

Perancangan Antena Array Ultra Wideband Menggunakan Metode Defected Ground Structure (DGS) Berbentuk Bee Comb Untuk Pendeteksian Tumor Pada Otak

Fadhli Kabir*, Yusnita Rahayu**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: fadhli.m.kabir@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Cancer and brain tumors are very serious diseases and problems for human health. Early detection of brain tumors is indispensable considering that every year the victims are increasing. Ultra Wideband microwave imaging is a technique that uses electromagnetic signals with wide bandwidth to see through the internal structure of the brain. This study introduces a circular and rectangular array antenna design in a circle configuration that operates in frequency range from 2 GHz to 13 GHz, the antennas are designed and simulated to detect the presence of tumors. The analysis was carried out by comparing E-Field, H-Field, the number of Specific Absorption Rate (SAR) with tumors. With a circle configuration, each antenna element faces directly into brain phantom for better tumor detection. From the simulation results, E-Field and H-Field are obtained in the brain with tumors. The SAR obtained is around 29.7 W / Kg.

Keywords: Brain Cancer, Ultra Wideband (UWB), Microwave Imaging, Specific Absorption Rate (SAR), Array Antenna.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang begitu pesat di segala aspek kehidupan menyebabkan imbas kepada kualitas hidup manusia itu sendiri. Di berbagai bidang kehidupan tidak akan lepas dari sentuhan teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas kehidupan manusia. Salah satu yang mendapat perhatian dari para peneliti adalah teknologi citra digital. Teknologi citra digital berkembang begitu pesat dan banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti sistem keamanan rumah, *machine-vision system* di industri untuk *sorting* produk maupun deteksi kecacatan produk, juga sistem keamanan di tempat-tempat yang memerlukan keamanan khusus. Selain itu, teknologi citra pun banyak membantu para dokter dan para radiologi dalam mendiagnosa suatu penyakit. Jenis citra yang biasa digunakan untuk kepentingan diagnosa penyakit ini merupakan jenis citra khusus yang dihasilkan dari peralatan medis dari berbagai

modaliti seperti X-Ray, USG (Ultrasonography), CT (*Computed Tomography*) Scanner, MRI (*Magnetic Resonance Imaging*), dan PET (*Positron Emission Tomography*) (Sugandi, 2018).

Menurut data dari *International Agency for Research on Cancer*, bahwa lebih dari 126.000 orang di dunia mengidap tumor otak tiap tahun, dengan lebih dari 97.000 diantaranya meninggal (Al Tamimi dan Sulong, 2014). Angka tersebut memperlihatkan bahwa penderita tumor otak sangat tinggi dan dapat meningkat dari tahun ke tahun. Keberadaan tumor pada stadium awal sangat sulit diketahui karena umumnya batas tumor masih tidak jelas, kontrasannya rendah, dan terkadang mirip seperti jaringan normal (National Brain Tumor Society, 2013).

Microwave Imaging merupakan pendekatan sederhana untuk menemukan lokasi *scattering* yang kuat pada objek yang dideteksi (Zhurbenko, 2011). Radar UWB

didesain untuk dapat mengaplikasikan teknologi *microwave imaging* karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya rendah kepadatan energi serta memiliki kecepatan data yang tinggi. *Federal Communications Commission* (FCC) mengizinkan penggunaan *bandwidth* 3.1 GHz hingga 10.6 GHz untuk kepentingan medis. Beberapa antenna dapat digunakan untuk melengkapi teknologi radar UWB salah satunya antenna mikrostrip (Maulida, 2017).

Dalam beberapa tahun terakhir ini, penelitian tentang perancangan antenna mikrostrip yang menggunakan teknik pencitraan *microwave imaging* untuk mendeteksi tumor pada otak sudah mulai banyak dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh Rafat Raihan (2017) pada penelitiannya yang berjudul "A Wearable Microstrip Patch Antenna For Detecting Brain Cancer", dengan nilai *hasil return loss* sebesar -30.99 dB, *gain* 5.28 dBi, dan SAR 0.3877 W/Kg. Selanjutnya dilakukan juga perancangan antenna *Ultra Wideband* pendeteksi tumor otak oleh Reefat Inum (2018) dalam penelitiannya yang berjudul "EBG Based Microstrip Patch Antenna For Brain Tumor Detection Via Scattering Parameters In Microwave Imaging System", dengan nilai *hasil return loss* sebesar -49.29 dB, *gain* 6.77 dBi, dan SAR 0.922 W/Kg.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah antenna mikrostrip *Ultra Wideband* untuk mendeteksi tumor pada otak yang bekerja pada frekuensi *Ultra Wideband* (3.1-10.6 GHz) dengan patch (*radiator*) berbentuk persegi panjang menggunakan teknik terapan *Defected Ground Structure* (DGS) berbentuk 7-Hexagonal *Bee Comb* (Sarang Lebah) dengan target frekuensi 7 GHz (*centre frequency band*). Antenna mikrostrip *Ultra Wideband* ini dirancang dengan menggunakan *software CST Microwave Studio* menggunakan teknik pencatuan *Microstrip Line*. Hasil perancangan nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai pendeteksi tumor pada otak.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang

Patch yang paling umum digunakan dalam perancangan antenna adalah *patch* berbentuk persegi panjang. Adapun perhitungan yang digunakan dalam melakukan perancangan antenna mikrostrip berbentuk persegi panjang (Sidauruk, 2015):

Perhitungan lebar *patch* (W) :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.1)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas, yaitu sebesar 3×10^8 m/s, f_0 adalah frekuensi kerja dari antenna dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (l) diperlukan parameter Δl yang merupakan pertambahan panjang dari l akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari l (Δl) tersebut dirumuskan dengan (Sidauruk, 2015):

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.2)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai (Sidauruk, 2015):

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (2.3)$$

Dengan demikian panjang *patch* (l) diberikan oleh (Sidauruk, 2015):

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan (Sidauruk, 2015):

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.5)$$

2.2 Teknik Pencatuan Mikrostrip

Teknik ini penting dalam menentukan proses perancangan antena mikrostrip. Terdapat beberapa metode pencatuan antena mikrostrip yaitu: *Electromagnetically Coupled (EMC)*, *Microstrip Line Feeding*, *Coaxial Feeding* dan *Aperture Feeding*. Masing-masing teknik mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing (Wibowo, 2017). Pada penelitian ini digunakan metode *microstrip line*. Metode ini tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar w dan bidang pentanahan (*Ground Plane*), keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki permitivitas relatif (ϵ_r) dengan tinggi (h). Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya (Z_0). Impedansi karakteristik (Z_0) dari saluran *microstrip* ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h).

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung panjang dan lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan 2.16 dan 2.17 di bawah ini (Saleh, 2015).

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ \frac{B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right]}{\epsilon_r - 1} \right\} \quad (2.6)$$

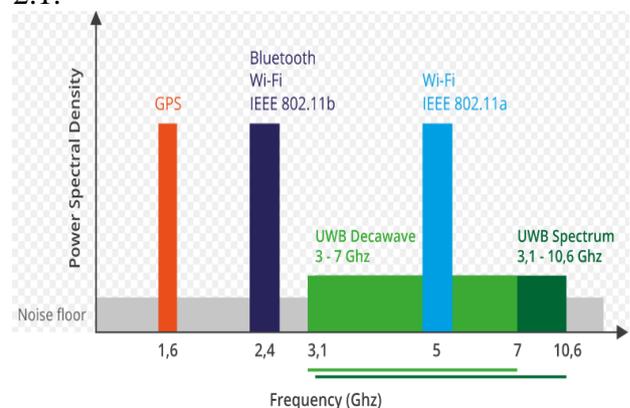
Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

$$B = \frac{60\epsilon_r^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

2.3 Ultra Wideband

Ultra Wideband (UWB) adalah sistem komunikasi jarak pendek yang mempunyai *bandwidth* yang sangat lebar, agar dapat dikategorikan sebagai komunikasi *Ultra*

Wideband (UWB) syarat lebar *bandwidth* fraksionalnya 25% dari Frekuensi Tengahnya. *Ultra Wideband (UWB)* memancarkan semburan begitu banyak RF (*Radio Frequency*), dimana radiasinya terpancar secara *wideband*, mentransmisikan melalui begitu banyak frekuensi secara simultan. Hal inilah yang memungkinkan kecepatan transfer data yang sangat tinggi. *Ultra Wideband (UWB)* ini beroperasi pada frekuensi 3.1-10.6 GHz. Radar tembus tembok dengan teknologi *Ultra Wideband (UWB)* mempunyai kelebihan yaitu mempunyai akurasi deteksi jangkauan yang tinggi pada target, mempunyai karakteristik penetrasi pada dinding yang baik, operasi tidak terpengaruh oleh kondisi siang atau malam dan kondisi cuaca, dan kebal terhadap *noise*, *jamming*, inferferensi dari teknologi *narrow band*. *Federal Communications Commission (FCC)* tahun 2002 telah menetapkan *Ultra Wideband (UWB)* beroperasi pada frekuensi 3.1 GHz hingga 10.6 GHz (Rahayu, 2008). Spektrum dari *Ultra Wideband* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Spektrum *Ultra Wideband*

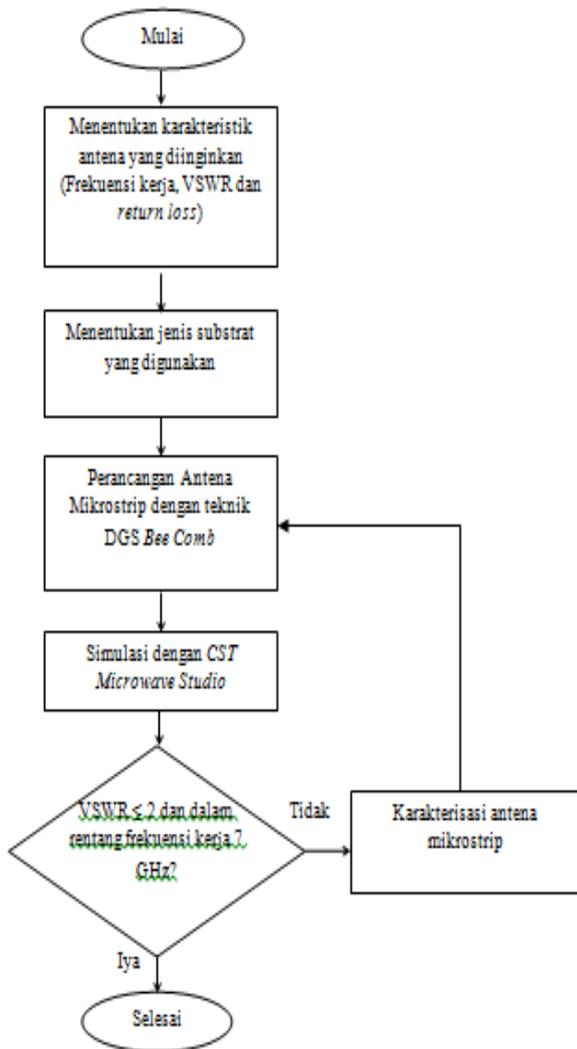
Prinsip dari *Monostatic Radar Ultra Wideband* adalah dengan menggunakan gelombang radio yang dipantulkan dari permukaan objek untuk tujuan pendeteksian. Jika gelombang yang dipancarkan mengenai benda akan berbalik arah, dan waktu yang diperlukan untuk kembali lewat alat penerima dapat mengetahui informasi jarak, kecepatan, arah, dan ketinggian (Lillesland, 2007). Antena penerima yang biasanya juga antena pemancar

menangkap sebaran balik (*scattering*) tersebut dan memasukkannya ke alat yang disebut *receiver* (Raemer, 1997).

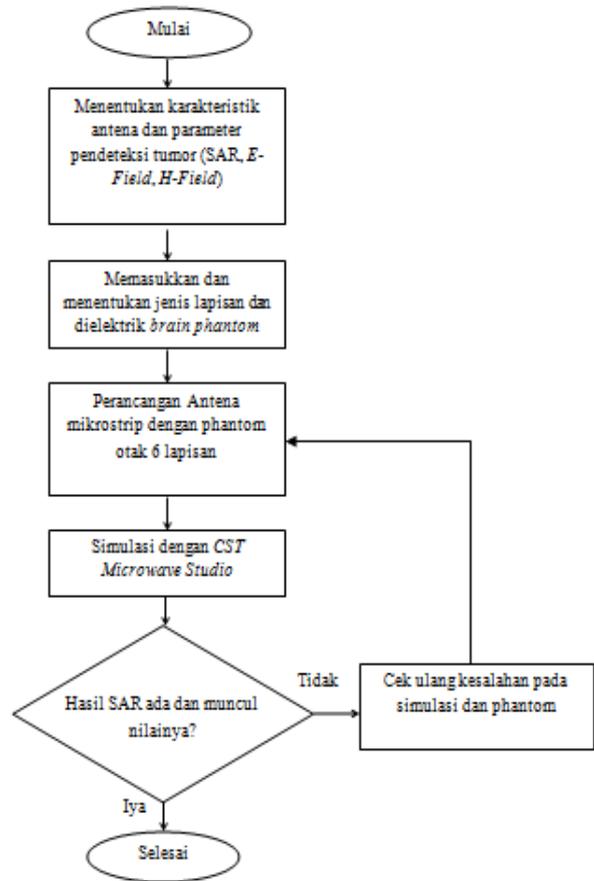
III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Diagram alir perancangan antenna berisi tahapan-tahapan yang bertujuan untuk membantu dalam proses perancangan antenna. Gambar 3.1 merupakan gambar diagram alir dari perancangan antenna secara umum pada penelitian ini. Gambar 3.2 merupakan diagram alir pembuatan *brain phantom* serta perhitungan kalkulasi SAR.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena Secara Umum



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan *Brain Phantom* Dan SAR

3.2 Menentukan Karakteristik Antena

Tahapan perancangan antenna pertama kali adalah menentukan karakteristik antenna yang diinginkan, karakteristik antenna yang dimaksud, yaitu frekuensi kerja, *return loss*, *bandwidth*, VSWR, dan *gain*. Adapun parameter antenna *ultra wideband* yang diinginkan seperti terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Antena yang Diinginkan

No	Parameter	Karakterisasi Antena
1	Frekuensi Kerja	7 GHz
2	<i>Return Loss</i>	< -10 Db
3	<i>Bandwidth</i>	> 500 MHz
4	VSWR	≤ 2
5	<i>Gain</i>	≤ 6 dBi

3.3 Menentukan Jenis Subtrat yang Digunakan

Pada penelitian ini digunakan substrat Rogers RO3003 dengan ketebalan 1.6 mm dengan spesifikasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Subtrat yang Digunakan

Jenis Subtrat	Rogers RO3003
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	3
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0.0013
Ketebalan Subtrat (h)	1.6 mm

3.4 Perancangan Antena *Ultra Wideband*

Perancangan antena *Ultra Wideband* dengan pencatuan *microstrip line* terdiri dari beberapa tahap, seperti dibawah ini.

3.4.1 Perancangan Antena Mikrostrip *Single Patch* dengan *Defected Ground Structure* (DGS)

Perancangan antena terdiri dari dua tahapan, yaitu desain manual dan simulasi antena. Tahapan pertama adalah desain manual, yaitu perhitungan ukuran antena meliputi dimensi *patch* antenna dan pencatu 50 Ω . Perhitungan *patch* dengan menggunakan persamaan (2.1) sampai (2.5).

Menentukan lebar *patch* (w) :

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 7.3 \times 10^9 \sqrt{\frac{3+1}{2}}} = 14.49 \text{ mm}$$

Sedangkan panjang *patch* (l) :

$$\epsilon_{eff} = \frac{3+1}{2} + \frac{3-1}{2} \frac{1}{\sqrt{1+12\left(\frac{1.6}{14.49}\right)}} = 4.56 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0.412 \times 1.6 \times \frac{(4.56 + 0.3) \left(\frac{14.52}{1.6} + 0.264\right)}{(4.56 - 0.258) \left(\frac{14.52}{1.6} + 0.8\right)} = 0.704 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 7.3 \times 10^9 \sqrt{4.56}} = 9.6 \text{ mm}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L = 9.6 - 1.408 = 8.192 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut yang berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan, diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 8.192 mm dan 14.49 mm.

3.5 Simulasi Antena Mikrostrip *Ultra Wideband*

Setelah dilakukannya desain manual antena, maka tahap selanjutnya adalah simulasi antena menggunakan perangkat lunak CST *Microwave Studio*. Apabila setelah dilakukan, hasil yang didapat tidak memenuhi dari spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan pengkarakterisasi antena untuk mendapatkan hasil yang optimal.

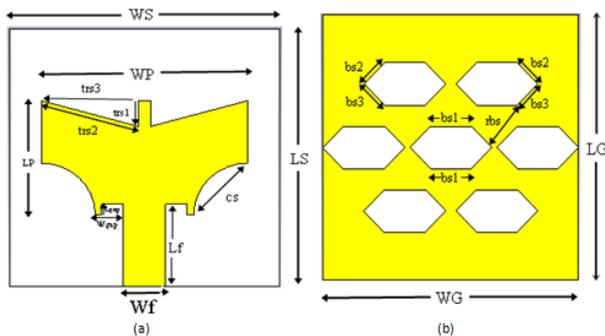
3.6 Karakterisasi Antena Mikrostrip *Ultra Wideband*

Karakterisasi antena merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antena untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan atau hasil yang optimal. Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan teknik DGS berbentuk 7 Hexagonal (*Bee Comb*) menggunakan pencatuan *Microstrip Line* yang masing-masing memiliki parameter yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan. Karakterisasi yang dilakukan berupa perubahan dimensi *patch* dan dimensi *ground*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Antena Mikrostrip *Single Elemen Ultra Wideband*

Gambar 4.1 adalah geometri beserta dimensi rancangan akhir antena *ultra wideband* dengan *Defected Ground Structure* (DGS) berbentuk 7-Hexagonal atau *Bee Comb*.

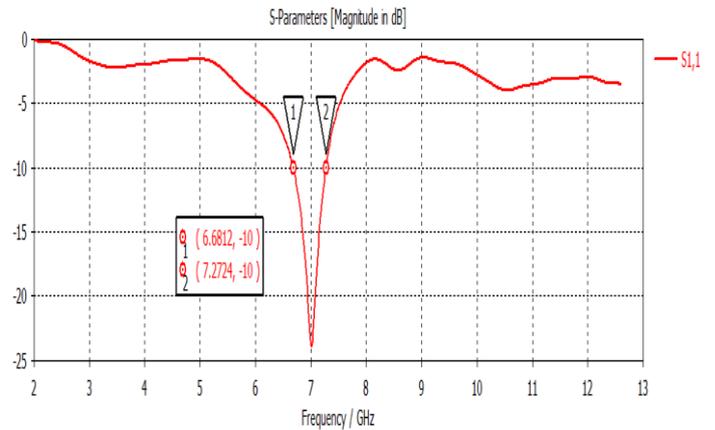


Gambar 4.1 Geometri Rancangan Akhir Antena *Ultra Wideband*

Tabel 4.1 Dimensi Rancangan Akhir Antena *Ultra Wideband*

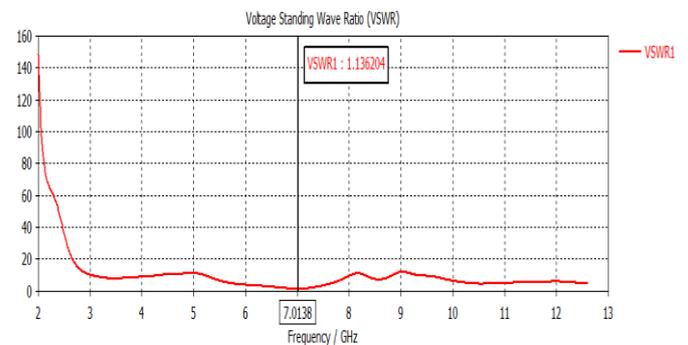
Parameter	Dimension (mm)
WS (Lebar Substrat)	25
LS (Panjang Substrat)	25
WP (Lebar Patch)	19.11
LP (Panjang Patch)	11.06
Wf (Lebar Pencatu)	3.89
Lf (Panjang Pencatu)	7
WG (Lebar Ground)	25
LG (Panjang Ground)	25
Wgap (Lebar Gap)	2
Lgap (Panjang Gap)	1
trs1 (<i>Triangle slot</i> 1)	9
trs2 (<i>Triangle slot</i> 2)	2.5
trs3 (<i>Triangle slot</i> 3)	9
cs (<i>Circle slot</i>)	5
bs1 (<i>Bee slot</i> 1)	4
bs2 (<i>Bee slot</i> 2)	2
bs3 (<i>Bee slot</i> 3)	2
rbs (<i>Jarak bee slot</i>)	4

4.1.2 Hasil Simulasi Antena *Ultra Wideband*



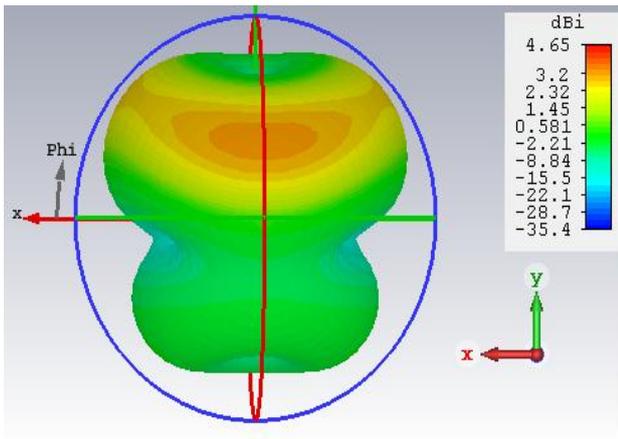
Gambar 4.2 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Ultra Wideband*

Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 7 GHz adalah -23.90 dB dengan *bandwidth* lebih dari 591 MHz. Sedangkan pada gambar 4.3 merupakan grafik frekuensi (sumbu *x*) versus VSWR (sumbu *y*) untuk antena antena *ultra wideband* dengan pencatuan *microstrip line*.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi VSWR Antena *Ultra Wideband*

Dapat dilihat dari gambar 4.3 bahwa nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 7 GHz adalah 1.13. diketahui bahwa pada rancangan antena ini sudah bekerja pada nilai $VSWR \leq 2$ dan dimana telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai $VSWR \leq 2$ atau $return Loss \leq -10$ dB.

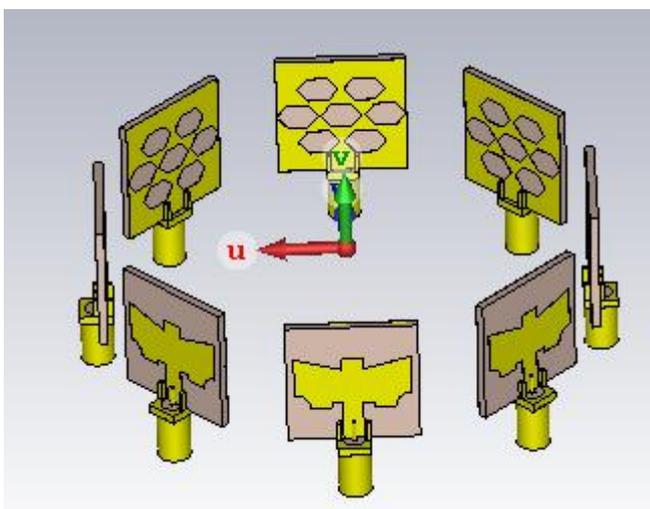


Gambar 4.4 Gain Antena

Gambar 4.4 menunjukkan *directivity* antena persegi panjang yaitu dengan nilai sebesar 4.65 dBi.

4.2 Antena Mikrostrip Array

Bagian ini menunjukkan bentuk studi kelayakan *array* antena persegi panjang. Untuk meningkatkan proses sistem pencitraan gelombang mikro, susunan antena dalam konfigurasi lingkaran. Tujuan dari *array* antena adalah untuk menyederhanakan proses deteksi tumor. Bentuk *array* antena ini memungkinkan setiap elemen antena menghadap ke *brain phantom* dengan jarak antar antena 17.5 mm. Dengan demikian, proses mendeteksi dan memprediksi tumor bisa lebih baik daripada elemen tunggal. Desain antena *array* ditunjukkan pada Gambar 4.5.

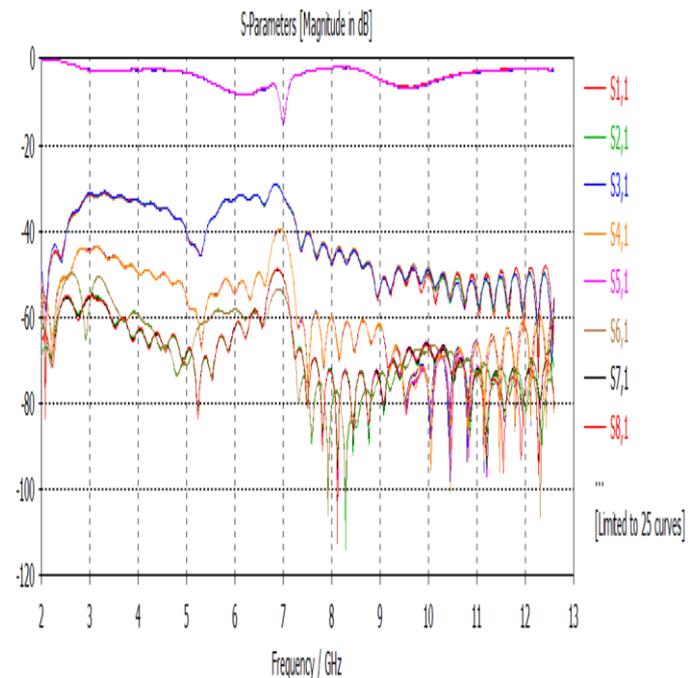


Gambar 4.5 Antena Array Ultra Wideband

Gambar 4.6 menunjukkan permitivitas dan konduktivitas masing-masing lapisan otak mulai dari *skin* sampai yang paling dalam adalah *brain*.

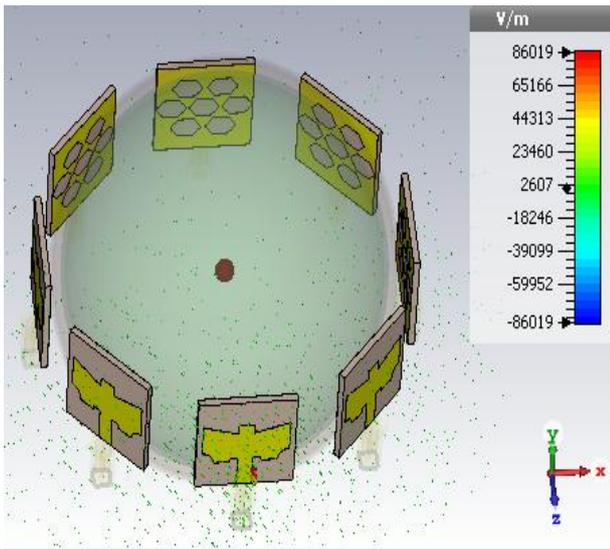
Tissue	Radius (mm)	Permittivity (ϵ_r)	Conductivity, σ (S/m)
Brain	81	43.22	1.29
CSF	83	70.1	2.3
Dura	83.5	46	0.9
Bone	87.6	5.6	0.03
Fat	89	5.54	0.04
Skin	90	45	0.73
Tumor	5	55	7

Gambar 4.6 Parameter Permitivitas Dan Konduktivitas Enam Lapisan Otak

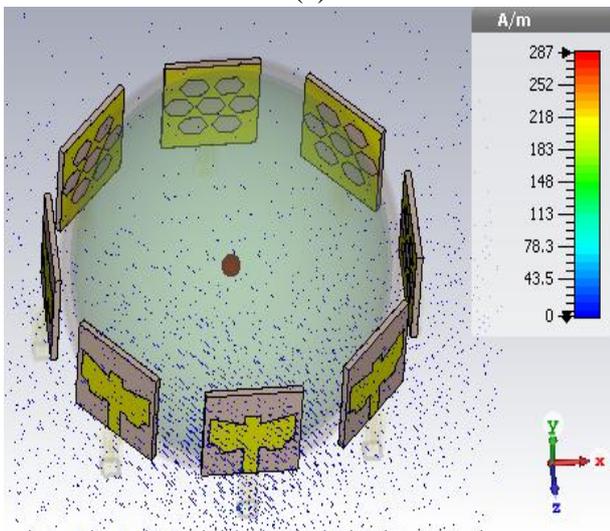


Gambar 4.7 S-parameter dari susunan antena yang diusulkan

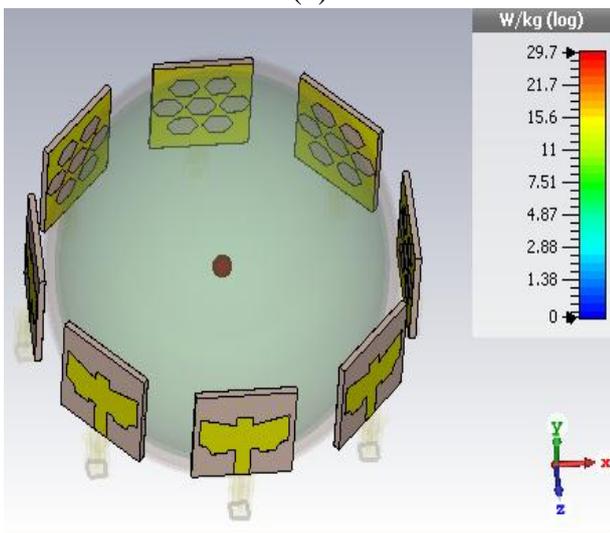
Gambar 4.7 menunjukkan hasil parameter S12 dari susunan antena persegi panjang. Hasilnya menunjukkan *bandwidth* sangat luas yang beroperasi pada 2-13 GHz. Nilai terendah dari *mutual coupling* antena adalah -114 dB pada frekuensi 8.29 GHz. Ini menunjukkan bahwa hanya sejumlah kecil kerugian terjadi ketika sinyal ditransmisikan.



(a)



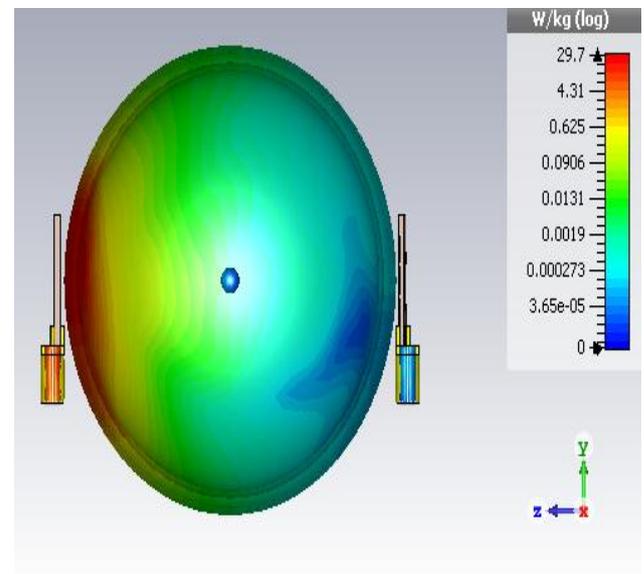
(b)



(c)

Gambar 4.8. Hasil simulasi susunan antenna berbentuk *circle* dengan *patch* persegi panjang yang dibuat (a) *E-field*, (b) *H-field*, (c) SAR

Gambar 4.8 menunjukkan hasil simulasi *phantom* otak dengan susunan antenna. Simulasi menggunakan antenna array lebih mudah bagi pengguna untuk mengetahui keberadaan tumor, karena setiap elemen antenna langsung menghadap ke *brain phantom*. Sehingga memungkinkan radiasi antenna untuk mencapai tumor di setiap sudut antenna.



Gambar 4.9 Keenam lapisan otak dalam simulasi CST

Tabel 4.2 Nilai Parameter Antena Terhadap Hasil Susunan Antena Dengan Ukuran Tumor ($R = 5 \text{ MM}$)

Parameter	Hasil Simulasi
E-Field (V/m)	86.019
H-Field (A/m)	287
SAR (W/kg)	29.7

Tabel 4.2 mencantumkan parameter yang diukur selama simulasi. Berdasarkan tabel diperoleh *E-Field* dan *H-Field* masing-masing 86.019 V/m dan 287 A/m. Sedangkan nilai SAR adalah 29.7 W/Kg.

V. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini, susunan antena dirancang untuk deteksi tumor otak. Antena dirancang dalam konfigurasi lingkaran. Sehingga setiap elemen antena langsung menghadap ke sisi *phantom* yang memungkinkan radiasi antena mencapai tumor di otak. Susunan antena efisien dan cocok untuk *Microwave Brain Imaging*. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai *E-Field* dan *H-Field* masing-masing 86.019 V/m dan 287 A/m. Sedangkan nilai SAR adalah 29.7 W/Kg.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Al-Tamimi, M.S.H., Sulong, G., 2014. *Tumor Brain Detection Through MR Images : A Review Of Literature. J. Theor. Appl. Inf. Technol.* 62.
- Budi Sugandi, B. 2018. Teknologi Citra Untuk Peningkatan Kualitas Hidup Yang Lebih Baik. *Electrical Engineering Department, Batam State Polytechnics, Indonesia.*
- Lillesland, Thomas. M dan Ralph W. Kiefer. 2007. *Penginderaan Jauh Dan Interpretasi Citra.* Yogyakarta. *Gadjah Mada University Press.*
- Maulida, Yumnisari. 2017. Perancangan Dan Simulasi Antena Mikrostrip *Ultra Wideband* Untuk Deteksi Kanker Payudara. Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi ITN Malang, 4 Februari 2017. Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.
- National Brain Tumor Society, Understanding Brain Tumor,* <http://braintumor.org>, 2013.
- Rahayu, Y. 2008. *Design and Development of Antenna For Ultra Wideband Application.* Thesis. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Raemer, Harold R. 1997. *Radar Systems Principles.* Florida: CRC Press LLC.
- Raihan, Rafat, 2017. *A Wearable Microstrip Patch Antenna For Detecting Brain Cancer.*
- Reefat, I. 2018. *EBG Based Microstrip Patch Antenna For Brain Tumor Detection Via Scattering Parameters In Microwave Imaging System.* Hindawi Publication Journal.
- Saleh F. 2015. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Metode *Phase Array* Peradiasi *Rectangular 4 Element Patch* Frekuensi 900 Mhz. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Jember: Jember.
- Sidauruk H. F, Rambe A. H. 2014. Analisa Penentuan Ukuran *Slot* Pada Karakteristik Antena Mikrostrip *Patch Segiempat Dengan Pencatu Aperture Coupled.* Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik \Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Vol. 10 No. 27: Medan.
- Wibowo R. P. 2017. Perancangan Dan Pembuatan Antena *Array* Dengan *Beamwidth* $\leq 5^\circ$ Pada Frekuensi S-Band Dengan Menggunakan Elemen *Microstrip Bow-Tie.* Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Zhurbenko. *Challenges In The Design Of Microwave Imaging Systems For Breast Cancer Detection, In Advances In Electrical And Computer Engineering,* 11(1), 91-96. 10.4316/AECE.2011.01015, 2011.