleh medan elektromagnetik yang diserap oleh tubuh manusia [14]. Perhitungan SAR sangat penting dilakukan dalam pengembangan perangkat elektromagnetik akibat interaksi antara radiasi pada perangkat elektromagnetik yang digunakan manusia dengan jaringan biologis pada tubuh manusia dapat menimbulkan efek berbahaya. Standar *Federal Communications Commission* (FCC) menetapkan nilai SAR maksimum adalah 1.6 W/Kg. SAR dapat didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$SAR = \frac{\sigma|E|^2}{\rho} \quad (2.11)$$

dengan  $|E|$  merupakan medan listrik (V/m),  $\sigma$  merupakan konduktivitas jaringan (S/m) dan  $\rho$  merupakan massa jenis material (Kg/m<sup>3</sup>).

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Penentuan Spesifikasi Antena

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan simulasi antenna hilbert berbahan FR-4 dengan frekuensi 2400 MHz band zigbee untuk aplikasi telemedis. Spesifikasi antenna yang dirancang adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Antena.

No.	Parameter	Spesifikasi
1.	Frekuensi Operasi ( $f_o$ )	2400 MHz – 2483 MHz

2.	VSWR	$\leq 2$
3.	Return Loss	$\leq -10$ dB
4.	Gain	$\geq 3$ dBi
5.	SAR	$< 1.6$ W/kg

### 3.2 Penentuan Dimensi Antena

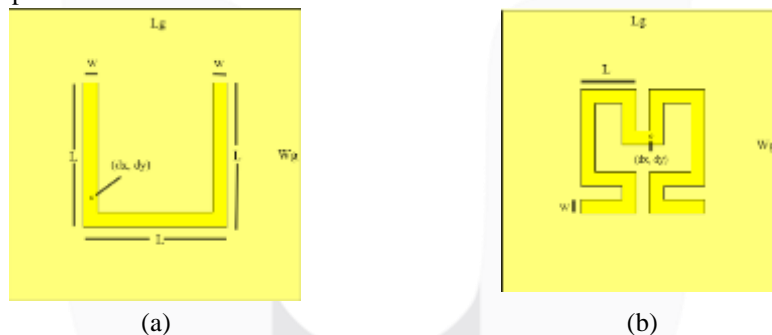
Tabel 3.2 dibawah ini menunjukkan hasil yang didapatkan dari perhitungan dimensi antena Hilbert pada iterasi orde 1 dan 2.

**Tabel 3.2** Hasil perhitungan dimensi antena.

Parameter	Simbol	n = 1	n = 2
Lebar Patch	$w$	3,08	3,08
Panjang Patch	$l$	61,6	20,53
Panjang Ground plane	$L_g$	120	120
Lebar Ground Plane	$W_g$	120	120
Tebal Konduktor	$hg$	0,035	0,035
Tebal Substrat	$hs$	1,6	1,6
Diameter feeder	$d_f$	0,7 mm	0,7 mm
Diameter Inner Coaxial	$d_i$	1,59 mm	1,59 mm
Diameter Outer Coaxial	$d_o$	1,6 mm	1,6 mm
Posisi feed point	$(dx, dy)$	(29.3, 1.54)	(9.69, 1.54)

### 3.3 Simulasi Perancangan Berdasarkan Perhitungan

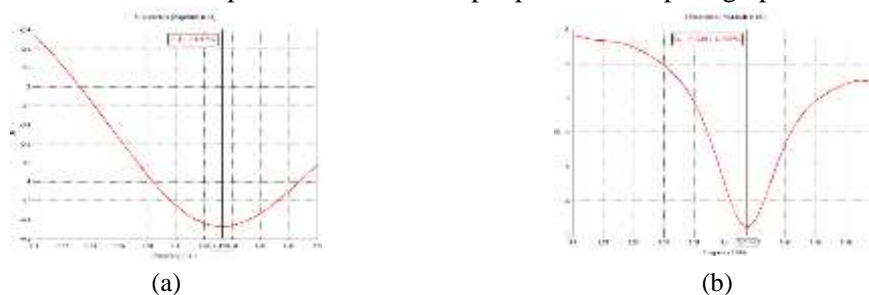
Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 desain awal antena. Nilai dimensi antena yang diperoleh pada tabel 3.2.



**Gambar 3.1** Perancangan antena hilbert (a) orde 1 dan (b) orde 2 berdasarkan perhitungan.

### 3.4 Hasil Simulasi Awal

Pada gambar 3.2 menunjukkan hasil simulasi perhitungan dimensi antena skenario pertama dengan nilai *return loss* sebesar -4,47 dB pada frekuensi 4232,6 MHz. Gambar 3.4 menunjukkan hasil simulasi perhitungan dimensi antena skenario kedua dengan nilai *return loss* sebesar -6,74 dB pada frekuensi 2414,4 MHz Hasil *return loss* yang didapatkan dari kedua skenario tersebut belum memenuhi spesifikasi, sehingga antena akan dilakukan optimasi untuk mencapai performansi paling optimum.



**Gambar 3.2** Nilai *return loss*; (a) orde 1, dan (b) orde 2.

### 3.5 Perancangan Struktur EBG

Ukuran EBG per *patch* pada orde 1 dengan ukuran *ground* 120 mm x 120 mm adalah sebagai berikut:  $Lc_1 = 37$  mm;  $Ls_1 = 35,5$  mm;  $Lc_2 = 34$  mm;  $Ls_2 = 32,5$  mm;  $Lc_3 = 31$  mm;  $Wsr = 1,5$  mm; dengan *gap* antar *patch* = 3 mm. Sedangkan untuk ukuran dimensi EBG per *patch* pada orde 2 dengan ukuran *ground* 60 mm x 60 mm adalah sebagai berikut:  $Lc_1 = 17$  mm;  $Ls_1 = 15,5$  mm;  $Lc_2 = 14$  mm;  $Ls_2 = 12,5$  mm;  $Lc_3 = 11$  mm;  $Wsr = 1,5$  mm; dengan *gap* antar *patch* = 3 mm.

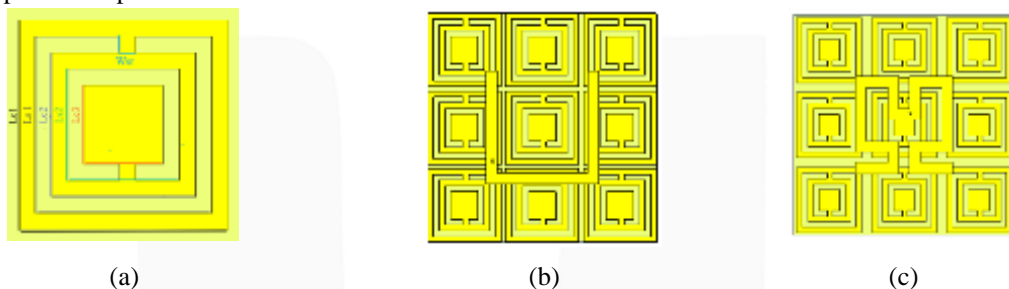
### 3.6 Dimensi Antena Setelah Optimasi

Optimasi dalam menentukan frekuensi kerja dilakukan dengan mengubah panjang dan lebar *patch*. Untuk menentukan *return loss* dan VSWR yang optimal, dilakukan optimasi dengan menentukan posisi *feed point* yang sesuai. Sedangkan untuk melakukan optimasi terhadap *gain* dan SAR, dilakukan penambahan struktur EBG pada *ground plane* yang berfungsi untuk meminimalisir radiasi arah *back lobe* dari antena. Tabel 3.3 dibawah ini menunjukkan parameter dimensi antena setelah dilakukan optimasi.

**Tabel 3.3** Parameter dimensi antena setelah optimasi.

Parameter	n=1	n=2
Panjang <i>Ground Plane</i> ( $L_g$ )	120 mm	60 mm
Lebar <i>ground plane</i> ( $W_g$ )	120 mm	60 mm
Panjang <i>patch</i> per segmen ( $l$ )	59,2 mm	17,6 mm
Lebar <i>patch</i> per segmen ( $w$ )	6 mm	6 mm
Posisi <i>feed point</i> ( $dx, dy$ )	(-26, 2.8)	(3.5, 6.5)

Gambar 3.3 menunjukkan bentuk struktur antena hilbert orde 1 (a) dan orde 2 (b) setelah dilakukan optimasi pada ukuran dimensi, posisi *feed point* dan penambahan struktur EBG pada *ground plane* dengan nilai-nilai parameter pada tabel 3.3.



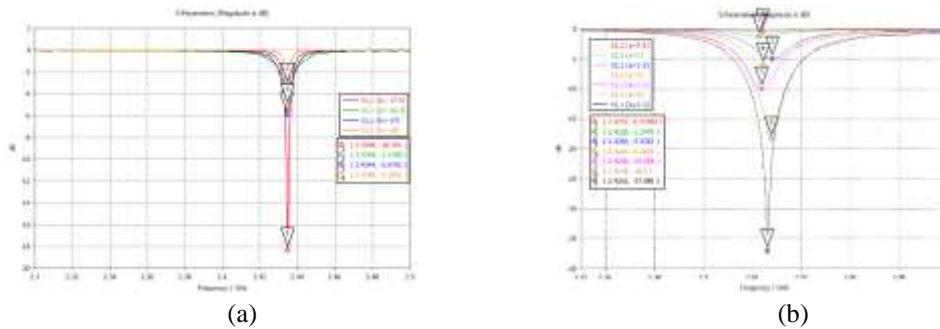
**Gambar 3.3** Struktur EBG (a) dan pengaplikasiannya pada antena (b) orde 1 dan (c) orde 2.

## 4. Pengujian Dan Analisis

### 4.1 Studi Parametrik

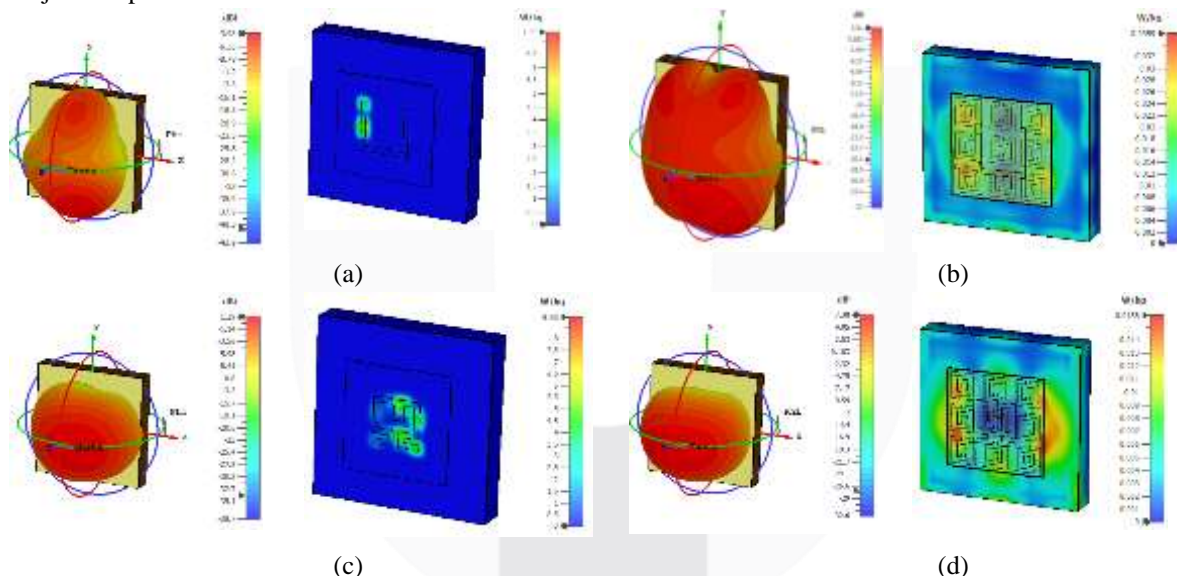
Studi parametrik pertama adalah dilakukan analisis pengaruh posisi *feed point* ( $dx, dy$ ) terhadap frekuensi kerja dan *return loss*. Studi parametrik pada skenario pertama dilakukan dengan posisi  $dx$  -26 mm dan variasi posisi  $dy$  pada -16,5 mm, -17 mm, -17,5 mm dan -18 mm. Gambar 4.1 (a) menunjukkan  $dy = -17,5$  mm menghasilkan *return loss* sebesar -18,36 dB dan bekerja pada frekuensi 2434,8 MHz, dan  $dy = -18$  mm menghasilkan *return loss* sebesar -5,18 dB dan bekerja pada frekuensi 2434,8 MHz. Berdasarkan hasil dari empat sampel tersebut,  $dy = -17,5$  dB adalah posisi *feed point* yang paling sesuai karena memenuhi batas toleransi *return loss* yaitu -10 dB dan frekuensi kerja yang mendekati dengan frekuensi tengah dari band zigbee yaitu 2,4 – 2,48 GHz. Penelitian dilanjutkan dengan analisis studi parametrik skenario kedua. Pada studi parametrik skenario kedua digunakan posisi  $dy$  6,5 mm dan variasi posisi  $dx$  pada 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm dan 3,5 mm. Gambar 4.1 (b) menunjukkan posisi  $dx = 0,5$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -0,47 dB pada frekuensi kerja 2424,2 MHz,  $dx = 1$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -1,2 dB pada frekuensi kerja 2422,8 MHz,  $dx = 1,5$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -5 dB,  $dx = 2$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -6 dB pada frekuensi kerja 2424,4 MHz,  $dx = 2,5$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -10 dB pada frekuensi kerja 2423,8 MHz,  $dx = 3$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -18,4 dB pada frekuensi kerja 2427,8 MHz,  $dx = 3,5$  mm menghasilkan nilai *return loss* sebesar -37 dB pada frekuensi kerja 2426,2 MHz. Berdasarkan studi parametrik dari 7 sampel tersebut, posisi  $dx = 0,5$  mm, 1 mm, 1,5 mm dan 2 mm tidak memenuhi batas toleransi *return loss*, yaitu sebesar -10 dB. Sedangkan posisi  $dx = 2,5$  mm, 3 mm dan 3,5 mm memperoleh nilai *return loss*

yang lebih kecil dari batas toleransi *return loss*. Sehingga dari ketiga sampel tersebut, posisi  $dx$  yang paling sesuai adalah pada 3,5 mm karena memperoleh nilai *return loss* yang paling baik yaitu sebesar -37 dB.



**Gambar 4.1** Pengaruh posisi *feed point* terhadap *return loss* pada; (a) orde 1 dan (b) orde 2.

Penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengujian pengaruh struktur *double slotted-ring* EBG pada *ground plane* pada antenna. Gambar 4.2 menunjukkan antenna orde 1 tanpa menggunakan struktur EBG memperoleh *gain* sebesar -3,93 dBi dan setelah menggunakan EBG memperoleh *gain* sebesar 3,01 dBi. Pada skenario kedua, antenna orde 2 tanpa menggunakan struktur EBG memperoleh *gain* sebesar 1,29 dBi dan setelah menggunakan EBG memperoleh *gain* sebesar 7,38 dBi. SAR yang diperoleh pada skenario pertama tanpa menggunakan EBG sebesar 7,33 W/kg dan setelah menggunakan EBG, nilai SAR yang diperoleh sebesar 0,0539 W/kg. Pada skenario kedua, antenna tanpa EBG memperoleh sebesar 8,88 W/kg dan setelah menggunakan EBG, nilai SAR yang diperoleh sebesar 0,0158 W/kg. Pengujian ini membuktikan bahwa struktur EBG memiliki pengaruh yang signifikan dalam menjadikan pola radiasi antenna *unidirectional*.

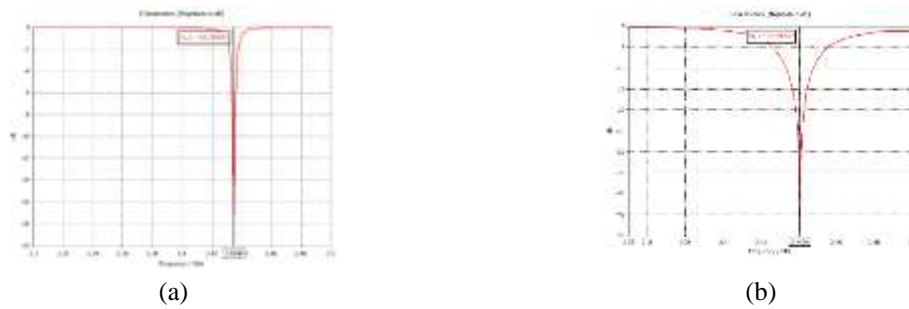


**Gambar 4.2** *Gain* dan SAR tanpa ebg; (a) orde 1, (c) orde 2 dan menggunakan ebg; (b) orde 1 dan (d) orde 2.

## 4.2 Simulasi Antena Terhadap Tubuh

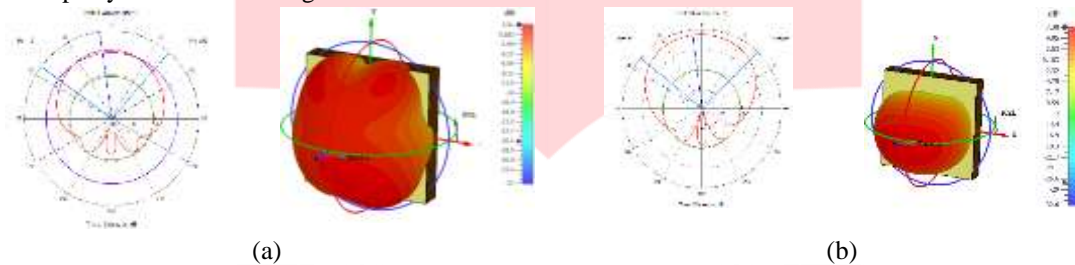
### 4.2.1 Hasil Simulasi

Pada gambar 4.3 (a) menunjukkan hasil grafik *return loss* setelah optimasi pada antenna hilbert orde 1 yang beroperasi pada frekuensi 2434,8 MHz dengan nilai *return loss* sebesar -18,3 dB. Batas bawah frekuensi yang diperoleh berada pada 2433,6 MHz dan batas atas frekuensi berada pada 2436 MHz. Lebar pita frekuensi tersebut belum mencukupi spesifikasi yang dibutuhkan sehingga penelitian dilanjutkan dengan melakukan analisis pada skenario kedua. Pada skenario kedua diperoleh nilai *return loss* sebesar -47,59 dB pada frekuensi kerja 2440 MHz seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 (b). Batas bawah frekuensi pada *return loss* -10 dB yang diperoleh sebesar 2433 MHz dan batas atas frekuensi yang diperoleh sebesar 2448 MHz.



**Gambar 4.3** Hasil Pengukuran Return Loss pada; (a) orde 1 dan (b) orde 2.

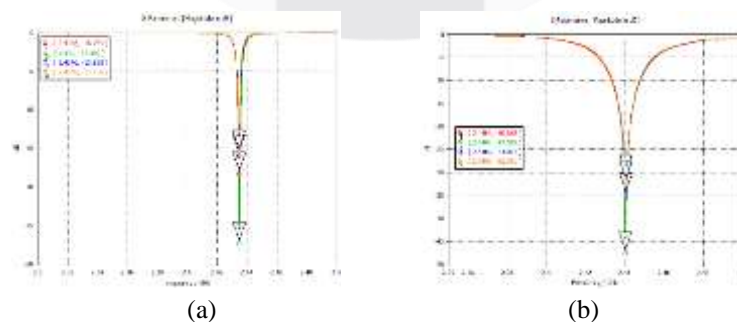
Parameter medan antenna yang diuji pada penelitian tugas akhir ini adalah pola radiasi dan *gain* berdasarkan hasil yang paling sesuai pada studi parametrik. Gambar 4.4 menunjukkan hasil pola radiasi antenna terhadap arah elevasi dan arah azimuth pada skenario pertama dan skenario kedua. Pengujian parameter luar dilanjutkan dengan melakukan pengukuran *gain* antenna pada kedua skenario dengan skenario pertama memperoleh *gain* sebesar 3,01 dBi dan skenario kedua memperoleh *gain* sebesar 7,38 dBi. Nilai *gain* yang diperoleh dari kedua skenario tersebut memenuhi persyaratan minimum  $gain \geq 3$  dBi.



**Gambar 4.4** Pengukuran pola radiasi dan *gain* (a) orde 1 dan (b) orde 2.

#### 4.2.2 Pergeseran Jarak Antena Terhadap Phantom

Pengaplikasian antenna terhadap tubuh manusia yang selalu bergerak akan menimbulkan perubahan jarak antara antenna terhadap phantom. Pergeseran tersebut dapat menimbulkan perubahan pada karakteristik antenna. Untuk memastikan antenna tetap bekerja dengan baik, maka dilakukan pengujian penggeseran jarak antenna terhadap tubuh sebesar 5 mm pada skenario pertama dan skenario kedua dengan variasi jarak antenna terhadap tubuh  $d = 5$  mm, 10 mm dan 15 mm. Gambar 4.5 (a) menunjukkan hasil pengujian pada skenario pertama;  $d = 5$  mm memperoleh nilai *return loss* -15,45 dB,  $d = 10$  mm memperoleh nilai *return loss* -15,96 dB,  $d = 15$  mm memperoleh nilai *return loss* -18,3 dB dan  $d = 20$  mm memperoleh nilai *return loss* -27,39 dB. Selanjutnya gambar 4.5 (b) menunjukkan hasil pengujian pada skenario kedua;  $d = 5$  mm memperoleh nilai *return loss* -30,64 dB,  $d = 10$  mm memperoleh nilai *return loss* -32,04 dB,  $d = 15$  mm memperoleh nilai *return loss* -34,87 dB dan  $d = 20$  mm memperoleh nilai *return loss* -47,6 dB. Berdasarkan hasil pengujian dari kedua skenario diatas, dapat disimpulkan bahwa jarak yang lebih jauh dari tubuh akan menghasilkan performa yang lebih baik pada antenna dan sebaliknya.

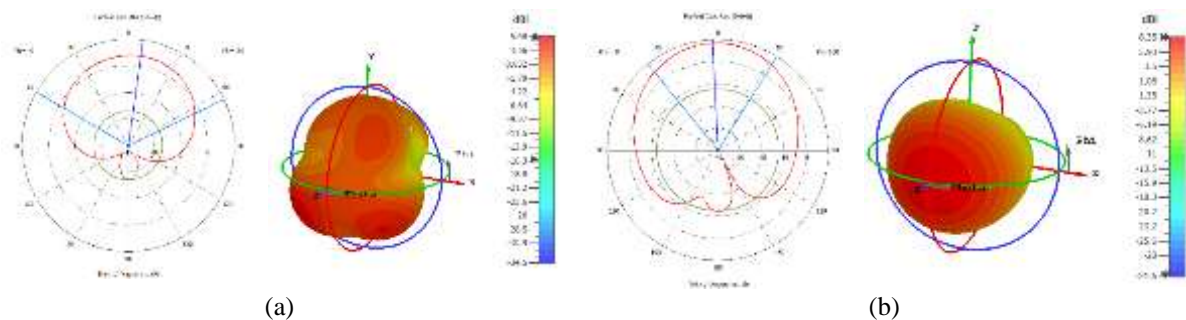


**Gambar 4.5** Pergeseran jarak antenna terhadap phantom pada; (a) orde 1 dan (b) orde 2.

#### 4.3 Simulasi Antena Tanpa Tubuh

Pengukuran parameter medan antenna tanpa tubuh pada penelitian ini dilakukan dengan pengujian pola radiasi dan *gain*. Pada gambar 4.6 menunjukkan hasil pola radiasi yang diperoleh oleh skenario pertama dan kedua, yaitu

antena hilbert orde 1 dan orde 2 dan pengujian parameter *gain* antenna yang diperoleh dari kedua skenario. Skenario pertama memperoleh *gain* sebesar 5,48 dBi. Sedangkan hasil *gain* antenna yang diperoleh dari skenario kedua sebesar 8,35 dBi. Hasil dari pengujian tersebut membuktikan bahwa antenna tanpa tubuh manusia yang memberikan dampak rugi-rugi (*losses*) pada antenna dapat merubah karakteristik antenna menjadi lebih optimal.



**Gambar 4.6** Pola Radiasi dan *Gain*; (a) orde 1 dan (b) orde 2.

## 5. Kesimpulan Dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan berbagai simulasi pengujian dan analisis, berikut adalah kesimpulan yang didapatkan pada penelitian Tugas Akhir ini.

1. Berdasarkan simulasi pada kondisi antenna terhadap tubuh, antenna hilbert orde 2 memperoleh performa paling baik dengan *return loss* -47,5 dB pada frekuensi 2440 MHz, *bandwidth* 15 MHz, *gain* maksimum mencapai 7,38 dBi dan SAR 0,0158 W/kg. Hasil parameter yang didapatkan menunjukkan bahwa *gain* yang didapatkan pada skenario kedua 0,59% lebih besar dibandingkan dengan skenario pertama, SAR yang didapatkan pada skenario kedua 0,56% lebih besar dibandingkan dengan skenario pertama dan *bandwidth* yang didapatkan 0,84% lebih lebar dibandingkan dengan perancangan antenna pada skenario pertama.
2. Optimasi terhadap *return loss* dan frekuensi kerja dilakukan dengan modifikasi ukuran dimensi antenna dan menentukan posisi *feed point*. Untuk meningkatkan *gain* dan meminimalisir radiasi *back lobe* dilakukan perancangan struktur EBG.
3. Nilai SAR yang diperoleh dari hasil pengujian menunjukkan antenna mampu beroperasi dengan minimum dampak negatif terhadap tubuh manusia. Jarak antenna terhadap tubuh merupakan salah satu faktor yang dapat mengubah karakteristik antenna.

### 5.2 Saran

Berikut adalah saran yang diharapkan dapat membantu pengembangan antenna hilbert sebagai perangkat telemedis pada penelitian selanjutnya.

1. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, antenna hilbert dengan orde 2 memperoleh performa yang lebih baik dibandingkan dengan orde 1. Untuk mendapatkan performa yang lebih baik sebaiknya dilakukan perancangan antenna hilbert dengan orde yang lebih tinggi.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih konkret, sebaiknya dilakukan fabrikasi agar dapat dibandingkan dengan data hasil simulasi.
3. Untuk meningkatkan performa medan jauh antenna pada penelitian selanjutnya, dapat menggunakan metode selain EBG.

### Referensi:

- [1] S. A. Saputro and J. Y. Chung, "Hilbert curve fractal antenna for dual on- and off-body communication," *Prog. Electromagn. Res. Lett.*, vol. 58, no. December 2015, pp. 81–88, 2016, doi: 10.2528/PIERL15111107.
- [2] M. I. Ahmed and M. F. Ahmed, "Fractal Antennas for Wearable Applications," *Fractal Anal.*, pp. 1–17, 2019, doi: 10.5772/intechopen.81503.
- [3] A. Arif, M. Zubair, M. Ali, M. U. Khan, and M. Q. Mehmood, "A Compact, Low-Profile Fractal Antenna for Wearable On-Body WBAN Applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp.



- 981–985, 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2906829.
- [4] G. Srivatsun and S. S. Rani, “A self-affine fractal antenna for wireless telemedicine applications,” *2010 6th Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. WiCOM 2010*, 2010, doi: 10.1109/WICOM.2010.5600103.
- [5] M. A. Darmaw, “Design, Simulation, and Fabrication of Second, Third, and Fourth Order Hilbert Antennas as Ultra Frequency y Partial Discharge Sensor,” vol. 1, pp. 319–322, 2015.
- [6] T. Kellomäki, W. G. Whittow, J. Heikkinen, and L. Kettunen, “2.4 GHz plaster antennas for health monitoring,” *Eur. Conf. Antennas Propagation, EuCAP 2009, Proc.*, pp. 211–215, 2009.

