

PEMODELAN SATU SIKLUS RADIASI GELOMBANG TERAHERTZ PADA JARINGAN SAPI DENGAN METODE KOMPUTASI BIOFISIK

Mimwindayani, Mhd. Hamdi, Usman Malik

¹Dosen Jurusan Fisika FMIPA-UR

²Mahasiswa Program S1 Fisika FMIPA-UR

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

Kampus Binawidya Pekanbaru, 28293, Indonesia

¹mhdhamdi13@gmail.com, ²mimwindayani@gmail.com

²usmanmalik@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Terahertz (THz) radiation in the infrared region of electromagnetic spectrum has a frequency range close to water molecular frequency. Interaction of THz radiation indicates a low scattering/absorption. This study examines the modeling of one cycle THz wave radiation on biological tissues such as skin tissue, fat, tumor, and beef by focusing on the physical parameters of electromagnetic waves Maxwell's Equations. The solution of this study uses computational methods with Wolfram Mathematica 9.0 software to use sources of THz power density (10-150) mW.m⁻³ and a frequency range (0.1-1) THz. The quality of the absorption spectrum of THz radiation is limited by the resolution of the resonance frequency varies. At lower resolutions, the peak of the spectrum is expanded by the energy level can be determined with high accuracy. There are differences of peaks between tumor tissue and normal tissue. This can be seen with the absorption models and experimental results indicate quite accurate with an error of 0.8%.

Keywords: Modeling, Terahertz Radiation, One Cycle, Absorption, Biological Tissues

ABSTRAK

Radiasi terahertz (THz) berada pada daerah inframerah pada spektrum elektromagnetik yang memiliki rentang frekuensi dengan nilai hampir sama dengan frekuensi molekul air. Interaksi radiasi THz mengindikasikan penyerapan hamburan rendah. Penelitian ini mengkaji model perambatan gelombang satu siklus radiasi THz pada jaringan biologis seperti: jaringan kulit, lemak, tumor, dan daging sapi dengan memfokuskan pada parameter-parameter fisis gelombang elektromagnetik Persamaan Maxwell. Solusi kajian ini menggunakan metode komputasi dengan perangkat lunak *Wolfram Mathematica 9.0* menggunakan sumber densitas daya THz (10-150) mW.m⁻³ dan rentang frekuensi (0.1-1) THz. Kualitas spektrum penyerapan radiasi THz dibatasi oleh resolusi frekuensi dengan resonansi yang bervariasi. Pada resolusi rendah, puncak spektrum yang diperluas dengan tingkat energi dapat ditentukan dengan akurasi yang tinggi. Terdapat perbedaan dari puncak yang antara jaringan tumor dan jaringan normal. Hal ini dapat dilihat dengan model penyerapan dan hasil eksperimen mengindikasikan cukup akurat dengan kesalahan sebesar 0.8%.

Kata Kunci: Pemodelan, Radiasi Terahertz, Satu Siklus, Penyerapan, Jaringan Biologis

1. PENDAHULUAN

Teknologi terahertz telah berevolusi pada berbagai bidang penelitian. Salah satu contohnya ialah penelitian yang di aplikasikan dalam bidang fisika medis (Burghardt dkk, 2009).

Jaringan biologis memiliki medium dengan daya serap radiasi dan kandungan air yang berbeda. Sehingga mengakibatkan terjadinya interaksi radiasi THz dengan jaringan biologis yang melibatkan penyerapan radiasi hamburan rendah (Hamdi & Yusof, 2016). Model hamburan rendah yang berasal dari penyerapan radiasi THz menggunakan sistem tertutup yang diaplikasikan dengan menggunakan metode komputasi biofisik.

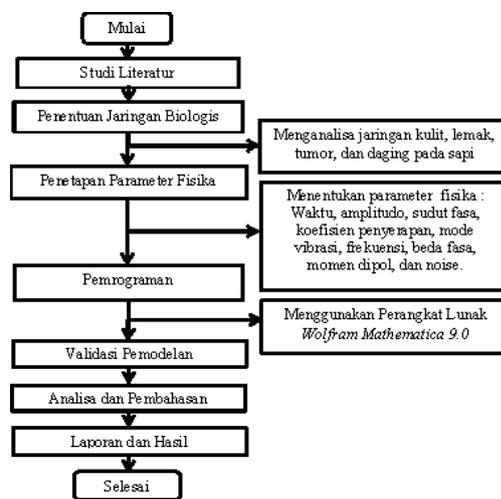
Metode komputasi biofisik merupakan sebuah mekanisme analisis diferensial elektronik yang mempelajari dan menganalisa suatu model dinamis untuk menentukan parameter fisika gelombang terahertz yang dapat dirancang dengan menggunakan perangkat lunak matematika (Hotokka dkk, 2013).

Berdasarkan pemaparan diatas maka telah dilakukan perhitungan numerik pada jaringan kulit, lemak, tumor, dan daging pada sapi yang menggunakan rentang frekuensi THz. Hal ini menunjukkan bahwa radiasi gelombang THz pada jaringan biologis yang homogen dapat ditentukan parameter fisika seperti amplitudo dan perbedaan fase dari intensitas radiasi THz

memberikan cara yang tepat untuk mendapatkan hasil data lebih akurat dari pada data yang didapat secara eksperimen dengan menggunakan metode komputasi biofisik yaitu *Wolfram Mathematica 9.0*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara komputasi biofisik menggunakan perangkat lunak *Wolfram Mathematica 9.0* dengan pelaksanaan di Gambar 2.1 berikut:



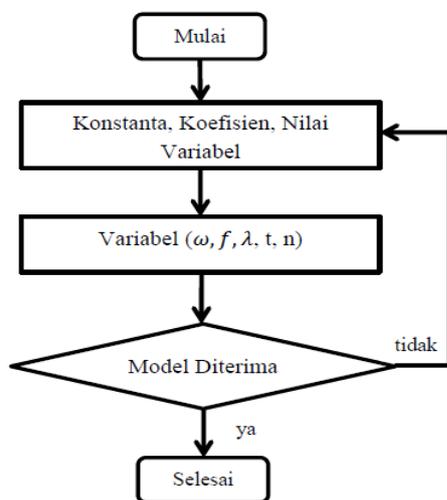
Gambar 2.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan secara komputasi biofisik menggunakan perangkat lunak *Wolfram Mathematica 9.0* dimana penelitian dilakukan berbasis komputer dengan pelaksanaan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan literatur berupa hasil penelitian terdahulu berupa jurnal.
2. Menentukan jaringan biologis yang akan dianalisa seperti: jaringan kulit, lemak, tumor, dan daging pada sapi dengan kandungan air yang berbeda.
3. Penetapan parameter fisika.

Typ Parameter	Nilai
Rentang Frekuensi	0,1- 10 THz
Rentang Waktu	0,1- 20 Ps
Panjang gelombang	300-3000 μm
Bilangan gelombang	1-100 cm^{-1}
Energi kuantum	0.01-100 meV
Ketebalan	1- 25 mm
Bentuk jaringan	Persegi
Koefisien penyerapan (CW)*	23.5-100 cm^{-1}
Koefisien penyerapan (FTIR)*	58.5-500 cm^{-1}
Konstanta dielektrik jaringan*	47 – 65

4. Membuat algoritma program pemodelan satu siklus radiasi gelombang THz dengan membuat diagram alir program.



5. Memvalidasi pemodelan untuk mencari nilai yang lebih akurat dari hasil eksperimen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

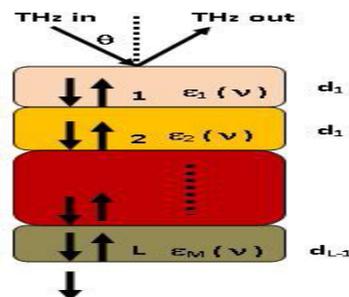
3.1 Pemodelan Radiasi Gelombang THz

Pemodelan radiasi gelombang menunjukkan bahwa sinyal dari medan listrik untuk radiasi THz tergantung pada waktu, daya dan amplitudo spektrum yang menunjukkan ketergantungan pada medan listrik. Jaringan biologis memiliki konduktivitas listrik seperti pada Tabel 4.1

Tabel 3.1 Konduktivitas Listrik Jaringan Sapi

Jaringan Biologis	Konduktivitas	ϵ_r	ϵ_s	ϵ_2	ϵ_∞
Kulit	0.84	47	58.0	3.6	3
Lemak	0.26	15	36.6	6.2	4.5
Tumor	1.05	55	51.5	6.3	6.2
Daging	1.12	57	45.3	11.9	65

Sifat kelistrikan dari masing-masing jaringan digunakan dalam memodelkan persamaan simulasi pada komputasi biofisik. Sistem yang digunakan untuk menganalisa jaringan yang terdiri tiga lapisan medium. Analisis ini dilakukan untuk setiap frekuensi pada spektrum THz yang diperoleh dari transformasi Fourier dimana gelombang THz ditransmisikan dan dipantulkan selanjutnya gelombang THz dimodelkan menggunakan seperti pada Gambar 3.1



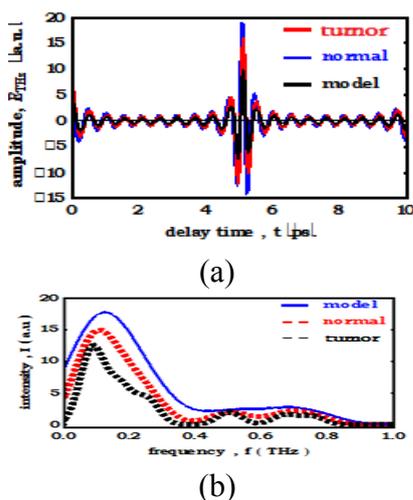
Gambar 3.1 Model perambatan THz pada lapisan-lapisan jaringan

Gambar 3.1 merupakan analisa radiasi THz yang datang pada sampel berbentuk lapisan-lapisan jaringan dengan sifat fisik homogen yang dapat dimodelkan dengan formulasi matematis. Perhitungan pemodelan menggunakan daya THz dengan nilai yang berkisar antara 0,1-1 THz.

Dalam pemodelan tersebut dapat diamati bahwa penyerapan intensitas radiasi THz berkurang secara signifikan. Intensitas yang dipantulkan dan ditransmisikan hanya digunakan sebagai pelengkap setiap jenis jaringan.

3.2 Spektroskopi Absorpsi Radiasi THz pada Jaringan Biologis

Hasil spektrum penyerapan tumor dan jaringan normal menunjukkan penyerapan radiasi THz memiliki beberapa profil kualitatif umum. Frekuensi yang digunakan berkisar antara 0,1-1 THz untuk eksperimen dan pemodelan. Makromolekul jaringan tumor mengandung air dengan viskositas tinggi dan mampu menyerap energi radiasi THz dengan kuat dimana intensitas terkuantisasi ketika frekuensinya lebih dekat dengan frekuensi vibrasi makromolekul kandungan air tumor seperti pada Gambar 3.2



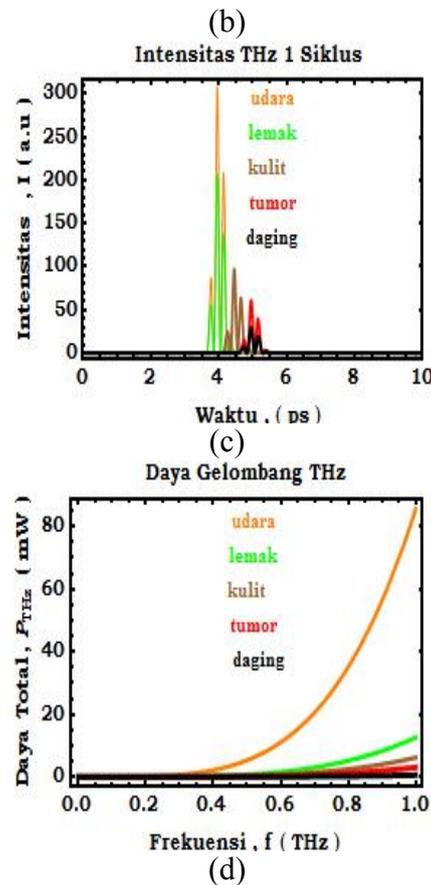
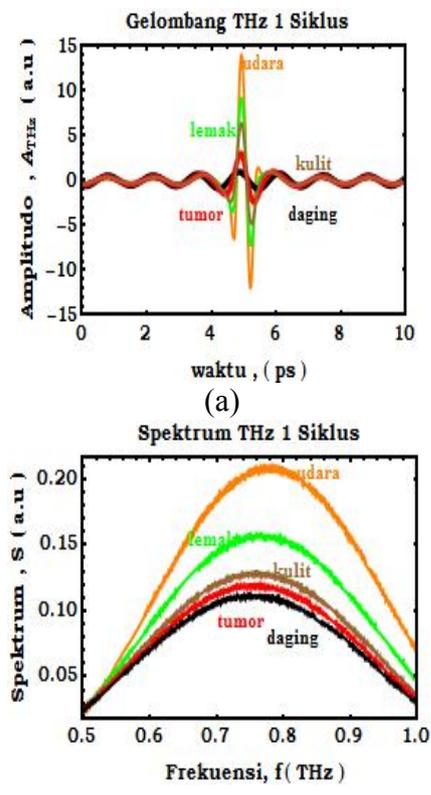
Gambar 3.2 (a) Gelombang satu siklus THz dalam penyerapan tumor, yang normal dan model, (b) Spektrum penyerapan jaringan tumor, jaringan normal dan model.

Gambar 3.2.a menunjukkan puncak amplitude gelombang THz dari yang tinggi sekitar 19.92 a.u (*arbitrary unit*), 19.01 a.u dan 18.09 a.u dengan tinggi spectrum intensita smasing-masing 17.05 a.u, 15.08 a.u dan 13.06 a.u. Gambar 3.2b menunjukkan hasil daya serapan pada permukaan masing-masing jaringan. Hasil eksperimen pada Gambar 3.2a dan b menunjukkan jaringan normal dengan kadar air yang tinggi mengindikasikan penyerapan spectrum vibrasi radiasi dengan kuat dibandingkan dengan tumor. Hal ini dikarenakan frekuensi resonansi air terletak dekat dengan frekuensi THz untuk setiap transisi sehingga terdapat berbagai frekuensi yang baik untuk merusak sel tumor demi keperluan medis. Kualitas spektrum penyerapan radiasi THz dibatasi oleh resolusi frekuensi dengan resonansi yang bervariasi. Pada resolusi rendah, puncak spektrum yang diperluas dengan tingkat energi dapat ditentukan dengan akurasi yang tinggi.

3.3 Spektrum Absorpsi Jaringan Biologis dan Bentuk Gelombang THz

Pemodelan radiasi gelombang menunjukkan bahwa sinyal medan listrik untuk radiasi THz tergantung pada waktu, daya dan amplitudo spektrum yang menunjukkan ketergantungan medan listrik pada frekuensi. Spektrum amplitudo

meluas hingga 1 THz yang dibatasi oleh waktu respon deteksi. Ketika sinyal radiasi THz menyebar melalui udara atau medium jaringan biologis, gelombang deformasi secara bertahap akan terjadi propagasi secara menyeluruh. Jenis jaringan tertentu seperti kulit, lemak dan daging akan menunjukkan satu siklus radiasi gelombang terahertz dengan pola yang berbeda. Pada Gambar 3.3c dan d perubahan pola sinyal disebabkan oleh perubahan parameter sinyal fisika dengan karakteristik medium yang disebarkan dikenal sebagai intensitas, daya dan penyerapan atau atenuasi koefisien serta disebabkan oleh gangguan dari fenomena karakteristik medium. Karakteristik unik dari perilaku radiasi THz dan interaksinya dengan jaringan biologis seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 (a) Model gelombang satu siklus (b) Spektrum penyerapan radiasi, (c) Intensitas dalam satu siklus dan (d) Daya spectrum transmisi.

Gambar 3.3 menunjukkan penjelasan satu siklus radiasi gelombang terahertz yang merambat di udara dan jaringan biologis. Pola-pola ini dapat dianalisis dan dimanfaatkan untuk tujuan penelitian sebagai perbandingan. Pada frekuensiasal, model gelombang ini memiliki frekuensi pusat sekitar 0,1 THz dengan bandwidth 1 THz. Perbandingan nilai parameter fisika hasil eksperimen dan pemodelan gelombang THz satu siklus dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Perbandingan Nilai Parameter Hasil Pemodelan dan Hasil Eksperimen pada Jaringan Biologis.

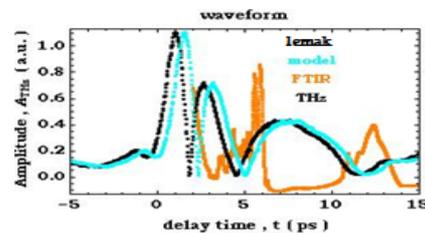
No.	Parameter Fisik	Hasil		Persentase Kesalahan (%)
		Eksperimen	Pemodelan	
1.	Waktu tunda, t_d (ps)	0,76	0,75	1,31%
2.	Rentang waktu, t (ps)	10,1	10	0,99%
3.	Waktu tambahan, t_a (ps)	5,65	5,6	0,88%
4.	Nomor data, n	40	40	0,00%
5.	Amplitudo, E_0 (a.u)	4,35	4	0,80%
6.	Posisi puncak, p_0 (ps)	5,05	5	0,99%
7.	Sudut fasa, θ (°)	30,25	30	0,83%
8.	Fasa awal, θ_0 (°)	181,50	180	0,83%
9.	Fasa koreksi, θ_c (°)	14,10	14	0,71%
10.	Waktu relaksasi, t_r (ps)	2,55	2,5	1,96%
11.	Koefisien penyerapan, μ (cm ⁻¹)	0,101	0,1	0,99%
12.	Penembusan optik, δ (mm ⁻¹)	1,008	1	0,79%
13.	Mode vibrasi, ν_b	1,7135	1,7	0,79%
14.	Frekuensi pusat, f_c (THz)	0,1008	0,1	0,79%
15.	Beda fasa, ϕ (°)	0	0	0,00%
16.	Momen dipol, p_m (C cm)	17,15	17	0,87%
17.	Rentang frekuensi, f (THz)	1,008	1	0,79%
18.	Noise	0,0005	0,0005	0,00%

Perbandingan nilai hasil eksperimen dan hasil pemodelan radiasi gelombang THz pada jaringan biologis memiliki nilai persentasi rata-rata sebesar 0.8% Sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan ini dapat dijadikan sebagai salah satu metode yang memiliki nilai akurasi tinggi dengan hasil eksperimen.

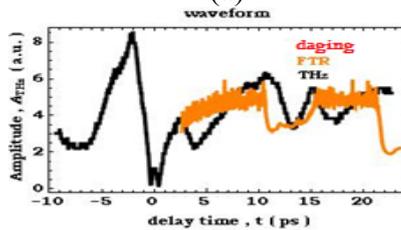
3.4 Perbandingan Eksperimen THz, FTIR dan Model

Sel makromolekul memberikan energi radiasi THz dengan intensitas terkuantisasi yang diserap ketika berada pada frekuensi yang sesuai dengan salah satu perbedaan tingkat energi. Dari hasil spektrum absorpsi untuk sampel jaringan

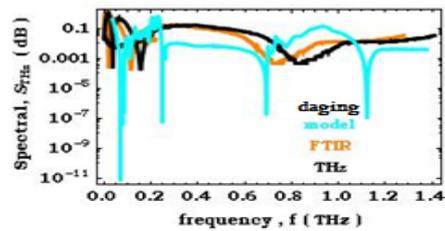
biologis terdapat perbedaan dari puncak yang tajam antara jaringan lemak dan jaringan daging. Sehingga dapat dilihat bahwa kadar air dari masing-masing jaringan memiliki kandungan yang berbeda. Kualitas spektrum absorpsi dibatasi oleh resolusi frekuensi resonansi yang bervariasi. Pada resolusi rendah, puncak spektrum dan tingkat energi yang diperluas dapat ditentukan dengan nilai akurasi rendah seperti pada Gambar 3.4



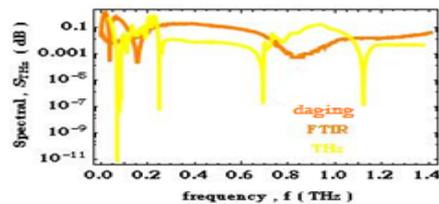
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.4 (a) Gelombang radiasi THz pada jaringan lemak, (b) Gelombang radiasi THz pada jaringan daging, (c) Spektrum penyerapan jaringan lemak dan, (d)

Spektrum penyerapan jaringan daging dengan perbandingan menggunakan THz, FTIR dan model untuk kekuatan 50 mW. Gambar 3.4 a dan b menunjukkan pola gelombang, sedangkan Gambar 3.4c dan d menunjukkan spektrum penyerapan pada jaringan lemak dan daging dengan ketebalan 0,5 mm. Bentuk gelombang hasil penyerapan lemak antara THz dan sistem FTIR menunjukkan bahwa pola amplitudo puncak tajam dari sistem THz menunjukkan rentang frekuensi radiasi memiliki daya serap air lebih tinggi dengan getaran yang kecil sementara hasil FTIR dalam getaran tinggi dengan daya serap air lebih rendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa FTIR pada rentang frekuensi THz rendah sulit untuk mengidentifikasi puncak serapan sampel kadar air yang tinggi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan satu siklus radiasi gelombang Terahertz pada jaringan sapi dapat diambil kesimpulan:

1. Secara Komputasi hasil radiasi gelombang terahertz pada jaringan sapi dengan pola gelombang satu siklus menunjukkan pada bentuk gelombang yang memiliki puncak tinggi dengan daya serapan dia sitinggi sehingga dapat diperoleh data yang lebih akurat dengan menggunakan. Perangkat Lunak Matematika

dibandingkan dengan data yang diperoleh secara eksperimen.

2. FTIR pada rentang frekuensi THz rendah sulit untuk mengidentifikasi puncak serapan sampel kadar air yang tinggi.
3. Perbandingan nilai hasil eksperimen dan hasil pemodelan radiasi gelombang THz pada jaringan biologis memiliki nilai persentasi rata-rata sebesar 0.8% Sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan ini dapat dijadikan sebagai salah satu metode yang memiliki nilai akurasi tinggi dengan hasil eksperimen.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Burghardt, Irene, Volkhard May, David A. Micha, and Eric R. Bittner. 2009. *Energy Transfer Systems Dynamics in Biomaterial*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg.
- Hamdi, Muhammad dan Yusof Munajat. 2016. *Modeling a One-Cycle THz radiation Waveform Moving through Biological Tissue*. UTM: Johor Bahru.
- Matti Hotokka, Erkki J. Brändas, Jean Maruani Gerardo, and Delgado-Barrio. 2013. *Advances in Quantum Methods and Applications in Chemistry, Physics, and Biology*. Springer International Publishing: Switzerland.