

Perancangan dan Simulasi Antena Fleksibel Menggunakan Substrat *Polydimethylsiloxane* untuk Aplikasi Pendeteksi Tumor Payudara

Muhammad Fadhlurrahman Hilmi¹⁾, Yusnita Rahayu²⁾, Yuyu Wahyu³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro, ³⁾Kalitbang 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 : m.fadhlurrahman2282@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Microwave imaging system is one of the technologies that can be used to detect objects, especially in the field of medical diagnoses, such as detecting tumors in the breast. The technology used is ultra-wideband (UWB) with the advantages of low cost, low power consumption, and high transmission capacity. In this study, a flexible antenna was designed at a frequency of 5.8 GHz using a polydimethylsiloxane (PDMS) substrate with a dielectric constant of 2.67 – 3.00 and a loss tangent of 0.02-0.05 for breast tumor detection applications. The antenna design process uses the CST studio suite software. The simulation results of a flexible antenna at an operating frequency of 5.8 GHz with a return loss parameter of -39.19 dB, a VSWR of 1.22, a bandwidth of 3.1 GHz in a frequency range of 4.52–7.62 GHz, the resulting radiation pattern is almost omnidirectional, and a gain of 2.26 dBi. In addition, the gain of flexible antenna with phantom breast without tumor is -23.62 dB and phantom breast with tumor is -24.85 dB at operating frequency of 5.5 GHz, which is shifted by 300 MHz from the desired frequency.

Keywords: microwave, ultra-wideband (UWB), flexible antenna, polydimethylsiloxane (PDMS)

I. PENDAHULUAN

Kanker payudara adalah tumor ganas yang dibentuk oleh sel payudara yang pertumbuhan dan perkembangannya tidak terkontrol dan dapat menyebar antar jaringan atau organ di dekat payudara atau bagian tubuh lainnya (Kemenkes, 2016). Kanker payudara merupakan kanker yang menakutkan bagi wanita di seluruh dunia, bahkan di Indonesia. Satu dari lima pria dan satu dari enam wanita di seluruh dunia menderita kanker dalam hidup mereka, dan satu dari delapan pria dan satu dari sebelas wanita meninggal akibat kanker (Bray,

2018). Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan preventif untuk menurunkan angka kematian akibat kanker dengan memahami gejala awal kanker sedini mungkin.

Sistem pencitraan gelombang mikro merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi objek khususnya dalam bidang diagnosa medis, teknologi yang digunakan adalah ultra wideband (UWB) (Alsharif, 2018). Munculnya UWB telah menjadi standar IEEE 802.15.3a, yang bertujuan untuk memberikan spesifikasi teknis

dengan biaya rendah, konsumsi daya rendah dan kapasitas transmisi tinggi (Aiello, 2003).

Dalam realisasi sistem pencitraan gelombang mikro, diperlukan sistem yang terintegrasi untuk mentransmisikan sinyal. Salah satu komponen yang digunakan adalah antena. Perkembangan terakhir antena saat ini adalah antena mikrostrip fleksibel yang dapat diaplikasikan pada tubuh manusia (Sulaiman, 2015). Antena mikrostrip fleksibel ini dapat melakukan deformasi seperti *bending*, *stretching*, dan *twisting*. Antena ini dapat beradaptasi dengan bentuk objek yang kompleks seperti tubuh manusia (Mazlouman, 2013).

Pada penelitian ini akan digunakan substrat polydimethylsiloxane (PDMS) untuk merancang dan mensimulasikan antena fleksibel pada frekuensi operasi 5,8 GHz. Parameter antena yang dianalisis berupa *return loss*, VSWR, pola radiasi dan *gain*, serta simulasi antena fleksibel dengan phantom payudara. Hasil simulasi antena akan menentukan kelayakan antena dalam aplikasi pendeteksi tumor payudara.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip

Antena *patch* mikrostrip merupakan antena yang ringan, mudah dibuat, dapat diletakkan di hampir semua jenis permukaan, dan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan antena jenis lainnya. Karena karakteristiknya, antena *patch* mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini, sehingga dapat diintegrasikan dengan perangkat telekomunikasi. Namun antena mikrostrip *patch* juga memiliki beberapa kelemahan yaitu *bandwidth* yang sempit, *gain* yang rendah, dan efisiensi yang rendah (Lee & Tong, 2012). Secara umum antena mikrostrip terdiri dari tiga bagian yaitu *patch*, substrat dan *ground plane* (Balanis, 2005).

Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena mikrostrip dengan dimensi antena berbentuk persegi panjang dengan menggunakan persamaan berikut (Rahayu, 2020):

Menentukan lebar *patch* (W):

$$W = \frac{c}{2 \times f_o \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

Untuk menghitung panjang *patch*, maka perlu mengetahui nilai dielektrik konstan efektif (ϵ_{eff}) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W}\right)}}$$

Selanjutnya menghitung pertambahan panjang ΔL dan panjang *patch* efektif L_{eff} :

$$\Delta L = 0.824 \times \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_o \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

Menentukan panjang *patch* (L):

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

2.2 Teknik Pencatuan Antena

Teknik pencatuan yang digunakan pada antena mikrostrip merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi desain antena mikrostrip. Teknik pencatuan pada antena mikrostrip digunakan untuk mentransmisikan energi gelombang elektromagnetik ke antena mikrostrip. Ada beberapa teknik pencatuan antena mikrostrip, yaitu *microstrip line*, *coaxial probe*, *electromagnetic coupled* (EMC) dan *coplanar waveguide*. Masing-masing teknik pencatuan memiliki kelebihan dan kekurangan (Istiqomah, 2012). Pada penelitian ini akan menggunakan teknik pencatuan *Coplanar Waveguide* (CPW), dimana konduktor *patch* dan *ground* berada pada satu sisi yang sama. Selain itu dapat mempermudah proses fabrikasi antena tersebut

yang dilakukan secara manual dengan menggunakan teknik *molding*.

2.3 Teknologi Ultra-Wideband (UWB)

Istilah UWB pertama kali diperkenalkan oleh Departemen Pertahanan AS sekitar tahun 1989 dan umumnya mengacu pada sinyal dengan *bandwidth* yang relatif lebar. Penggunaan *bandwidth* yang lebar dalam transmisi sinyal memiliki beberapa keunggulan, seperti jangkauan yang akurat, ketahanan terhadap *fading* propagasi, dan kemampuan untuk mengurangi interferensi. Istilah UWB relatif umum, dan mencakup berbagai aplikasi di berbagai bidang, seperti komunikasi data, penentuan posisi dan pelacakan, sensor pencitraan, pengenalan objek, radar jarak pendek, dll (A. Wilzeck, M.D. Peres Guirao, n.d.).

Perbedaan antara teknologi UWB dan teknologi transmisi nirkabel *narrowband* konvensional adalah bahwa UWB menyebarkan sinyal dalam rentang frekuensi yang sangat luas, di mana gelombang radio sinusoidal digantikan oleh pulsa dalam ratusan juta pulsa per detik. Kemampuan pulsa untuk menembus dinding, pintu, dan benda-benda lain dalam suatu ruangan. (M. Ghavami, L.B. Michael, 2004).

Teknologi UWB diprakarsai oleh Federal communications commission (FCC) yang menerbitkan regulasi radio pertama di dunia pada tahun 2002. FCC mendefinisikan UWB memiliki *bandwidth* fraksional $\geq 0,2$ atau memiliki *bandwidth* ≥ 500 MHz dan bekerja pada rentang frekuensi 3,1 – 10,6 GHz (Ghavami, Michael, & Kohno, 2004).

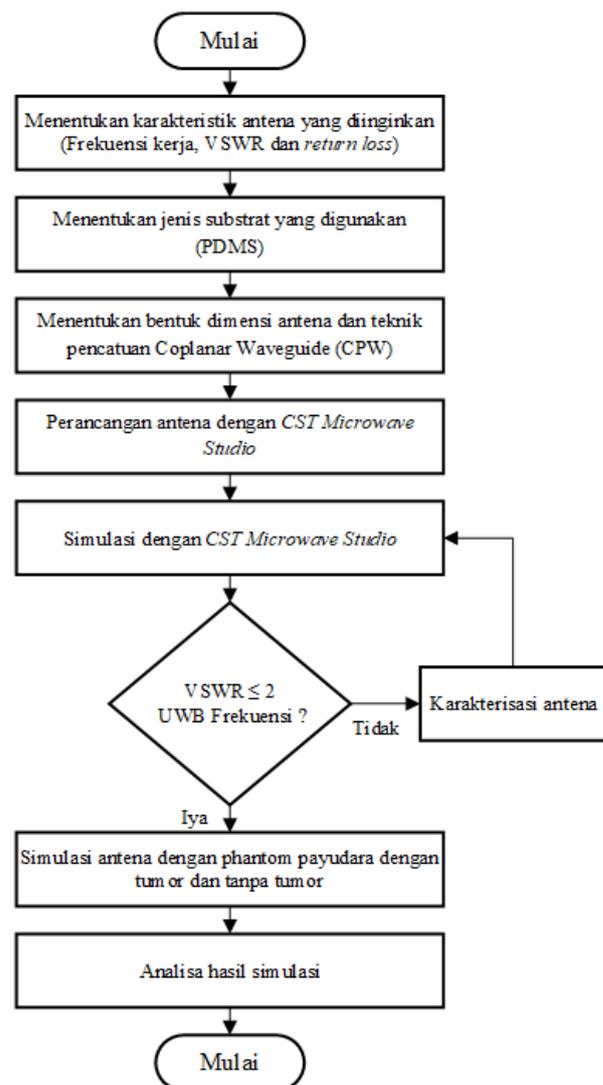
III. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan antenna fleksibel untuk aplikasi pendeteksi tumor payudara yang bekerja pada frekuensi operasi 5,8 GHz. Antena dirancang

dengan menggunakan substrat *polydimethylsiloxane* (PDMS) dengan konstanta dielektrik 2,67 – 3,00 dan *loss tangen* 0,02 – 0,05. Sedangkan konduktor *patch* antenna menggunakan bahan *silver nanowire* (AgNW) dengan konduktivitas listrik 6.3×10^7 S/m.

Dalam perancangan antenna mikrostrip fleksibel tersebut, diperlukan tahapan-tahapan yang sistematis untuk membantu dalam proses perancangan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari proses perancangan dan simulasi antenna fleksibel. Perancangan dimulai dengan menentukan karakteristik antenna yang

diinginkan dan dilanjutkan dengan penentuan jenis substrat yang akan digunakan. Selanjutnya menentukan bentuk dimensi antenna serta teknik pencatutan dan dilanjutkan dengan simulasi menggunakan CST *studio suite*. Hasil simulasi antenna tidak selalu sesuai dengan karakteristik antenna yang diinginkan, untuk itu perlu melakukan tahapan karakterisasi pada antenna agar mendapatkan parameter hasil sesuai dengan karakteristik antenna yang diinginkan. Karakterisasi antenna dilakukan pada bagian *patch* antenna meliputi dimensi lebar dan panjang *patch*, serta penambahan *slot* pada antenna.

3.2 Simulasi Antena dengan Phantom Payudara

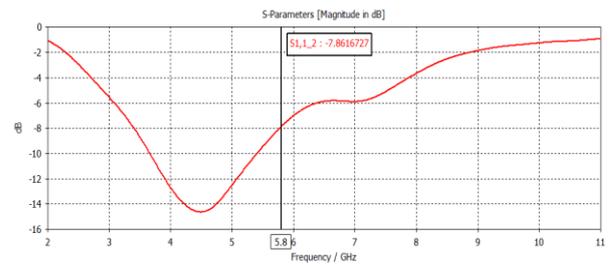
Simulasi antenna fleksibel dengan *phantom* payudara bertujuan untuk mengetahui hasil uji terhadap *phantom* payudara yang terdapat tumor dan tanpa tumor. Hasil simulasi akan dianalisa untuk melihat perubahan nilai parameter S_{11} pada antenna yang diuji terhadap *phantom* payudara tersebut. Adapun *dielectric properties* dari *phantom* payudara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Dielectric properties phantom payudara* ((Dewiani, 2016)

	ϵ_r	μ_r	σ (S/m)	Massa jenis (Kg/m ³)
Kulit	36.587	1	2.3404	1109
Lemak	4.8393	1	0.2622	911
Tumor	67	1	49	84

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan teoritis, nilai *return loss* dari hasil desain antenna awal tidak sesuai dengan karakteristik antenna yang diinginkan, seperti terlihat pada Gambar 2.

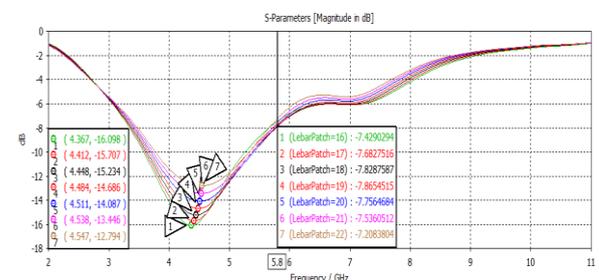


Gambar 2. *Return loss* rancangan awal antenna

Gambar 2 menunjukkan *return loss* dari desain antenna berdasarkan perhitungan teoritis. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terjadi pergeseran frekuensi kerja antenna, dimana berdasarkan perhitungan teori antenna dirancang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz. Nilai *return loss* yang didapat pada frekuensi yang diinginkan adalah -7,86 dB. Sementara syarat agar antenna dapat beroperasi dengan baik pada frekuensi yang diinginkan adalah ≤ -10 dB. Hal ini tentu jauh dari yang diharapkan. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi antenna agar diperoleh nilai *return loss* yang baik pada frekuensi yang diinginkan.

4.1 Hasil Karakterisasi Lebar Patch

Karakterisasi lebar *patch* diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih baik dari yang diperoleh berdasarkan perhitungan teori. Karakterisasi lebar *patch* dilakukan tanpa merubah ukuran dimensi lainnya. Hasil simulasi karakterisasi pada lebar *patch* ditunjukkan pada Gambar 3.



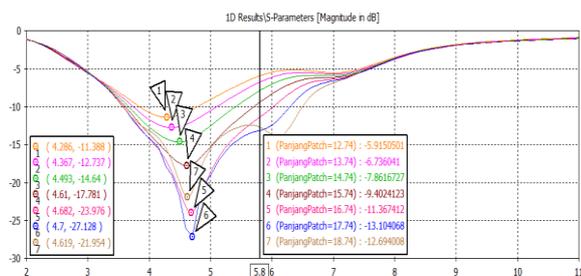
Gambar 3. *Return loss* karakterisasi lebar *patch*

Gambar 3 menunjukkan grafik hasil karakterisasi lebar *patch* antenna fleksibel.

Variasi lebar *patch* yang dibuat dimulai dari 16 mm sampai 22 mm dengan selisih 1 mm setiap perubahan dan tidak mengubah ukuran dimensi antenna yang lain. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada frekuensi operasi yang diinginkan yaitu 5,8 GHz, nilai *return loss* optimal yang diperoleh sebesar -7,86 dB berada pada lebar *patch* 19 mm. Sehingga pada tahap karakterisasi ini diambil ukuran lebar *patch* antenna sebesar 19 mm. Namun hasil simulasi pada karakterisasi kali ini belum berhasil mendapatkan parameter yang ingin dicapai. Dari hasil karakterisasi ini menunjukkan bahwa karakterisasi lebar *patch* mempengaruhi nilai *return loss* dari antenna. Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi berikutnya yaitu pada panjang *patch* antenna untuk mendapatkan parameter yang diinginkan dari antenna tersebut.

4.2 Hasil Karakterisasi Panjang Patch

Karakterisasi pada panjang *patch* antenna dilakukan untuk melengkapi kekurangan pada hasil karakterisasi lebar *patch* antenna. Hasil simulasi karakterisasi pada panjang *patch* ditunjukkan pada Gambar 4.



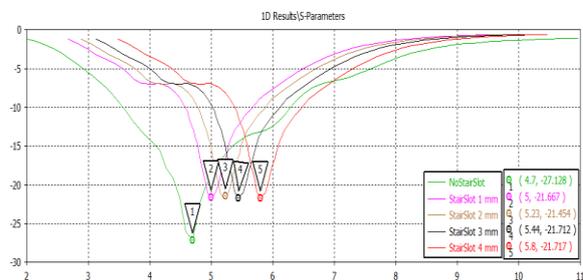
Gambar 4. Return loss karakterisasi panjang *patch*

Gambar 4 menunjukkan grafik yang dihasilkan dari karakterisasi panjang *patch* antenna fleksibel. Panjang *patch* diubah dengan variasi nilai 12,74 mm sampai 18,74 mm, dan setiap perubahan memiliki selisih 1 mm, dan tidak mengubah ukuran dimensi antenna yang lain. Panjang awal *patch* antenna adalah 14,74 mm. Karakterisasi dilakukan dengan cara memperkecil dan menambah panjang *patch*

antenna dari ukuran awal yang diperoleh berdasarkan perhitungan teoritis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *return loss* terbaik pada frekuensi operasi 5,8 GHz adalah -13,1 dB. Oleh karena itu, pada tahap karakterisasi ini diambil panjang antenna *patch* sebesar 17,74 mm. Namun, karakterisasi masih diperlukan untuk mendapatkan nilai *return loss* yang lebih baik, yaitu jauh di bawah ambang batas -10 dB. Untuk melengkapi karakterisasi selanjutnya dengan menambahkan slot pada antenna.

4.3 Hasil Karakterisasi Patch Penambahan Slot

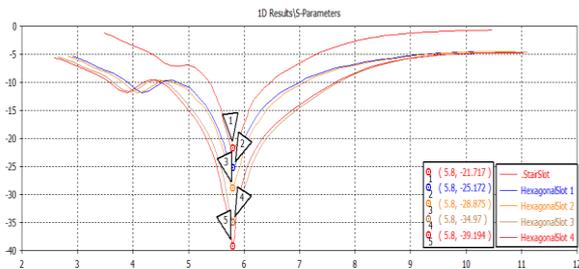
Karakterisasi penambahan *slot* pada antenna dilakukan dengan menambahkan *slot* tangga (*stair*) dan *slot* segienam (*hexagonal*). Karakterisasi yang pertama dilakukan adalah dengan memberikan *slot* tangga (*stair*) pada *patch* disamping kiri dan kanan saluran pencatu.



Gambar 5. Return loss karakterisasi penambahan *stair slot*

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi penambahan *stair slot* di kanan bawah dan kiri bawah *patch* antenna. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa karakterisasi *stair slot* pada antenna digunakan untuk menggeser frekuensi ke frekuensi operasi yang diinginkan. Perubahan dimensi *slot* dilakukan pada lebar *slot* dimulai dari 1 mm sampai 4 mm, sedangkan tingginya tetap sebesar 1 mm. Hasil simulasi menunjukkan nilai *return loss* sebesar -21,717 dB pada frekuensi operasi 5,8 GHz. Hasil tersebut sudah sesuai dengan

frekuensi operasi yang diinginkan, namun masih diperlukan penambahan slot untuk mendapatkan nilai *return loss* yang lebih baik dan *bandwidth* yang lebih lebar. *Slot* selanjutnya yang ditambahkan adalah *slot* dengan bentuk heksagonal. Hasil simulasi penambahan slot heksagonal ditunjukkan pada Gambar 6.

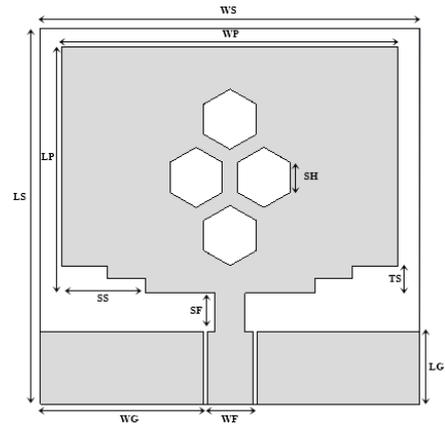


Gambar 6. *Return loss* karakterisasi penambahan *hexagonal slot*

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi penambahan slot heksagonal pada *patch* antenna. Penambahan *slot* heksagonal pada antenna dimulai dari 1 *slot* dilanjutkan hingga 4 *slot* heksagonal, sedangkan panjang sisi *slot* heksagonal bernilai tetap yaitu sebesar 1 mm. Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa pada frekuensi operasi 5,8 GHz, nilai *return loss* terbaik yang dihasilkan dengan menambahkan empat *slot* heksagonal adalah -39,194 dB dan *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 3.1 GHz. Dengan demikian, hasil simulasi proses karakterisasi *stair slot* dan *hexagonal slot* berpengaruh terhadap perubahan frekuensi operasi, *return loss* dan *bandwidth* antenna.

4.4 Hasil Simulasi Antena Fleksibel

Setelah melakukan karakterisasi antenna yang meliputi karakterisasi lebar *patch*, panjang *patch*, dan penambahan *slot*, maka diperoleh hasil rancangan akhir antenna, seperti terlihat pada Gambar 7.



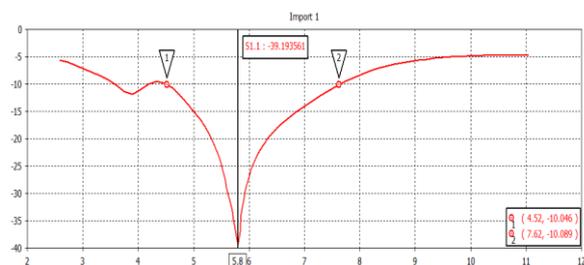
Gambar 7. Rancangan antenna mikrostrip fleksibel

Sedangkan dimensi antenna tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi rancangan antenna fleksibel

Parameter	Dimensi (mm)
Lebar substrat (WS)	25
Panjang substrat (LS)	25
Lebar <i>patch</i> (WP)	22,17
Panjang <i>patch</i> (LP)	15,38
Lebar pencatu (WF)	3
Panjang <i>slot</i> pencatu (SF)	2,585
Lebar ground (WG)	10,74
Panjang ground (LG)	4,8
Lebar <i>stair slot</i> (SS)	4
Tinggi <i>stair slot</i> (TS)	2
Panjang sisi <i>hexagonal</i> (SH)	1

Hasil simulasi pada rancangan akhir antenna fleksibel berupa parameter antenna seperti *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain*, yang akan dibahas berikut ini.

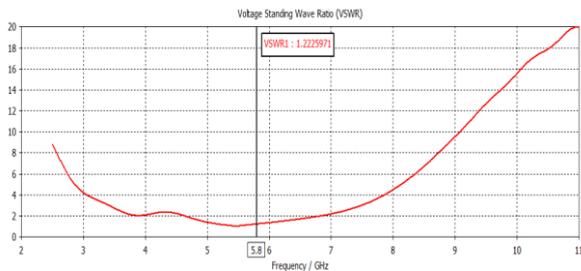


Gambar 8. *Return loss* hasil simulasi antenna fleksibel

Gambar 8 menunjukkan nilai *return loss* hasil simulasi desain akhir antenna, dimana *return loss* pada frekuensi 5,8 GHz adalah -39,19 dB, dan bandwidth yang dihasilkan pada rentang frekuensi 4,52-7,62 GHz adalah:

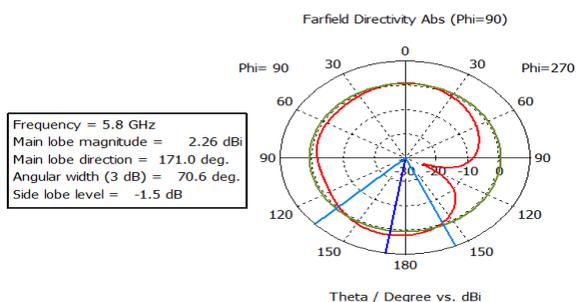
$$\begin{aligned} \text{Bandwidth} &= 7,62 - 4,52 = 3,1 \text{ GHz} \\ \text{Impedansi Bandwidth} &= \\ &= \frac{7,62 - 4,52}{5,8} \times 100 \% \\ \text{Bandwidth} &= 53,45 \% (3,1 \text{ GHz}) \end{aligned}$$

Nilai *bandwidth* pada simulasi perancangan antenna fleksibel sebesar 3,1 GHz dengan impedansi *bandwidth* sebesar 53,45 %. Hal ini menunjukkan bahwa perancangan antenna fleksibel telah memenuhi standar antenna *ultra-wideband* dengan spesifikasi *bandwidth* ≥ 500 MHz. Sedangkan hasil VSWR dari simulasi antenna ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. VSWR hasil simulasi antenna fleksibel

Gambar 9 menunjukkan nilai VSWR antenna pada frekuensi 5,8 GHz sebesar 1,22. Sedangkan *farfield directivity* antenna ditunjukkan pada Gambar 10.

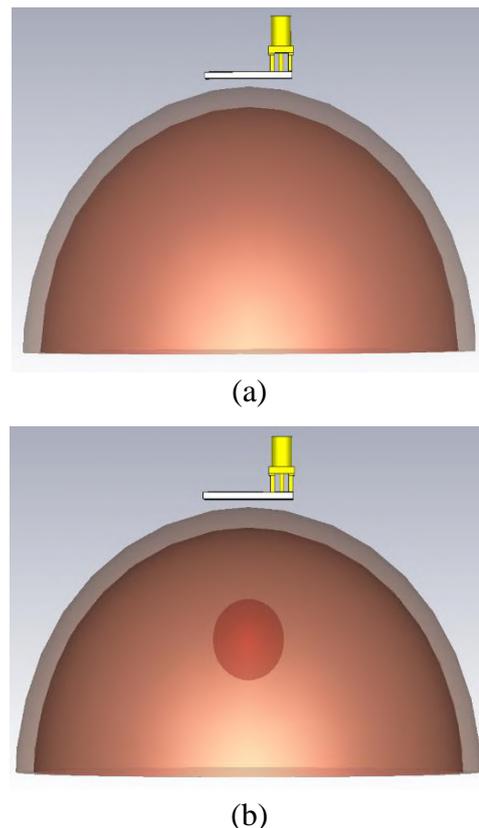


Gambar 10. Pola radiasi hasil simulasi antenna fleksibel

Gambar 10 menunjukkan *Farfield directivity* antenna. Gambar tersebut menggambarkan bentuk pola radiasi antenna yang hampir *omnidirectional*, dan *gain* antenna sebesar 2,26 dBi.

4.5 Hasil Simulasi Antena Fleksibel dengan Phantom Payudara

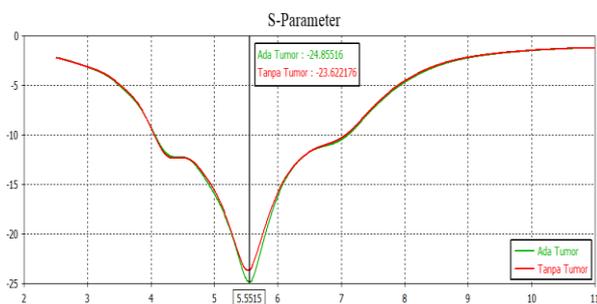
Hasil simulasi antenna fleksibel elemen tunggal telah mendapatkan nilai parameter hasil sesuai karakteristik antenna yang diinginkan. Selanjutnya antenna disimulasikan dengan menggunakan *phantom* payudara untuk mengetahui perubahan frekuensi dan *return loss* pada antenna. Gambar 11 menunjukkan posisi antenna yang disimulasikan dengan *phantom* menggunakan *software* CST studio.



Gambar 11. Posisi antenna dan *phantom* payudara (a) tanpa tumor (b) dengan tumor

Berdasarkan Gambar 11 tersebut, antenna ditempatkan pada posisi tengah *phantom* payudara dan disimulasikan dengan

phantom yang terdapat tumor dan *phantom* tanpa tumor. Hasil simulasi antenna dan *phantom* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Return loss simulasi antenna fleksibel dengan *phantom* payudara

Hasil simulasi antenna fleksibel dengan *phantom* payudara menunjukkan perbedaan nilai *return loss* untuk *phantom* payudara yang terdapat tumor dan tanpa tumor. Dimana nilai *return loss* untuk simulasi antenna dengan *phantom* tanpa tumor sebesar -23,62 dB, sedangkan yang terdapat tumor sebesar -24,85 dB. Kedua nilai *return loss* tersebut berada pada frekuensi 5,5 GHz, dimana terjadi pergeseran frekuensi dari hasil simulasi *return loss* pada antenna fleksibel elemen tunggal yaitu sebesar 300 MHz dari 5,8 GHz.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Karakteristik antenna fleksibel dilakukan pada dimensi *patch*, meliputi panjang dan lebar *patch*, serta penambahan *stair slot* dan *hexagonal slot* pada *patch*.
2. Karakterisasi penambahan *stair slot* berfungsi untuk menggeser frekuensi antenna ke frekuensi operasi yang diinginkan, sedangkan karakterisasi penambahan slot heksagonal berfungsi untuk mendapatkan *return loss* terbaik dan *bandwidth* lebih lebar.
3. Hasil simulasi pada desain akhir antenna fleksibel pada frekuensi operasi 5,8 GHz dengan parameter *return loss* sebesar -39,19 dB, VSWR sebesar 1,22,

bandwidth sebesar 3,1 GHz pada rentang frekuensi 4,52–7,62 GHz, pola radiasi yang hampir *omnidirectional*, dan *gain* sebesar 2,26 dBi.

4. Hasil simulasi antenna fleksibel dengan *phantom* payudara yang terdapat tumor dan tanpa tumor menunjukkan adanya perubahan terhadap nilai *return loss*, dimana *return loss* *phantom* dengan tumor lebih rendah dari *return loss* *phantom* tanpa tumor. Serta pergeseran frekuensi operasi dari antenna fleksibel elemen tunggal sebesar 300 MHz.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan fabrikasi antenna fleksibel ini dan melakukan pengukuran dengan menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* (VNA), serta melakukan pengujian antenna dengan payudara berupa model (*phantom*).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- A. Wilzeck, M.D. Peres Guirao, E. D. (n.d.). UWB Technology and Regulation. In *wiseSense GmbH*. Retrieved from <https://ecfsapi.fcc.gov/file/60001090750.pdf>
- Aiello, G. R., & Rogerson, G. D. (2003). Ultra-wideband wireless systems. *IEEE Microwave Magazine*, 4(2), 36–47.
- Alsharif, F., & Kurnaz, C. (2018). Wearable Microstrip Patch Ultra Wide Band Antenna for Breast Cancer Detection. *2018 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2018*, 456–459. <https://doi.org/10.1109/TSP.2018.8441335>
- Balanis, C. A., & Holzman, E. (2005). Circular waveguides. *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*.
- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018:

- GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 68(6), 394–424. <https://doi.org/10.3322/caac.21492>
- Dewiani, Amir, A., Palantei, E., Areni, I. S., & Achmad, A. (2016). Movement effect on electrical properties of UWB microwave antenna during breast tumor diagnostic scanning. *APWiMob 2015 - IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile*, 188–191. <https://doi.org/10.1109/APWiMob.2015.7374972>
- Ghavami, M., Michael, L. B., & Kohno, R. (2004). Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering. In *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*. <https://doi.org/10.1002/9780470060490>
- Istiqomah, N. A. (2012). *Desain Dan Implementasi Patch Antenna Dengan Pencatuan L-Shaped Probe Untuk Aplikasi Wlan*. Politeknik Bandung.
- Kemenkes. (2016). *InfoDatin Bulan Peduli Kanker Payudara*. Jakarta.
- Lee, K. F., & Tong, K. F. (2012). Microstrip patch antennas basic characteristics and some recent advances. *Proceedings of the IEEE*, 100(7), 2169–2180. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2183829>
- M. Ghavami, L.B. Michael, R. K. (2004). *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*. London: Ltd, John Wiley & Sons.
- Mazlouman. (2013). Stretchable antennas: An overview. *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, 1262–1263. <https://doi.org/10.1109/APS.2013.6711291>
- Mehta, A. (2015). Microstrip antenna. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(3), 54–57.
- Rahayu, Y., Hilmi, M. F., & Wahyu, Y. (2020). Stair-Hexagonal Slot Antenna with Coplanar Waveguide Technique for Biomedical Applications. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(6). <https://doi.org/10.30880/IJIE.2020.12.06.021>
- Sulaiman, H. A., Othman, M. A., Othman, M. F. I., Abd Rahim, Y., & Pee, N. C. (2015). *Advanced Computer and Communication Engineering Technology: Proceedings of ICOCOE 2015* (Vol. 362). Springer.