

Perancangan Antena Implan pada Frekuensi MICS (*Medical Implant Communication Service*) Band untuk Aplikasi Biomedis

Nafisyah Apriani¹⁾, Yusnita Rahayu²⁾, Teguh Praludi³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro, ³⁾Sivitas Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi BRIN

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam,
Pekanbaru, Riau 28293

E-mail : nafisyah.apriani1439@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Microstrip antenna is a sensor and monitoring technology that is currently developing rapidly. In the medical field, microstrip antennas have been widely used. This study presents an implantable microstrip antenna that is implanted in the human body for medical applications. The antenna is designed to work in the MICS frequency band (402-405 MHz) using Roger RT Duroid 6010 substrate material ($\epsilon_r = 10.2$ and thickness 0.635 mm). The implanted antenna is designed using a spiral miniaturization technique with a radius of 6.74 mm to maintain its dimensions at low frequencies. The implant antenna was simulated using a phantom (skin, fat, muscle) using the CST Studio Suite simulation software. From the simulation results, the return loss value is -17.794, the gain directivity achieved is -47.71 dBi and the VSWR achieved is 1.2619 and the bandwidth is 136.95 MHz. All parameters are in accordance with ITU standardization.

Keywords: implanted antenna, MICS band, miniaturization technique, phantom

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin pesat membuat pemanfaatan teknologi telekomunikasi hingga ke peralatan medis. Teknologi antena merupakan salah satu teknologi telekomunikasi yang dimanfaatkan dalam bidang medis. Dalam beberapa tahun ini, antena pada bidang medis sedang hangat diperbincangkan. Kebutuhan akan perangkat komunikasi seperti teknologi antena yang dapat ditanamkan ke dalam tubuh manusia untuk aplikasi medis berkembang dengan cepat. Aplikasi penting yang membutuhkan perangkat telekomunikasi seperti terapi, monitoring, dan diagnosis dengan pengiriman data antara alat yang ditanamkan dalam tubuh

manusia dengan sebuah *base station* yang bertugas menganalisis data.

Antena mikrostrip merupakan perangkat telekomunikasi yang dapat digunakan pada bidang medis. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk difabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain sehingga sangat tepat digunakan pada aplikasi medis. Aplikasi medis yang menggunakan perangkat telekomunikasi jenis antena ini adalah pada aplikasi monitoring detak jantung, monitoring kadar gula darah, deteksi tumor dan kanker, dan lain sebagainya.

Menurut *Electronic Communications Committee* (ECC) pada standar EN 301 839 (freq) serta IEEE 802.15.6-2012 mendistribusikan pita frekuensi eksklusif yang dapat digunakan ke sensor implan. Untuk merancang antena implan pada bidang medis, pita frekuensi yang direkomendasikan oleh *Federal Communications Commission* (FCC) yaitu : *Medical Implant Communications Service* (MICS) pada rentan frekuensi 402 hingga 405 MHz, *Wireless Medical Telemetry Services* (WMTS) pada rentan frekuensi 608-614 MHz, 1395-1400 MHz dan 1427-1432 MHz, serta *Industrial Scientific and Medical* (ISM) pada rentan frekuensi 902 – 928 MHz, 2,4–2,4835 GHz, 5,725 – 5,875 GHz. Pada penelitian ini, rancangan antena implan menggunakan pita frekuensi MICS yang bekerja antara 402 hingga 405 MHz (telah sesuai menurut standarisasi *Electronic Communications Committee* (ECC) dan *Federal Communications Commission* (FCC)).

Studi simulasi antena pada bidang medis telah dilakukan oleh Yaser (2019). Studi ini menjelaskan tentang sebuah antena implan yang ditanam ke dalam tubuh manusia di antara lapisan kulit dan lemak, yang di aplikasikan untuk memonitor kondisi pasien seperti detak jantung dan tekanan darah pada frekuensi MICS *band* (403-405 MHz). Penelitian terkait tentang miniaturisasi antena implan dilakukan oleh Wang (2020). Penelitian ini menggunakan teknik miniaturisasi spiral berbentuk persegi. Antena yang pada penelitian ini memiliki dimensi sebesar 287,3 mm³.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang antena yang dapat ditanamkan dengan frekuensi MICS *band* (402-405 MHz), *return loss* (-15 sampai -30 dB) , $VSWR \leq 2$ sesuai standar regulasi ITU pada bidang medis. Perancangan menggunakan teknik

miniaturisasi yang berfungsi agar dimensi antena yang didapatkan akan lebih baik dari pada penelitian sebelumnya. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil parameter sesuai standar ITU agar bisa diaplikasikan pada bidang medis.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip sebagai salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai peradiasi pada sejumlah sistem telekomunikasi modern karena memiliki bentuk yang sederhana, kecil, ringan, efisien, ekonomis, serta cenderung lebih mudah dalam pembuatan. Secara umum, antena mikrostrip terdiri atas tiga bagian, yaitu *patch*, *substrate*, dan *Ground plane* (Balanis,2005)

Antena mikrostrip memiliki kelebihan diantaranya bentuk yang kecil, kompak, dan sederhana. Akan tetapi jenis antena ini memiliki beberapa kekurangan, diantaranya : gain yang rendah, keterarahan yang kurang baik, efisiensi rendah, rugi-rugi hambatan pada saluran pencatu, dan bandwidth yang sempit. (Alam, 2017)

Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena mikrostrip dengan dimensi antena berbentuk lingkaran dengan menggunakan rumus berikut (Alam, 2017):

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right]}} \quad (1)$$

Dimana :

f_r = frekuensi resonansi

v_0 = kecepatan cahaya diruang bebas

a_e = panjang antena

ϵ_r = konstanta dielektrik

2.2 Parameter Antena Mikrostrip

Parameter antena merupakan kemampuan kinerja antena yang pada penelitian ini yaitu *return loss*, *bandwidth*, *VSWR*, *gain*, dan pola radiasi.

1. Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. Return loss dapat terjadi karena adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Antena yang baik memiliki nilai return loss ≤ -10 dB dimana nilai gelombang yang direfleksikan lebih kecil dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan saluran transmisi, sehingga saluran transmisi telah matching dengan antena. Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya return loss bervariasi tergantung pada frekuensi seperti yang ditunjukkan oleh :

$$\text{Return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2)$$

2. Bandwidth

Bandwidth didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari suatu antena. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas sudah diketahui. Frekuensi bawah (f_b) adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas (f_a) merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena.

3. VSWR

VSWR adalah perbandingan amplitudo tegangan antara gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Secara khusus, VSWR dapat dinyatakan dengan persamaan (Volakis, 2007) :

$$\text{VSWR} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{(1+|\Gamma|)}{(1-|\Gamma|)} \quad (3)$$

4. Gain

Gain mempunyai satuan decibel (dB), sedangkan satuan gain dengan antena sumber isotropik adalah decibel isotropic (dBi). Gain antena berhubungan erat dengan direktivitas antena dan faktor efisiensi antena. Namun pada kenyataannya, sangat jarang gain suatu antena dihitung berdasarkan tingkat direktivitas dan faktor efisiensinya dikarenakan kesulitan mendapatkan nilai direktivitas suatu antena. Gain antena dapat dihitung dengan menggunakan antena lain sebagai antena yang standar dan memiliki gain yang standar. Gain antena diukur dengan membandingkan daya yang diterima antara antena standar dan daya antena yang akan diukur dari antena pemancar yang sama dan dengan daya yang sama. Pengukuran gain dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Purnama, 2017) :

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \quad (4)$$

Pada satuan desibel dapat dituliskan menjadi (Perangin-angin, 2021) :

$$G_t(\text{dB}) = P_t(\text{dBm}) - P_s(\text{dBm}) + G_s(\text{dB}) \quad (5)$$

Dimana :

G_t = Gain Antena

P_t = Daya antena yang diukur

P_s = Daya yang diterima antena standar

G_s = Gain standar

5. Pola Radiasi

Pola radiasi (*radiation pattern*) adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat dipentingkan adalah persebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antena. Contoh gambaran dari pola radiasi antena secara tiga dimensi dan dua dimensi (Balanis, 2005).

2.3 *Medical Implantable Communication System (MICS)*

Menurut *Electronic Communications Committee* (ECC) pada standar EN 301 839 (freq) serta IEEE 802.15.6-2012 mendistribusikan pita frekuensi eksklusif ke sensor implan atau yang dapat dikenakan. Pita MICS, yang bekerja antara 402 hingga 405 MHz, diatur untuk aplikasi biomedis dalam tubuh. Kelemahan utamanya adalah bandwidth-nya tidak mencukupi untuk komunikasi data rate tinggi (Rahaman,2019).

2.4 Teknik Miniaturisasi

Pada penelitian ini, diharapkan dapat menghasilkan dimensi antenna yang kecil yang bekerja pada frekuensi kecil yaitu 403 MHz. Oleh karena itu, dilakukan teknik miniaturisasi antenna yang membuat antenna semakin kecil. Teknik miniaturisasi yang dilakukan dalam literatur untuk antenna tambalan implan termasuk penggunaan bahan dengan konstanta dielektrik tinggi (substrat). Teknik miniaturisasi diaplikasikan dengan merancang desain *patch* antenna pada bentuk berliku-liku (Kiourti, 2011), spiral (Kiourti, 2011), *waffle-type* (Soontornpipit,2005), dan *slot hook* (Liu 2008). Pada penelitian ini, *patch* spiral merupakan aplikasi teknik miniaturisasi yang dilakukan.

2.5 *Human Tissues Model* atau *phantom*

Pemodelan jaringan tubuh manusia menggunakan bentuk bola menurut referensi penelitian dan memudahkan dalam analisis. *Phantom* yang digunakan adalah *skin, fat, dan muscle*.

2.6 Standarisasi ITU

Untuk antenna dengan pita frekuensi MICS menggunakan Standar Regulasi *International Telecommunication Union* (ITU) dalam Tupin (2014) dan Yaser (2019) sebagai acuan nilai parameter yang digunakan pada

penelitian ini. Adapun nilai-nilai parameter antenna implan pada pita frekuensi MICS dapat dilihat pada Tabel 1.

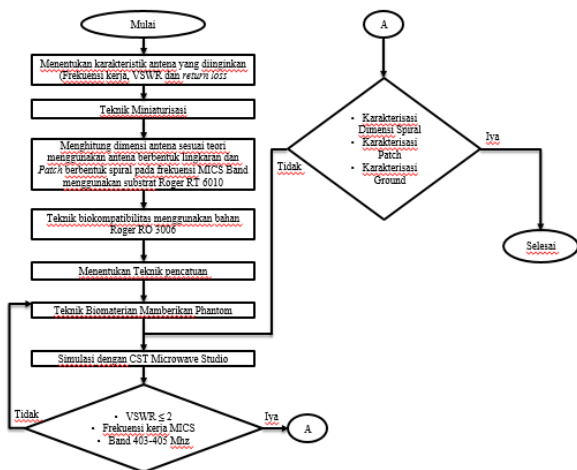
Tabel 1. Parameter antenna

Parameter Antena	Nilai Parameter Antena
Frekuensi Kerja	402-405 MHz
<i>Return Loss</i>	-15 dB hingga -30 dB
<i>Gain</i> dan <i>directivity</i>	5 dBm dan -31,5 dBi
VSWR	≤ 2
<i>Bandwidth</i>	0,3 MHz

III. METODE PENELITIAN

Dalam Penelitian ini akan dirancang antenna implan untuk aplikasi biomedis untuk aplikasi biomedis yang bekerja pada frekuensi MICS band (402-405 MHz). Antena implan dirancang menggunakan teknik miniaturisasi dan biomaterial. Dengan menggunakan teknik miniaturisasi, *patch* antenna didesain berbentuk spiral dengan tujuan untuk menghasilkan dimensi antenna yang kecil dan bekerja pada frekuensi rendah. Antena implan akan disimulasikan menggunakan *phantom* sebagai bentuk teknik biomaterial. Bahan substrat yang digunakan adalah Roger RT duroid 6010 dengan konstanta dielektrik 10,2 dengan ketebalan substrat 0,635 mm, Roger RO3006 dengan konstanta dielektrik 6,4 digunakan sebagai bahan superstrat. Perancangan antenna implan dilakukan dengan cara mensimulasikan menggunakan software CST *Studio Suite*. Simulasi antenna implan menggunakan *phantom* pada frekuensi MICS band.

Dalam merancang antenna implan diperlukan tahapan-tahapan yang sistematis untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 1 merupakan gambar diagram alir dari perancangan antenna implan.



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari perancangan dan simulasi antenna implan. Perancangan dimulai dengan menentukan karakteristik antenna dan dilanjutkan dengan penentuan jenis substrat yang akan digunakan. Pada penelitian ini jenis substrat yang digunakan adalah Roger RT Duroid 6010 dan menggunakan superstrat Roger RO3006. Desain dan simulasi antenna ini menggunakan teknik miniaturisasi dan biomaterial. Simulasi antenna menggunakan *software* CST Studio Suite. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka simulasi dilakukan dalam beberapa tahapan karakterisasi, yaitu karakterisasi spiral pada *patch*, karakterisasi *patch*, dan karakterisasi *Ground*.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

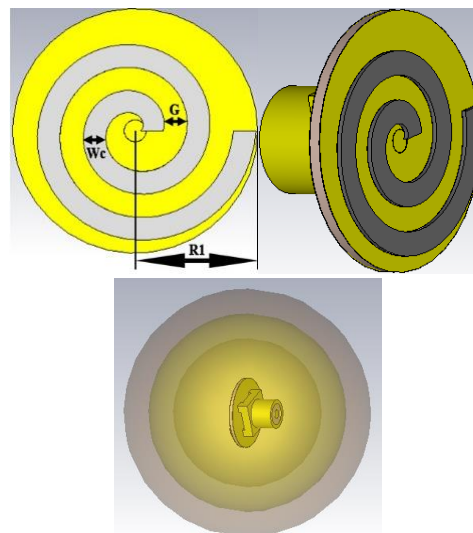
Optimasi antenna dilakukan untuk mendapatkan antenna implan yang diinginkan sesuai standarisasi ITU. Optimasi antenna dilakukan dengan mengubah dimensi antenna yang diuraikan berikut ini.

1. Dimensi Awal

Dimensi awal antenna didapat setelah melakukan perhitungan dimensi secara teori. Parameter dimensi awal antenna dapat dilihat pada Tabel 2 dan desain awal antenna dapat di lihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Parameter dimensi antenna

Parameter	Dimensi (mm)
R (Jari-Jari)	6,74
h1 (substrat)	0,635
h2 (superstrat)	0,25
Wc (Lebar Spiral)	1,3
G (Lebar antarspiral)	1,35
N (Jumlah Spiral)	2

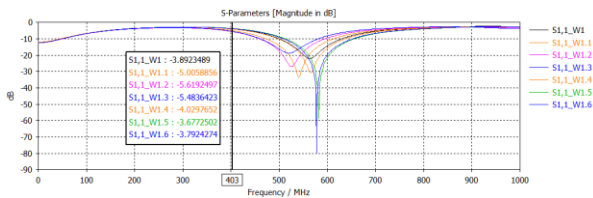


Gambar 2. Geometri awal antenna

Hasil simulasi antenna pada dimensi awal yaitu pada nilai *return loss* didapat yakni sebesar -2,0468 dB di frekuensi 403 MHz serta VSWR yang didapat sebesar 8,533 di frekuensi 403 MHz. Setelah dilakukan simulasi, parameter-parameter antenna tidak mencapai standarisasi ITU sehingga harus dilakukan optimasi antenna implan.

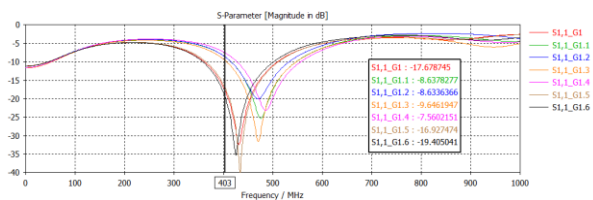
2. Optimasi

Optimasi pertama yang dilakukan adalah karakterisasi lebar spiral (W_c) merupakan proses mengubah dimensi lebar spiral W_c yang mana dimensi lebar antarspiral G konstan yaitu 1,35 mm. Hasil simulasi S_{11} dapat dilihat pada Gambar 3.



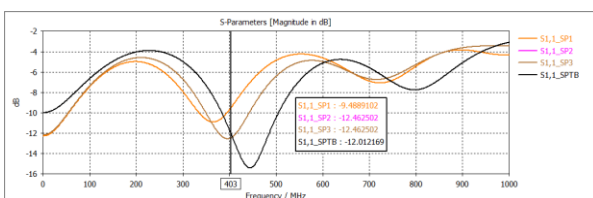
Gambar 3. Hasil Simulasi S11 karakterisasi lebar spiral (W_c)

Optimasi kedua yaitu karakterisasi lebar antarspiral (G) merupakan proses mengubah dimensi lebar antarspiral G yang mana dimensi lebar antarspiral W_c konstan yaitu 1,3 mm. Tujuan karakterisasi ini adalah untuk mencari nilai pendekatan frekuensi yang diinginkan. Hasil simulasi S11 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Simulasi S11 karakterisasi lebar antarspiral (G)

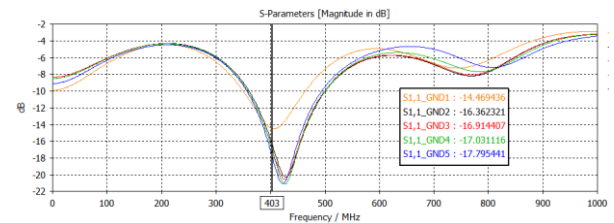
Optimasi ketiga yaitu karakterisasi *patch* yang merupakan proses pemberian slot pada spiral dengan dimensi lebar antarspiral G adalah 1 mm dan dimensi lebar antarspiral W_c adalah 1,3 mm. Tujuan karakterisasi *patch* adalah untuk mencari nilai pendekatan frekuensi yang diinginkan. Hasil simulasi S11 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi S11 karakterisasi *patch*

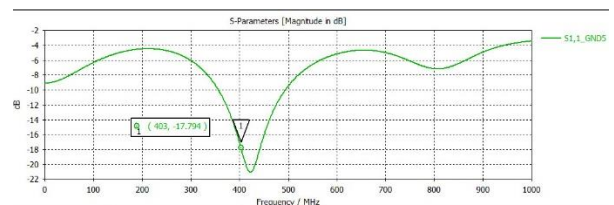
Optimasi terakhir adalah dengan melakukan karakterisasi pada *ground*. Karakterisasi *ground* merupakan proses pemberian slot pada *Ground* atau dapat disebut

sebagai *Defected Ground Structure* yaitu merusak *Ground*. Karakterisasi dilakukan dengan melanjutkan nilai karakterisasi *patch*. Tujuan karakterisasi ini adalah untuk memperkecil *return loss*. Hasil simulasi S11 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Simulasi S11 karakterisasi *ground*

Setelah dilakukan pengoptimasian dengan melakukan beberapa kali karakterisasi, maka didapat hasil desain akhir antenna implan. Dimensi akhir ini merupakan hasil simulasi yang diinginkan sesuai standarisasi ITU. Standarisasi ITU yang digunakan pada frekuensi MICS band (402-405 MHz) adalah rentang *return loss*, *gain*, *VSWR*, dan *bandwidth*. Menurut standarisasi ITU untuk bidang biomedis pada frekuensi MICS band, *return loss* yang harus di capai adalah rentan -15 dB hingga -30 dB. Untuk simulasi pada penelitian ini, *return loss* yang dicapai adalah -17,794, ini telah masuk pada standarisasi ITU. Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi *return loss* menggunakan *phantom*.

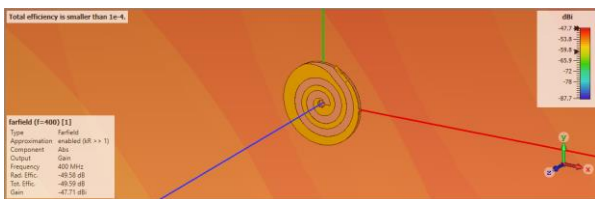


Gambar 7. Hasil Simulasi S11

Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas sudah diketahui. Nilai *bandwidth* antenna menurut standarisasi ITU untuk bidang biomedis pada frekuensi MICS band adalah

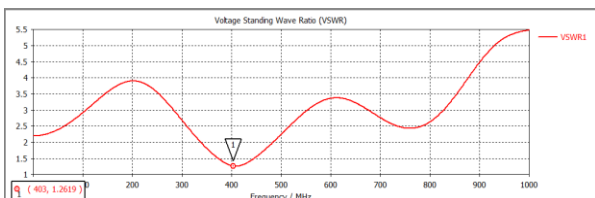
diatas 0,3 MHz. Untuk simulasi pada penelitian ini, *bandwidth* yang dicapai adalah 136,95 MHz, ini telah masuk pada standarisasi ITU.

Nilai *gain* antenna menurut standarisasi ITU untuk bidang biomedis pada frekuensi MICS *band* adalah sebesar 5 dBi dan *directivity* sebesar -31,5 dBi. Untuk simulasi pada penelitian ini, *gain directivity* yang dicapai adalah -47,71 dBi, ini telah masuk pada standarisasi ITU. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi *gain* menggunakan *phantom*.



Gambar 8. Simulasi *gain* antenna

VSWR antenna menurut standarisasi ITU untuk bidang biomedis pada frekuensi MICS band adalah dibawah 2. Untuk simulasi pada penelitian ini, VSWR yang dicapai adalah 1,2619, ini telah masuk pada standarisasi ITU. Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi *gain* menggunakan *phantom*.



Gambar 9. Simulasi VSWR

Perbandingan hasil simulasi antenna implan menggunakan *phantom* dengan Standar Regulasi *International Telecommunication Union* (ITU) pada pita frekuensi MICS diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan parameter ITU terhadap simulasi antenna implan

Parameter	Nilai Standar ITU	Nilai Simulasi Akhir
Frekuensi Kerja	402-405 MHz	403 MHz
Return Loss	-15 dB hingga -30 dB	-17,795441 dB
Gain	5 dBi dan >-31,5 dBm	47,71 dBi
VSWR	≤ 2	1,2619
Bandwidth	0,3 MHz	136,95 MHz

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa simulasi akhir telah mencapai standarisasi ITU yang diinginkan pada aplikasi biomedis. Ini menunjukkan keberhasilan penggunaan teknik miniaturisasi yang diterapkan pada aplikasi medis.

Perbandingan dari penelitian terdahulu secara singkat dapat dilihat pada Tabel 7 untuk teknik miniaturisasi yang dipakai pada penelitian ini.

Tabel 7. Perbandingan pada penelitian terdahulu

Referensi	Frekuensi (MHz)	Bentuk patch	Dimensi (mm ³)
Kim (2004)	402-405	Spiral	10,240
Soontornpit (2005)	402-405	Waffle	6,480
Yaser (2019)	402-405	Spiral	5,120
Soontornpit (2004)	402-405	Spiral	3,457.4
Karacolak (2008)	402-405 2400-2480	Meandered	1,265.6
Huang (2011)	402-405	Spiral	823,0
Lee (2009)	402-405	Meandered	790,9
Wang (2020)	402-405 902-928	Meandered	287,3
Penelitian ini	402-405	Spiral	164,3

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Antena implan pada aplikasi biomedis ini dirancang pada pita frekuensi MICS (*Medical Implan Communication Service*) *band* dibuat dengan teknik miniaturisasi yang berguna pada dimensi antena yang kecil namun tetap mempertahankan frekuensi yang rendah.
2. Simulasi antena implan dilakukan dengan menggunakan *phantom*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena telah bekerja sesuai standar regulasi *International Telecommunication Union* ITU.
3. Dari hasil simulasi didapat spesifikasi antena sebagai berikut: ukuran fisik antena sebesar 164,3 mm³ yang merupakan lebih baik dari penelitian sebelumnya dengan frekuensi kerja 403 MHz pada *return loss* -17,795441 dB yang sesuai dengan standar frekuensi MICS sebesar 402-405 MHz. Antena memiliki VSWR sebesar 1,2619, yang sudah memenuhi standar $VSWR \leq 2$ atau dianggap baik pada antena spiral; *bandwidth* sebesar 136,95 MHz yang telah memenuhi standar 0,3 MHz.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan karakterisasi antena mikrostrip yang lebih optimal dengan menggunakan teknik miniaturisasi, sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi seperti penggunaan desain *patch* yang berbeda. Diharapkan penelitian lebih lanjut untuk dapat mengintegrasikan antena dengan alat pacu jantung tanpa kabel masa kini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Alam, S., & Prasojo, A. K. (2017). Desain Antena Mikrostrip GPS Berbentuk Lingkaran (Circular). *Jurnal Kajian*

Teknik Elektro, 2(1), 67-70.

- Alodokter. (2018, April). Mengenal Alat Pacu Jantung dan Cara Kerjanya. Diakses 16 Januari 2020, <<https://www.alodokter.com/mengenal-alat-pacu-jantung-dan-cara-kerjanya>>
- Balanis, C. A., & Holzman, E. (2005). Circular waveguides. *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*.
- Indonesian Heart Association Perhimpunan Dokter Spesialis Kardiovaskular Indonesia (PERKI) 2019. Hari Jantung Sedunia (World Heart Day): Your Heart is Our Heart Too.. Diakses pada 24 November 2020. <http://www.inaheart.org/news_and_events/news/2019/9/26/press_release_world_heart_day_perki_201%209>
- Liu, W. C., Chen, S. H., & Wu, C. M. (2008). Implantable broadband circular stacked PIFA antenna for biotelemetry communication. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 22(13), 1791-1800
- Purnama, A. (2017). Perancangan Prototype Antena Radial Line Slot Array (Rlsa) 5,8 Ghz dual Beam Berlawanan Arah (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).
- Rahaman, M. A., & Hossain, Q. D. (2019, January). "Design and Overall Performance Analysis of an Open End Slot Feed Miniature Microstrip Antenna for On-body Biomedical Applications". In 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST) (pp. 200-204). IEEE.
- Soontornpipit, P., Furse, C. M., & Chung, Y. C. (2005). Miniaturized biocompatible microstrip antenna using genetic algorithm. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(6), 1939-1945.
- Tupin, J. P. (2014). UWB radar in health monitoring products. In *ITU Workshop on Short Range Devices and Ultra Wide Band*.
- Usman, Yuslely, et al (2019). Indonesia's sample registration system in 2018 : a

work in progress. *Journal of Population and Social Studies [JPSS]* 27.1 (2019): 39-52.

Volakis, J. L. (2007). *Antenna engineering handbook*. McGraw-Hill Education.

Wang, M., Liu, H., Zhang, P., Zhang, X., Yang, H., Zhou, G., & Li, L. (2020). Broadband implantable antenna for wireless power transfer in cardiac pacemaker applications. *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*

World Health Organization (WHO) 2018. The top 10 causes of death. Diakses pada 24 November 2020, <
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>

Yang, Z. J., Zhu, L., & Xiao, S. Q. (2018, May). An Implantable Circularly Polarized *Patch* Antenna for Pacemaker Monitoring System. In 2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT) (pp. 1-3). IEEE.

Yaser, M., & Priyanto, U. (2019). Antena Medical Implantable Communication System Menggunakan HFSS 13.0. *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 17(1), 15-29