



**POLA HAMBURAN GELOMBANG MIKRO OLEH  
PROPERTI DIELEKTRIK HATI MANUSIA PADA MODE  
TMz MENGGUNAKAN *METHOD of MOMENT***

**SKRIPSI**

Oleh

**Anis Wardatus Sholihah**

**151810201028**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**POLA HAMBURAN GELOMBANG MIKRO OLEH  
PROPERTI DIELEKTRIK HATI MANUSIA PADA MODE  
TMz MENGGUNAKAN *METHOD of MOMENT***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Anis Wardatus Sholihah**

**151810201028**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan segala syukur dan ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Ayahanda Moch. Nur Fauzi dan Ibunda Nanik Nurul Fadhilah yang tidak kenal lelah membantu saya, menyemangati, memberi nasihat, serta doa dan restu sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Adik saya Revi Aulia Fitria Salsabila, yang telah membantu saya memberi semangat serta doa, sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini;
3. Semua guru yang telah membimbing saya dari sebelum saya bisa membaca, hingga mencapai perguruan tinggi, terimakasih atas segala ilmu dan nasihat yang telah diberikan;
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

**MOTTO**

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.” (QS. Al-Insyirah, 6-8)<sup>\*)</sup>



---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2006. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Surabaya: Duta Ilmu Surabaya.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anis Wardatus Sholiha

NIM : 151810201028

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**POLA HAMBURAN GELOMBANG MIKRO OLEH PROPERTI DIELEKTRIK HATI PADA MODE TMZ MENGGUNAKAN *METHOD OF MOMENT***” adalah benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 21 November 2019

Yang menyatakan,

Anis Wardatus Sholiha

NIM 151810201028

**SKRIPSI**

**POLA HAMBURAN GELOMBANG MIKRO OLEH  
PROPERTI DIELEKTRIK HATI MANUSIA PADA MODE  
TMz MENGGUNAKAN *METHOD of MOMENT***

Oleh

Anis Wardatus Sholiha

NIM 15181020128

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Agung T. Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pola Hamburan Gelombang Mikro Oleh Dielektrik Hati pada Mode TMz Menggunakan *Method of Moment*” karya Anis Wardatus Sholiha telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam, Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Agung T. Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D  
NIP. 196812191994021001

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si  
NIP. 197301152000031001

Anggota II,

Anggota III,

Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc. Ph.D.  
NIP. 196203111987021001

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si  
NIP. 198111112005012001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Pola Hamburan Gelombang Mikro Oleh Properti Dielektrik Hati Manusia Pada Mode TM<sub>z</sub> Menggunakan *Method of Moment***; Anis Wardatus Sholiha; 151810201028; 2019; 56 halaman; Jurusan Fisika Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Beberapa dekade ini, banyak sekali ditemukan segala jenis penyakit yang berbahaya, dari yang telah ditemukan maupun yang belum ditemukan obatnya. Salah satu dari jenis penyakit yang belum dapat ditemukan obatnya termasuk kanker. Salah satu jenis kanker adalah kanker hati, dimana kanker hati merupakan jenis kanker yang banyak memakan korban jiwa. Seiring perkembangan teknologi, telah ditemukan penelitian bahwa sifat dielektrik pada rentang frekuensi dapat mencerminkan informasi jaringan termasuk makromolekul biologis, vesikula, dan membran sel, informasi ini membantu dalam membedakan keadaan fisiologis dan lesi yang berbeda. Hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk memberikan pengetahuan dalam kemajuan bidang medis.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pola hamburan medan listrik jaringan hati pada beberapa frekuensi menggunakan metode MoM (*Method of Moment*). Solusi numerik dinyatakan dengan *magnitude* medan listrik total  $E_t$  (V/m) dan juga fase gelombang ( $\phi$ ). Tingkat akurasi dari solusi numerik ini dibandingkan dengan solusi analitik sebagai acuan keakuratan solusi numerik. Variasi frekuensi dan jumlah sel cacahan digunakan untuk mengetahui pengaruh terhadap nilai *magnitude* dan fase gelombang dan dianalisis dalam bentuk grafik dan citra 2D dalam sebuah *mesh*. Data penelitian ini dianalisis dengan dua analisis yaitu analisis kuantitatif berupa grafik nilai *magnitude* medan listrik total dan fase gelombang, dan analisis kualitatif berupa visualisasi nilai *magnitude* medan listrik dan fase gelombang dalam bentuk citra 2D.

Tingkat akurasi dari metode MoM ini ditentukan dengan grafik error relatif yang telah diperoleh, dimana grafik error relatif tersebut menunjukkan selisih dari solusi numerik dan solusi analitik. Hasil dari penelitian menunjukkan besar error relatif yang berada di bawah 2% untuk jumlah sel cacahan 300 cacahan pada frekuensi 2,45 GHz, hal tersebut dapat dikatakan akurat karena keakuratan sebuah metode MoM apabila error relatifnya di bawah 5%. Namun error relatif tersebut akan berbeda apabila jumlah sel dan frekuensinya berbeda pula. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya perbedaan konstanta dielektrik pada masing-masing jenis jaringan hati. Dari pernyataan tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin kecil error relatifnya, maka solusi tersebut dapat dikatakan akurat.



Perubahan frekuensi juga berpengaruh terhadap nilai *magnitude* medan listrik dan fase gelombang yang diperoleh. Apabila frekuensi semakin besar maka hamburannya akan semakin besar pula, sehingga pola naik turun baik pada kurva dan visualisasi pada citra 2D akan semakin banyak dan rapat. Begitu pula pada visualisasi *magnitude* dan fase gelombang, pola warna yang terbentuk akan berbeda. Visualisasi pada frekuensi 915 MHz memiliki pola seperti gelombang air yang mengelilingi objek pada masing-masing jenis jaringan hati, namun yang dapat membedakan masing-masing jaringan hati hanyalah ukurannya. Selain itu pola warna yang terbentuk cenderung berwarna biru muda, hal tersebut menunjukkan bahwa *magnitude* medan listrik pada frekuensi 915 MHz cukup besar. Sedangkan visualisasi pada frekuensi 2,45 GHz pola yang terbentuk berbeda dengan visualisasi pada frekuensi 915 MHz. Pola hamburan yang terbentuk pada frekuensi 2,45 GHz tampak seperti gelombang air di bagian depan dan sisi samping objek, cukup berbeda dengan pola hamburan pada frekuensi 915 MHz yang tampak seperti mengelilingi objek. Pola warna yang terbentuk pun cukup berbeda. Pada frekuensi 2,45 GHz, pola warna yang terbentuk menunjukkan warna biru tua, yang menunjukkan bahwa *magnitude* medan listriknya bernilai nol atau mendekati nol.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Swt. karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pola Hamburan Gelombang Mikro oleh Properti Dielektrik Hati pada Mode TMz Menggunakan *Method of Moment*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis mendapat bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Dr. Sutisna S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta pengetahuan dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Bapak Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc. Ph.D. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik serta saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan selaku Dosen penguji II yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Kedua orang tua tercinta dan segenap keluarga besar yang telah memberikan dorongan baik secara moril maupun materil;
5. Teman-teman saya: Ganesha Phi 15, TR, dan Mohammad Zahran Naufal Elphansa yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi serta dorongan kepada penulis;
6. Teman-teman HIMAFI yang telah memberikan banyak sekali pengalaman yang berharga.

Jember, 21 November 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN RINGKASAN</b> .....	viii
<b>HALAMAN PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	7
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	7
<b>1.4 Tujuan</b> .....	7
<b>1.5 Manfaat</b> .....	8
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
<b>2.1 Hati (<i>Liver</i>)</b> .....	9
<b>2.2 Gelombang Elektromagnetik</b> .....	12
<b>2.3 Hamburan Gelombang Elektromagnetik (<i>Wave Scattering</i>)</b> .....	14
<b>2.4 Solusi Matematik Hamburan Gelombang Bidang TMz</b> .....	14
<b>2.5 Solusi Analitik Hamburan Gelombang TMz</b> .....	19
2.5.1 Gelombang Normal .....	19
2.5.2 Sumber Aliran Listrik.....	20
<b>2.6 <i>Method of Moment</i> (MoM)</b> .....	21
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	23
<b>3.1 Rancangan Penelitian</b> .....	23

<b>3.2 Jenis dan Sumber Data</b> .....	24
<b>3.3 Definisi Operational Variabel dan Skala Pengukuran</b> .....	24
3.3.1 Variabel Bebas.....	24
3.3.2 Variabel Terikat.....	25
<b>3.4 Kerangka Pemecahan Masalah</b> .....	25
<b>3.5 Prosedur Penelitian</b> .....	26
3.5.1 Solusi Numerik Menggunakan Metode MoM.....	26
3.5.2 Perbandingan Antara Solusi Analitik dan Solusi Numerik.....	28
3.5.3 Pengaruh Perubahan Frekuensi dan Titik Observasi Terhadap <i>Magnitude</i> dan Fase.....	30
<b>3.6 Metode Analisis Data</b> .....	32
3.6.1 Perbandingan Antara Solusi Analitik dan Solusi Numerik.....	32
3.6.2 Pengaruh Frekuensi dan Titik Observasi Terhadap <i>Magnitude</i> dan Fase.....	35
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	36
<b>4.1 Perbandingan Solusi Analitik dan Solusi Numerik</b> .....	36
<b>4.2 Pengaruh Perubahan Frekuensi Terhadap <i>Magnitude</i> dan Fase         Gelombang</b> .....	38
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	52
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	52
<b>5.2 Saran</b> .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	54

**DAFTAR TABEL**

Halaman

2.1 Properti Dielektrik Sampel <i>In vivo</i> pada Beberapa Frekuensi .....	10
2.2 Properti Dielektrik Sampel <i>Ex vivo</i> pada Beberapa Frekuensi .....	11
3.1 Parameter Input yang Bersifat Konstan .....	29



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik.....	13
2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	13
2.3 Potongan Silinder Dielektrik Melintang Dimana Wilayahnya Dibagi Menjadi Sel-sel Persegi.....	15
2.4 Panjang Tak Terhingga Sumber Arus yang Diarahkan pada Arah z Ditempatkan Dekat Silinder Dielektrik Objek .....	20
3.1 Rancangan Penelitian.....	23
3.2 Kerangka Pemecahan Masalah .....	25
3.3 Gambaran Susunan Objek dalam Penelitian.....	27
3.4 Penampang Melintang Silinder pada Objek.....	28
3.5 Konfigurasi Titik Observasi pada Sudut Tertentu .....	30
3.6 Susunan <i>Meshi</i> Sebagai Visualisasi <i>Magnitude</i> dan Fase.....	32
3.7 Grafik Hubungan Antara Sudut Observasi dengan <i>Magnitude</i> .....	33
3.8 Grafik Hubungan Antara Sudut Observasi dengan Fase .....	34
4.1 Perbandingan Nilai <i>Magnitude</i> Antara Solusi Analitik dan Solusi Numerik Pada Frekuensi 2,45 GHz Pada Hati Normal <i>in-vivo</i> .....	36
4.2 Nilai <i>Error</i> Relatif <i>Magnitude</i> (V/m) dari Solusi Numerik dan Solusi Analitik dengan Frekuensi 2,45 GHz Pada Hati Normal <i>in-vivo</i> .....	37
4.3 Perbandingan Antara Sudut Observasi dan <i>Magnitude</i> Medan Listrik Dalam Frekuensi 9,15 MHz Pada Berbagai Jenis Jaringan Hati .....	39
4.4 Perbandingan Antara Sudut Observasi dan <i>Magnitude</i> Medan Listrik Dalam Frekuensi 2,45 MHz Pada Berbagai Jenis Jaringan .....	41
4.5 Perbandingan Antara Sudut Observasi dan Fase Medan Listrik Dalam Frekuensi 9,15 Mhz Pada Berbagai Jenis Jaringan Hati .....	43
4.6 Perbandingan Antara Sudut Observasi Dan Fase Medan Listrik Dalam Frekuensi 2,45 Ghz Pada Berbagai Jenis Jaringan Hati.....	45
4.7 Perubahan Medan Listrik Total (V/m) Berbagai Jenis Jaringan Hati Pada Masing-Masing Frekuensi.....	48
4.8 Medan listrik yang Terhambur Berbagai Jenis Jaringan Hati Pada Masing Masing Frekuensi.....	50



## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Spektroskopi dielektrik saat ini telah menjadi alat yang berguna untuk memberikan wawasan mengenai struktur dan komposisi jaringan biologis. Jaringan biologis merupakan sekumpulan sel atau ekstraseluler yang di dalamnya tersusun ion-ion bermuatan listrik, misalkan pada membran sel dan material intraselular. Kedua komposisi ini dapat mempengaruhi perbedaan dielektrik pada jaringan. sifat non-invasif dari teknik pengukuran yang tersedia memberikan kesempatan unik untuk mendeteksi perubahan fisiologis dan patologis dengan penanganan sampel minimum. Sekitar dua dekade terakhir ini, data dielektrik diperoleh dari jaringan yang normal dan sehat, data tersebut digunakan dalam simulasi numerik paparan objek terhadap medan elektromagnetik (EMF) Namun seiring perkembangan waktu, aplikasi medis EMF (*Electromagnetic Field*) dapat digunakan untuk menganalisis jaringan kanker. Oleh sebab itu kebutuhan untuk pengetahuan lanjutan dari sifat dielektrik jaringan dari keadaan patologis yang berbeda perlu diterapkan.

Banyak sekali ditemukan segala jenis penyakit yang berbahaya, dari yang telah ditemukan maupun yang belum ditemukan obatnya. Salah satu dari jenis penyakit yang belum dapat ditemukan obatnya adalah kanker. Kanker merupakan penyakit yang ditandai pembelahan sel tidak terkendali dan kemampuan sel-sel tersebut menyerang jaringan biologis lainnya, baik dengan pertumbuhan langsung di jaringan yang bersebelahan (invasi) atau dengan migrasi sel ke tempat yang jauh (metastasis) (Sunaryati, 2011). Salah satu jenis dari penyakit kanker ini adalah kanker hati atau *liver cancer*. Kanker hati merupakan salah satu dari jenis kanker yang juga banyak memakan korban jiwa. Berhubungan dengan hati yang merupakan organ tubuh yang sangat penting untuk menetralkan racun yang masuk ke dalam tubuh, menyebabkan kanker hati tergolong ke dalam jenis kanker beresiko tinggi.



Kanker diklasifikasikan dalam tiga tipe, yaitu *Intrahepatic cholangiocarcinoma* (ICC), HCC (*Hepatocellular Carcinoma*) dan kombinasi kedua klasifikasi tersebut (Tang, 2006). HCC (*Hepatocellular Carcinoma*), adalah merupakan bentuk utama dari kanker dan penyakit yang paling ganas. Lebih dari 50% kematian disebabkan oleh HCC ini, dalam jarak waktu satu tahun setelah didiagnosis (Altekruse *et al.*, 2009; Jemal *et al.*, 2012). Bukti telah menunjukkan HCC masih terus meningkat. Peningkatan ini telah diamati oleh PLC (*Programmable Logic Controller*) untuk beberapa populasi, di antaranya : Eropa, Amerika, Inggris, Prancis, Jerman, Italia, Kanada, Colombia, dan lainnya (Zhang, 2015).

Peningkatan terbesar menurut DALY (*Disability Adjusted Life Year*), terjadi pada kanker pankreas dan hati pada tahun 1990 dan 2010 (Murray, 2013). Di antara orang dewasa US, 22720 laki laki dan 7920 wanita didiagnosa dengan kanker hati, yang mana masih terus meningkat (Siegel, 2013). Penyebaran kanker *liver* telah terjadi di 22 negara dengan Afrika barat dan Asia selatan sebagai tempat paling beresiko terkena penyakit kanker hati (Bray, 2012). Tercatat 25% kanker yang cepat menyebar (kanker hati, perut, dan serviks) terjadi di Sub-sahara Afrika, sementara 27% kasus tersebut terlihat di Asia Selatan, dan kejadian kanker hati di Benua Asia meningkat hampir 2 kali lipat (Soerjomataram, 2012). Peristiwa ini tercatat sejak tahun 1973 hingga 2007 menunjukkan 19 dari 26.7 per 100,000 laki-laki dan 4.8 dari 8.7 per 100,000 wanita populasi di Asia terkena kanker hati.

Menurut Departemen Kesehatan melalui Data Globocan yang diakses melalui data Irawan (2019), menyebutkan bahwa di tahun 2018 terdapat 18,1 juta kasus baru dengan angka kematian sebesar 9,6 juta kematian, dimana angka kejadian penyakit kanker di Indonesia (136.2/100.000 penduduk) berada pada urutan 8 di Asia Tenggara, sedangkan di Asia urutan ke 23. Angka kejadian tertinggi di Indonesia untuk laki laki adalah kanker paru yaitu sebesar 19,4 per 100.000 penduduk dengan rata-rata kematian 10,9 per 100.000 penduduk, yang diikuti dengan kanker hati sebesar 12,4 per 100.000 penduduk dengan rata-rata kematian 7,6 per 100.000 penduduk. Sedangkan angka kejadian untuk perempuan yang tertinggi adalah kanker payudara yaitu sebesar 42,1 per 100.000 penduduk dengan

rata-rata kematian 17 per 100.000 penduduk yang diikuti kanker leher rahim sebesar 23,4 per 100.000 penduduk dengan rata-rata kematian 13,9 per 100.000 penduduk.

Tingkat kelangsungan hidup per 5 tahun berfungsi untuk memberi tahu berapa persen harapan hidup setidaknya lima tahun setelah kanker ditemukan. Persentase tingkat kelangsungan hidup ini umumnya adalah 18% per 5 tahun. Tingkat kelangsungan hidup bergantung pada beberapa faktor, termasuk tahap penyakit. Untuk 43% orang yang didiagnosis pada tahap awal, tingkat kelangsungan hidupnya adalah 31% per 5 tahun. Jika kanker hati telah menyebar ke jaringan atau organ di sekitarnya dan / atau kelenjar getah bening regional, tingkat kelangsungan hidupnya adalah 11% per 5 tahun. Jika kanker telah menyebar ke bagian tubuh yang jauh, tingkat kelangsungan hidupnya adalah 3% per 5 tahun. Namun, jika kanker ditemukan pada stadium yang lebih lanjut, maka perawatan yang tersedia membantu banyak orang dengan kanker hati mengalami kualitas hidup yang mirip dengan sebelum diagnosis mereka, setidaknya untuk beberapa waktu. Sehingga penting untuk diingat bahwa statistik tentang tingkat kelangsungan hidup untuk orang dengan kanker hati adalah perkiraan. Namun harapan hidup tersebut masih bisa diperbesar dengan mendeteksi kanker sedini mungkin, salah satunya dengan memanfaatkan sifat dielektrik dari objek yang akan dianalisis, salah satunya adalah sifat dielektrik hati.

Sifat dielektrik hati manusia umumnya ditentukan oleh karakterisasi penyerapan jaringan dan kopling energi elektromagnetik di medan elektromagnetik. Dalam penelitian ini sifat-sifat dielektrik *in vivo* dari karsinoma hepatoseluler manusia (yang baik dan yang cukup dibedakan) disimulasikan dan jaringan hati normal diukur dan dianalisis selama rentang frekuensi 915 MHz dan 2,45 GHz untuk mendapatkan indikator sensitif dan fitur yang membedakan dari jaringan ini oleh sifat dielektriknya. Sifat dielektrik pada rentang frekuensi dapat mencerminkan informasi jaringan termasuk makromolekul biologis, vesikula, dan membran sel, informasi ini membantu dalam membedakan keadaan fisiologis dan lesi yang berbeda (Hang wang, 2007).

Beberapa peneliti telah melaporkan sifat dielektrik pada sel mikro jaringan hati normal pada spesies yang berbeda termasuk manusia. Beberapa dari studi tersebut juga melaporkan sifat dielektrik dari karsinoma hati manusia. Namun, data tumor hati yang telah dilaporkan oleh Joines (1994), hanya mencakup hingga 900 MHz dan terbatas pada satu pasien. Stauffer (2003) melaporkan nilai dari dua tumor hati primer dan metastasis pada 915 MHz dan mengamati tren berlawanan untuk properti dielektrik jaringan tumor dan massa putihnya dibandingkan dengan jaringan normal.

Kemudian Zoughi *et al* (1992), berpikir bahwa Studi tentang sifat hamburan gelombang mikro dari dielektrik silinder rusak yang pernah dibandingkan dengan sifat dielektrik yang tidak efektif, dapat memberikan informasi tentang deteksi dan karakterisasi cacat. Mereka berpikir mungkin saja dengan mempelajari sifat hamburan benda-benda tersebut untuk mencapai seperangkat parameter deteksi optimal seperti frekuensi dan polarisasi. Mereka akhirnya melakukan banyak pendekatan, berkisar dari perkiraan silinder oleh elipsoid hingga menggunakan *Method of Moment* (MoM) untuk menyelesaikan integral medan listrik yang diperoleh dengan menggunakan berbagai skema.

Selanjutnya O'rourke (2007), juga melakukan pengukuran dielektrik yang komprehensif pada beberapa jaringan hati manusia normal dan ganas yang mencakup rentang frekuensi yang luas (0,05-20 GHz). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan secara statistik pada sifat dielektrik jaringan hati normal dan hati luka *ex vivo*, serta jaringan hati normal *in vivo* dan *ex vivo* pada frekuensi 915 MHz dan 2,45 GHz. Perbedaan ini perlu diperhitungkan dalam model elektromagnetik dan termal untuk *Microwave Ablation* (MWA) hati, dan harus memungkinkan untuk model antena yang dimanfaatkan.

Hang Wang *et al.* (2014) juga melakukan penelitian mengenai sifat dielektrik pada berbagai jenis jaringan hati pada frekuensi berkisar antara 10 Hz – 100 MHz, yang menghasilkan kesimpulan bahwa sifat dielektrik secara efektif dapat membedakan jaringan dari HCC, fibrosis hati, hemangioma hati, dan hati normal; hasilnya bisa berfungsi sebagai dasar untuk studi masa depan. Data yang diperoleh

dapat berkontribusi untuk mengembangkan aplikasi bioelektrik untuk diagnostik jaringan dan perawatan hati menggunakan medan listrik. Sampel klinis tambahan dapat dikumpulkan dalam studi masa depan untuk membagi jenis jaringan dan secara komprehensif membandingkan sifat dielektrik dari berbagai jaringan hati manusia.

Transformasi dalam hamburan pada benda mikro, tidak lepas dari peran gelombang TM (*Transverse Magnetic*) dan TE (*Transverse Electric*). Dimana dalam transformasi hamburan ini memiliki kesamaan dalam metode hamburannya. Medan terhambur dari metode *scattering* ini terjadi pada gelombang elektromagnetik dimana medan terhambur di dalam dan di permukaan objek adalah nol atau tidak ada medan terhambur. Untuk hal ini difokuskan pada metode hamburan menggunakan *Transverse Magnetic*, dimana nilai medan magnetnya bernilai nol atau tidak ada. Proses hamburan terjadi dikarenakan adanya gelombang elektromagnetik yang ditembakkan pada suatu objek, sehingga terjadi proses penyebaran gelombang ke segala arah. Penyebaran ini membentuk pola hamburan yang berbeda pada setiap objek. Perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan permeabilitas objek yang diamati.

Hamburan pada gelombang elektromagnetik ini terjadi karena adanya gelombang datang yang menyinari objek, sehingga dielektrik objek akan mengalami hamburan pada objek itu sendiri dan juga sekitar objek. Hamburan ini akan diamati dari titik observasi tertentu, sehingga dapat mengetahui pola-pola hamburan yang terbentuk. Pola hamburan dari masing-masing objek juga memiliki perbedaan, perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik dari objek. Objek yang diamati merupakan berbagai jenis jaringan hati, yaitu jaringan hati *normal*, jaringan hati *maglinant*, dan jaringan hati *chirrosis*.

Hamburan dari benda-benda dielektrik pada umumnya dan dielektrik silinder khususnya juga dapat digunakan untuk menganalisis sifat dielektrik. Berbagai pendekatan ini berupa pendekatan dari sebuah silinder oleh ellipsoid untuk menggunakan *Method of Moment* (MoM) untuk mengindikasikan integral medan listrik yang diturunkan menggunakan berbagai skema. Pada pendekatan ini, mereka telah mempertimbangkan baik sebagai silinder tak terbatas Gelombang TE, atau silinder

dengan jari-jari jauh lebih kecil daripada panjang gelombang. Pendekatan yang sama digunakan di sini untuk mempelajari berbagai efek jenis cacat pada silinder dielektrik (Zhougi, 1992).

Hasil dari penelitian ini cukup menjanjikan untuk menggunakan hamburan sifat-sifat silinder dielektrik untuk deteksi cacat dan karakterisasi. Di antara parameter yang dapat menunjukkan adanya sebuah kecacatan adalah yang pertama hamburan tingkat penampang (terutama pada normal kejadian), pola hamburan sebagai fungsi dari sudut timbulnya, dan frekuensi. Yang terakhir ini cukup penting karena memungkinkan karakterisasi suatu cacat. Penting untuk memperluas penelitian ini ke frekuensi gelombang mikro yang lebih tinggi. Untuk melakukannya, ukuran matriks impedansi (solusi MoM) harus dibuat lebih kecil. Cara yang paling efisien untuk mencapai ini adalah dengan membuat matriks ini simetris. Ini akan memungkinkan tidak hanya ekstensi ke frekuensi yang lebih tinggi, tetapi juga menyediakan studi tentang silinder yang jauh lebih besar.

Teknik yang dapat digunakan merupakan teknik analitik MoM. Metode ini merupakan suatu metode yang digunakan untuk memperoleh suatu estimator untuk parameter  $\theta$  dengan menggunakan persamaan integral. MoM ini selanjutnya akan diimplementasikan pada silinder untuk mensimulasikan hamburan yang terjadi dari objek pada silinder dengan berbagai macam metode yang diketahui dapat digunakan untuk memecahkan masalah hamburan oleh gelombang elektromagnetik. Sehingga dapat mempermudah pada saat mensimulasikan perubahan hamburan yang terjadi pada saat proses analisis dilakukan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi pola hamburan dari medan terhambur yang diamati dengan pendekatan MoM. Pola hamburan tersebut nantinya akan dihitung properti dielektriknya yang kemudian digunakan untuk menentukan pola hamburannya. Hasil dari penelitian ini nantinya akan berupa simulasi hamburan gelombang mikro untuk mengetahui perbedaan medan magnet terhambur dari berbagai jenis hati.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada saat terjadi hamburan medan yang diakibatkan oleh adanya medan listrik datang menyinari objek maka medan listrik akan terhambur karena properti dielektrik objek. Pola hamburan ini akan diamati dan selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan pendekatan MoM. Maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana karakteristik medan listrik terhambur berbagai macam jenis jaringan hati yaitu hati *normal*, hati *maglinant*, dan hati *chirrosis* menurut O'raurke (2007) ?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada kajian aspek utama guna untuk mempermudah penelitian, di antaranya:

1. Aspek uji yang menyebabkan terjadinya perubahan hamburan, di antaranya adalah dielektrik objek, amplitudo pada beberapa frekuensi.
2. Metode yang digunakan dalam pendekatan numerik adalah metode pendekatan MoM (*Method of Moment*), yang mana metode tersebut diaplikasikan pada peristiwa hamburan gelombang mikro gelombang listrik dan digunakan untuk mensimulasi proses terjadinya hamburan pada silinder.
3. Keakuratan pada kedua pendekatan ditentukan oleh *error* relatif yang didapatkan melalui besar *magnitude* dari medan listrik total.
4. Perubahan parameter yang akan diukur yaitu *magnitude* dan fase diamati berdasarkan nilai kuantitatif dan juga pola-pola visual yang terbentuk.

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan pada rumusan masalah yang telah diketahui, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakterisasi medan listrik total yang terhambur oleh properti dielektrik pada berbagai macam jenis jaringan hati yaitu hati sehat, hati ganas, dan jaringan hati sirosis terhadap perubahan frekuensi menurut O'raurke (2007).

### 1.5 Manfaat

Penelitian diharapkan mampu menjadi dasar inovasi atau perkembangan baru dalam bidang medis, untuk menganalisis adanya penyakit kanker dengan menggunakan metode matematis. Metode yang digunakan merupakan metode yang dapat dengan cepat menganalisis adanya perubahan hamburan sehingga diharapkan mampu mempermudah pihak medis dalam mendiagnosis objek.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka meliputi beberapa tinjauan terhadap teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang diangkat dalam penelitian. Tinjauan pustaka diawali dengan penjelasan mengenai hati itu sendiri dan dilanjutkan dengan penjelasan mengenai beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dan dilanjutkan dengan penjelasan mengenai objek yang menjadi fokus penelitian. Selanjutnya penjelasan mengenai gelombang elektromagnetik, solusi analitik dari TMz dan yang terakhir, adalah penjelasan mengenai *Method of moment* (MoM).

### 2.1 Hati (*Liver*)

Hati atau dalam bahasa Yunani disebut *hēpar* ini merupakan organ viseral terbesar yang terletak di bawah kerangka iga, dan juga kelenjar terbesar dalam tubuh dengan berat kurang lebih 1,5 kg (Sloane, 2004). Menurut Guyton *et al* (2008), fungsi hati adalah untuk metabolisme karbohidrat, metabolisme lemak, metabolisme protein, dan juga tempat penyimpanan vitamin. Hati pada umumnya berfungsi sebagai penetralisir racun yang terdapat dalam tubuh, namun selain itu hati juga berfungsi sebagai organ ekskresi. Hal tersebut dikarenakan hati membantu fungsi kerja organ ginjal dengan memecah senyawa yang bersifat racun atau yang biasa disebut dengan detoksifikasi.

Kanker hati adalah penyebab kematian paling umum dengan peringkat ketiga, yang diakibatkan kanker di seluruh dunia. *Hepatocellular carcinoma* (HCC) merupakan kanker umum yang biasanya terjadi dalam sistem hati sirosis dan infeksi virus hepatitis kronis. Kurangnya gejala patologis yang khas menyebabkan keterlambatan yang signifikan dalam diagnosis HCC; ini sering menghasilkan prognosis yang buruk, dengan kelangsungan hidup rata-rata beberapa bulan. Meskipun ada kemajuan dalam diagnosis dini, pilihan pengobatan terbatas, dan reseksi hati dan transplantasi hati adalah pengobatan kuratif utama (Bosch, 2004).



Dalam beberapa tahun terakhir teknik alternatif telah dikembangkan, seperti ablasi oleh frekuensi radio, kemoembolisasi, radioembolisasi, kemoterapi magnetik dan *cryo-ablation*, untuk pengobatan lokal dari tumor hati. Khususnya dengan menggunakan teknik baru *Microwave Ablation* (MWA) hasil yang baik telah diperoleh. Teknik MWA ini terdiri dari penyisipan antena gelombang mikro yang disesuaikan dengan frekuensi, menyebabkan nekrosis pembekuan tumor (Facciorusso, 2016).

Keuntungan potensial dari teknologi gelombang mikro termasuk produksi yang konsisten dari suhu *intra-tumoral* yang tinggi, waktu ablasi yang cepat, volume ablasi tumor yang besar dan penggunaan beberapa antena; juga tidak memerlukan penggunaan landasan pembedahan, yang mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk persiapan pasien (Wright, 2003). Pengetahuan tentang sifat dielektrik hati, ketika mengalami gangguan elektromagnetik dalam rentang frekuensi gelombang mikro, dapat membuka perspektif baru untuk pengembangan lebih lanjut dari teknik MWA.

Jaringan hati memiliki Karakteristik yang berbeda-beda pada setiap jenisnya menurut O'raurke, *et al.* Hal tersebut juga menyebabkan parameter karakteristiknya juga memiliki perbedaan. Tabel 2.1 dan 2.2 merupakan tabel properti dielektrik sampel *in-vivo* pada beberapa frekuensi,

Tabel 2.1 *Dielectric Properties* Sampel *in-vivo* Pada Beberapa Frekuensi

	Normal ( $n = 11$ )		Maglinant ( $n = 14$ )		Chirrosis ( $n = 3$ )	
	$\epsilon_r$	$\sigma (S m^{-1})$	$\epsilon_r$	$\sigma (S m^{-1})$	$\epsilon_r$	$\sigma (S m^{-1})$
915 MHz	59,94*	1,16* <sup>∞</sup>	64,09	1,34* <sup>∞</sup>	61,77	1,38
2,45 GHz	57,55*	1,95*	62,44	2,18	61,26	2,21

$n$  merupakan nomor data sampel

Tabel 2.2 *Dielectric Properties* Sampel *ex vivo* Pada Beberapa Frekuensi

	Normal ( $n = 20$ )		Maglinant ( $n = 24$ )		Chirrosis ( $n = 3$ )	
	$\epsilon_r$	$\sigma$ ( $S m^{-1}$ )	$\epsilon_r$	$\sigma$ ( $S m^{-1}$ )	$\epsilon_r$	$\sigma$ ( $S m^{-1}$ )
915 MHz	48,11* <sup>∴</sup>	0,81* <sup>∴</sup>	57,09 <sup>∴</sup>	1,05* <sup>∴</sup>	51,60	1,38
2,45 GHz	45,79* <sup>∴</sup>	1,68* <sup>∴</sup>	54,88 <sup>∴</sup>	1,99 <sup>∴</sup>	50,16	1,83

$n$  merupakan nomor data sampel ,

\*  $p < 0,05$  dalam perbandingan sifat jaringan *in vivo* dan *ex vivo* pada frekuensi yang sama.

∴  $p < 0,05$  dalam perbandingan sifat jaringan normal dan ganas pada frekuensi yang sama.

Sumber : O'Rourke (2007)

Menurut O'raurke (2007), Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 merangkum sifat dielektrik *in vivo* dan *ex vivo* jaringan hati yang normal, ganas dan jaringan hati manusia sirosis masing-masing pada 915 MHz dan 2,45 GHz. Nilai rata-rata dan standar deviasi untuk kedua relativitas relatif dan konduktivitas efektif dihitung untuk lima pasien untuk jaringan *in vivo* (tabel 2.1), dan untuk empat pasien untuk jaringan *ex vivo* (tabel 2.2). Selain itu, nilai  $p$  ditunjukkan untuk perbandingan sifat *in vivo* dan *ex vivo* serta untuk sifat jaringan *normal* dan *maglinant*, pada frekuensi yang sama

Data pada tabel di atas selanjutnya disubstitusikan dalam persamaan *Cole-Cole Model*. Model Cole–Cole ini umumnya digunakan sebagai representasi kompak berbasis fisika dari sifat dielektrik bergantung frekuensi pita lebar (Gabriel, 1996). Fungsi pemasangan MATLAB yang melakukan optimasi pencarian langsung Nelder-Mead digunakan agar sesuai dengan model Cole-Cole kutub tunggal berikut :

$$\hat{\epsilon}(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{\Delta\epsilon}{1+(j\omega\tau)^{(1-\alpha)}} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} \quad (2.1)$$

Dengan  $\tau$  adalah waktu relaksasi,  $\sigma$  adalah konduktivitas,  $\epsilon_{\infty}$  sebagai bilangan real dan nilai tersebut bergantung pada kondisi air dalam jaringan, dan  $\Delta\epsilon$  merupakan kekuatan dielektrik.

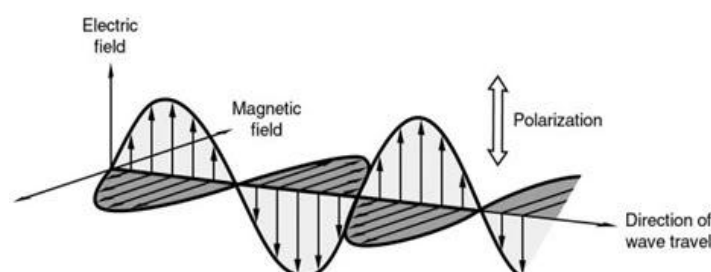
Dalam model ini,  $\varepsilon_{\infty}$ ,  $\Delta\varepsilon$ ,  $\tau$ , dan  $\sigma$  merupakan parameter variabel yang dipilih agar sesuai dengan data eksperimen. Untuk mendapatkan kesesuaian atau konsistensi dengan data eksperimen oleh hati yang dilakukan oleh Gabriel (1996), maka  $\alpha$  ditetapkan sebagai parameter empiris yang menjelaskan distribusi luas konstanta waktu relaksasi dalam jaringan, menjadi 0,1.

## 2.2 Gelombang Elektromagnetik

Menurut Glaser (1992), gelombang elektromagnetik merupakan gelombang medan listrik dan medan magnet yang berosilasi dan dapat merambat melalui ruang vakum dengan kecepatan cahaya. Gelombang elektromagnetik memiliki kuat medan listrik dan medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu secara periodik. Medan listrik ( $\vec{E}$ ) dan medan magnet ( $\vec{B}$ ) merupakan besaran vektor yang berosilasi pada fase yang sama namun arah osilasinya berbeda. Dalam fase yang sama, pada keadaan medan magnet ( $\vec{B}$ ) berada pada titik maksimum, maka medan listrik ( $\vec{E}$ ) juga akan bernilai maksimum, namun kedua medan tersebut bergerak dalam arah yang tegak lurus (Sears and Zemansky, 2003).

Anthony (2015) menyebutkan beberapa sifat dari gelombang elektromagnetik, antara lain:

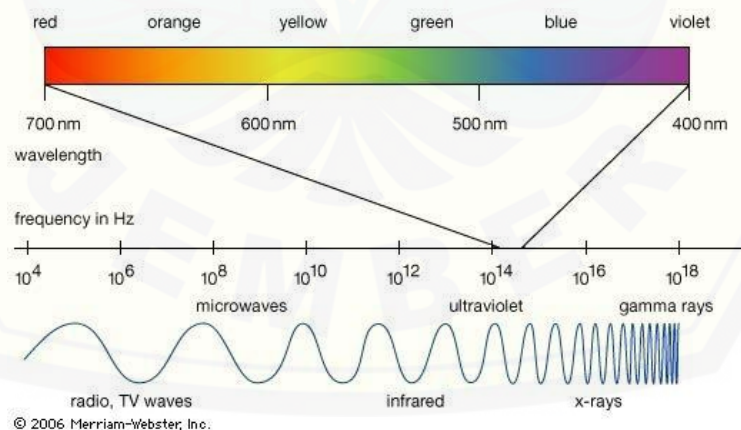
- Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang tanpa medium.
- Arah medan magnet dan medan listrik adalah saling tegak lurus, sedangkan arah rambat gelombang tegak lurus terhadap arah dua medan tersebut.
- Medan magnet dan medan listrik mengalami perubahan nilai maksimum dan minimum pada saat yang sama, dan tempat yang sama.
- Gelombang elektromagnetik dapat mengalami peristiwa pemantulan, pembiasan, difraksi dan juga hamburan.



Gambar 2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik  
(Sears and Zemansky, 2003)

Gambar 2.1 tersebut menjelaskan bahwa arah medan magnet saling tegak lurus terhadap arah medan listrik. Sedangkan arah rambat gelombang saling tegak lurus terhadap kedua medan magnet tersebut. Sehingga gelombang elektromagnetik tersebut termasuk gelombang transversal (Sears and Zemansky, 2003)

Spektrum merupakan rentangan frekuensi suatu gelombang radiasi. Setiap gelombang memiliki spektrum yang berbeda, hal tersebut dikarenakan frekuensi pada gelombang yang berbeda. Perbedaan spektrum gelombang ini biasanya terlihat dari warna masing-masing bagian spektrum ditinjau dari frekuensinya. Beberapa spektrum gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut : gelombang radio, gelombang TV, gelombang mikro, sinar infra merah, cahaya atau sinar tampak, sinar ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma (Sutrisno,1979).



Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik  
(Sutrisno,1979)

### 2.3 Hamburan Gelombang Elektromagnetik (*Wave Scattering*)

Gelombang Elektromagnetik mempunyai beberapa mekanisme perambatan, salah satu yang menjadi banyak fokus dalam penelitian adalah *scattering*

(hamburan). Salah satu penelitian mengenai *scattering* ini dilakukan oleh Zhougi, *et al.*, (1992), yang mempelajari sifat-sifat hamburan untuk suatu dielektrik disk segi empat dengan rusuk tengah, dan interaksi antara dua plat tipis dan silinder dielektrik yang terbatas oleh beberapa refleksi pada masing-masing plat. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa pendekatan di antaranya adalah pendekatan sebuah silinder ellipsoid menggunakan *Method of Moment* (MoM).

Hamburan dari benda-benda dielektrik dan khususnya pada dielektrik silinder, juga dapat digunakan untuk menganalisis sifat dielektrik. Hamburan pada gelombang elektromagnetik tersebut terjadi karena adanya gelombang datang yang menyinari objek, sehingga objek mengalami hamburan pada objek itu sendiri dan juga sekitar objek. Hamburan ini akan diamati dari titik observasi tertentu, sehingga dapat mengetahui pola pola hamburan yang terbentuk. Pola hamburan dari masing-masing objek juga memiliki perbedaan. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik dari objek.

#### 2.4 Solusi Matematik Hamburan Gelombang Bidang TMz

Persamaan integral volume dapat digunakan untuk menganalisis sebuah silinder dielektrik yang tidak homogen yang ditandai dengan permitivitas relatif kompleks  $\epsilon_r(x, y)$ . Komponen medan yang tereksitasi oleh gelombang TM biasanya terjadi adalah medan listrik yang bergerak ke arah z ( $E_z$ ) dan medan magnet ( $H_x$ , dan  $H_y$ ). Mengikuti prinsip persamaan volume yang ekuivalen, sebuah material dielektrik dapat digantikan dengan arus polarisasi yang memancar di ruang bebas (Persamaan diambil dari sumber Peterson *et al*, 1998)

$$\bar{j}(x, y) = \hat{z}j\omega\epsilon_0[\epsilon_r(x, y) - 1]E_z(x, y) \quad (2.2)$$

Dimana  $\bar{j}$  merupakan fungsi rapat arus,  $\epsilon_0$  merupakan permitivitas ruang vakum,  $\epsilon_r$  merupakan permitivitas relatif,  $E_z$  adalah medan listrik.

Untuk polarisasi gelombang TM, persamaan medan listrik datangnya adalah berikut,

$$\bar{E}^{inc}(\bar{r}) = \bar{E}(\bar{r}) + jk\eta\bar{A} + \nabla\phi e \quad (2.3)$$

Dimana  $\bar{E}^{inc}$  merupakan medan listrik datang,  $k$  merupakan bilangan gelombang,  $\eta$  impedansi ruang vakum. Persamaan (2.3) dapat dispesialisasikan menjadi,

$$E_z^{inc}(x, y) = \frac{j}{j\omega\epsilon_0(\epsilon_r - 1)} + j\omega\mu_0 A_z \quad \text{dan} \quad (2.4)$$

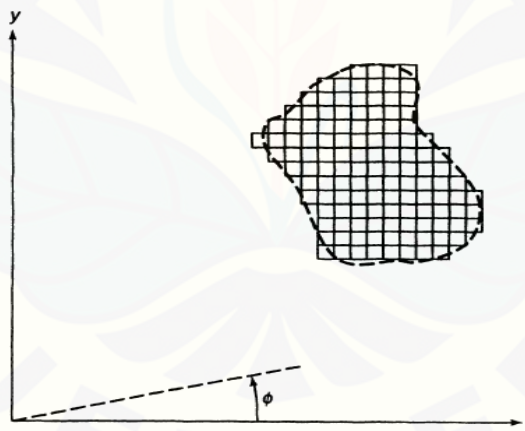
Dimana  $\epsilon_r$  merupakan permittivitas relatif,  $\mu_0$  merupakan permeabilitas ruang vakum.  $A_z$  dapat diketahui dari persamaan,

$$A_z(x, y) = \iint J_z(x', y') \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(KR) dx' dy' \quad (2.5)$$

Dengan  $J_z$  merupakan rapat arus permukaan terinduksi,  $H_0^{(2)}$  adalah fungsi hankel jenis kedua orde ke- $n$  dan  $R$  didapatkan dari persamaan,

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (2.6)$$

Bentuk persamaan (2.4) sedikit berbeda dari persamaan (2.3), kita dapat memilih  $J_z$  yang dicari utama, sebagai ganti  $E_z$



Gambar 2.3 Potongan silinder dielektrik melintang dimana wilayahnya dibagi menjadi sel-sel persegi (Sumber : Peterson,1998)

Potongan silinder melintang yang wilayahnya dibagi menjadi sel-sel persegi Gambar 2.3 di atas. Jika kerapatan arus polarisasi yang tidak diketahui didekati oleh superposisi dari *pulse basis function*, maka dalam ruang dua dimensi didefinisikan sebagai berikut :

$$p_n(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{jika } (x, y) \in \text{sel } n \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases} \quad (2.7)$$

Densitas arus dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$J_z(x, y) \cong \sum_{n=1}^N j_n p_n(x, y) \quad (2.8)$$

Persamaan (2.3) dapat dijabarkan menjadi,

$$E_z^{inc}(x, y) \cong \sum_{n=1}^N j_n \left( \frac{\eta p_n(x, y)}{jk[\epsilon_r(x, y) - 1]} + jk\eta \iint_{\text{cell } n} \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(kR) dx' dy' \right) \quad (2.9)$$

Dimana  $E_z^{inc}$  merupakan medan listrik datang,  $p_n$  adalah rapat arus polarisasi, dan  $\eta$  merupakan impedansi intrik ruang vakum.

Persamaan (2.9) dimasukkan pada masing-masing pusat sel N, sehingga menghasilkan matriks sistem  $N \times N$ .

$$\begin{bmatrix} E_z^{inc}(x_1 y_1) \\ E_z^{inc}(x_2 y_2) \\ \dots \\ E_z^{inc}(x_N y_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{2N} \\ \dots & \dots & \dots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_1 \\ j_2 \\ \dots \\ j_N \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dimana yang dimasukkan persamaan matriks (2.10) tersebut adalah persamaan sebagai berikut,

$$Z_{mn} = \frac{k\eta}{4} \iint_{\text{sel } n} H_0^{(2)}(kR_m) dx' dy' \quad m \neq n \quad (2.11)$$

dan

$$Z_{mm} = \frac{\eta}{jk(\epsilon_{rm} - 1)} + \frac{k\eta}{4} \iint_{\text{sel } m} H_0^{(2)}(kR_m) dx' dy' \quad (2.12)$$

dimana

$$R = \sqrt{(x_m - x')^2 + (y_m - y')^2} \quad (2.13)$$

$Z_{mn}$  dan  $Z_{mm}$  merupakan impedansi intrinsik sel,  $\epsilon_{rm}$  dalam persamaan (2.12) merupakan rata-rata permittivitas relative kompleks dalam sel ke- $n$  dengan bentuk silinder.

Umumnya, integral dalam persamaan (2.11) dan (2.12) harusnya dievaluasi dengan bentuk numerik. Namun dapat juga dievaluasi secara analitik jika bentuk objek mendekati lingkaran dari area yang sama. Area yang sama dalam referensi menggunakan

$$\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\rho'=0}^a H_0^{(2)} kR \rho' d\rho' d\phi' \quad (2.14)$$

$$= \begin{cases} \frac{2\pi a}{k} J_0(k\rho) H_1^{(2)}(ka) - \frac{j4}{k^2} & \rho < a \\ \frac{2\pi a}{k} J_1(ka) H_0^{(2)}(k\rho) & \rho > a \end{cases}$$

Dimana  $(\rho, \phi)$  mewakili koordinat silinder konvensional,  $a$  menunjukkan jari-jari lingkaran ekuivalen,  $J_0$  dan  $J_1$  adalah fungsi Bessel dari urutan nol dan satu. Dan  $H_1$  adalah fungsi Hankel dari orde pertama. Apabila menggunakan pendekatan sel melingkar kita mendapatkan,

$$Z_{mn} = \frac{\eta\pi a_n}{2} J_1(ka_n) H_0^{(2)}(kR_{mn}) \quad m \neq n \quad (2.15)$$

dimana,

$$R_{mn} = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \quad (2.16)$$

untuk entri yang bukan diagonal, dan untuk entri diagonal,

$$Z_{mm} = \frac{\eta\pi a_m}{2} H_1^{(2)}(ka_m) - \frac{j\eta\epsilon_{rm}}{k(\epsilon_{rm} - 1)} \quad (2.17)$$

Dengan  $a_m$  merupakan jari-jari lingkaran, dan  $H_1^{(2)}$  adalah fungsi Hankel jenis kedua orde ke-1. Menggunakan  $J_z$  sebagai faktor utama yang tidak diketahui pengganti  $E_z$ ,  $\epsilon_{rm}$  hanya muncul pada entri matriks diagonal.

Solusi persamaan matriks pada persamaan (2.10) menghasilkan koefisien kerapatan arus ( $j_n$ ). Setelah koefisien ini diperoleh, jumlah lain seperti penampang



hamburan dapat dihitung. Untuk mendapatkan penampang hamburan, digunakan persamaan,

$$\sigma_{TM}(\phi) \cong \frac{k\eta^2}{4} \left| \sum_{n=1}^N j_n \frac{2\pi a_n}{k} J_1(ka_n) e^{jk(x_n \cos\phi + y_n \sin\phi)} \right|^2 \quad (2.18)$$

asumsikan kami menggunakan persamaan (2.14), maka data model silinder yang berkurang ke pusat fase  $(x_n, y_n)$ , radius yang setara  $(a_n)$ , rata-rata permittivitas kompleks relatif  $(\epsilon_{rn})$  untuk setiap sel dalam bentuk. Sehingga persamaan ini dapat dikatakan lebih mudah dari pembahasan dalam peterson *et al* sebelumnya.

Sumber utama *error* yang terkait dengan prosedur di atas termasuk perkiraan arus polarisasi dengan fungsi basis pulsa (*error* diskritisasi), asumsi implisit bahwa  $\epsilon_r(x, y)$  dapat secara akurat dimodelkan sebagai sel yang konstan, dan penggantian geometri silinder asli dengan superposisi sel yang kira-kira berbentuk bundar (*error* pemodelan), seperti dalam contoh sebelumnya dari bab ini. Setiap sel dalam model, panjang gelombangnya harus relatif kecil di ruang bebas, namun untuk contoh ini sel-sel juga harus kecil dalam hal panjang gelombang dalam medium dielektrik. Jika  $\lambda_0$  merupakan panjang gelombang di ruang bebas, panjang gelombang dalam bahan dielektrik dapat ditentukan dengan,

$$\lambda_d = \frac{1}{\sqrt{|\epsilon_r|}} \lambda_0 \quad (2.19)$$

Sesuai dengan "aturan praktis" yang biasa digunakan, luas penampang yang kami sarankan minimal  $100 \text{ sel}/\lambda_d^2$ .

Karena kondisi batas yang terkandung dalam persamaan integral ditegakkan hanya pada titik pencocokan N, salah satu cara mempelajari keakuratan adalah dengan menghitung medan listrik pada titik-titik lain dalam silinder. Kondisi batas diwujudkan dalam hubungan,

$$E_z^{inc} = E_z - E_z^s \quad (2.20)$$

Namun, jumlah deviasi menunjukkan keakuratan keseluruhan, dan harus menyediakan panduan yang berguna untuk membantu pengguna yang berpengalaman dalam memperkirakan keakuratan hasil numerik yang diberikan.

## 2.5 Solusi Analitik Hamburan Gelombang TMz

Menguji solusi analitik hamburan dapat diketahui dengan menggunakan dua persamaan medan listrik datang yang berbeda yaitu, gelombang bidang seragam yang dinormalisasi dan bidang oleh sumber garis.

### 2.5.1 Gelombang Normal

Medan listrik datang dalam bentuk gelombang bidang dinormalisasi dapat ditulis sebagai berikut,

$$\hat{a}_z E_0 e^{jk_0(x \cos \Phi_i + y \sin \Phi_i)} \quad (2.21)$$

Selanjutnya, gelombang akan bergerak dalam arah  $+x$  dan  $-x$ , sehingga persamaan masing- masing ditulis sebagai,

$$E_z^+ = \hat{a}_z E_0 e^{-jk_0 x} \text{ dan } E_z^- = \hat{a}_z E_0 e^{+jk_0 x} \quad (2.22)$$

Dimana  $E_0$  merupakan amplitudo medan listrik, dan  $k$  merupakan bilangan gelombang. Persamaan (2.22) tersebut, selanjutnya diekspresikan dalam fungsi gelombang silinder,

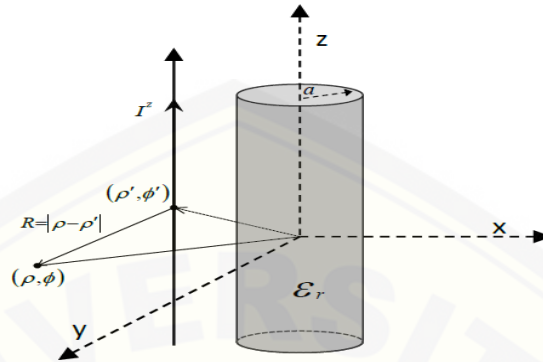
$$\begin{aligned} E_z^+ &= e^{-jkx} = e^{-jk\rho \cos \phi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} J_n(k\rho) e^{jn\phi} \\ E_z^- &= e^{+jkx} = e^{+jk\rho \cos \phi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{+n} J_n(k\rho) e^{jn\phi} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Dimana  $J_n$  merupakan fungsi Bessel jenis pertama, dan  $\rho$  jarak titik observasi dengan pusat lingkaran.

### 2.5.2 Sumber Aliran Listrik

Sumber aliran listrik merupakan suatu arus listrik dalam garis lurus yang meluas hingga tidak memiliki batas. Sebagai contoh asumsikan arus listrik dalam arah sepanjang sumbu  $z$ . Hal ini akan memancarkan bidang TMz bukan nol. Jika sumber garis tak terbatas dari arus listrik  $I_0$  terletak di  $(\rho = \rho') \wedge \phi = \phi'$ , maka akan menghasilkan medan listrik yang dijelaskan dalam persamaan silinder sebagai berikut,

$$E_z(\rho, \phi) = \frac{-k_0^2 I_0}{4\omega\epsilon} H_0^2(k_0 \mathbf{R}) \quad (2.24)$$



Gambar 2.4 Kawat berarus listrik dengan panjang tak terhingga yang diarahkan pada sumbu z dan di tempatkan di dekat silinder dielektrik obyek (Nugroho, 2016)

Pada jarak dari sumber ke titik pengamatan, Komponen medan listrik sebanding dengan fungsi Hankel dari jenis kedua. Teorema fungsi Hankel memperluas fungsi sumber aliran dengan mendefinisikan  $\mathbf{R}$  sebagai jarak radial antara sumber dan titik pengamatan  $\mathbf{R} = |\rho - \rho'|$ .

$$E_z^i = \frac{-\beta^2 I_0}{4\omega\epsilon} \sum_{n=-\infty}^{-\infty} J_n(\beta\rho) H_n^{(2)}(\beta\rho') e^{jn(\phi-\phi')} \quad (2.25)$$

Selama pengujian,  $I_0$  dipilih agar sesuai dengan nilai  $\frac{k_0^2 I_0}{4\omega\epsilon} = 1$

Persamaan medan listrik datang (2.21) dan (2.24) digunakan untuk menjelaskan objek. Antena pemancar ditempatkan di dekat objek silinder dielektrik ini mentransmisikan sinyal gelombang mikro kemudian, bidang yang tersebar di sekitar objek dihitung. Bidang yang terhambur didefinisikan dan dibandingkan dengan hasil dari solusi analitik. Ekspansi dari Balanis (1989), bidang hamburan oleh silinder dielektrik didefinisikan sebagai berikut,

$$E^s = \hat{a}_z E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [a_n H_0^2(k_0 \rho) e^{jn\phi}] \quad (2.26)$$

$$E^s(\rho \geq a) \in D$$

Untuk koefisien  $a_n$  ditentukan dengan menggunakan,

$$a_n = \frac{\eta_0 J_n(k_0 a) J'_n(k_1 a) - \eta_1 J'_n(k_0 a) J_n(k_1 a)}{\eta_1 J_n(k_1 a) H_n^{(2)}(k_0 a) - J_n(k_1 a) H_n^2(k_0 a)} \quad (2.27)$$

Garis hamburan oleh silinder dielektrik dihitung dengan menggunakan,

$$E_z^s = \frac{-k_0^2 I_0}{4\omega\epsilon} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n H_n^{(2)}(k_0 \rho) e^{jn(\phi-\phi')} \quad (2.28)$$

Dan koefisien  $C_n$  ditentukan menggunakan,

$$C_n = \frac{\frac{\mu_1}{\mu_0} J'_n(k_0 a) J_n(k_1 a) H_n^{(2)}(k_0 \rho') - \frac{k_1}{k_0} J'_n(k_1 a) J_n(k_0 a) H_n^{(2)}(k_0 \rho')}{\frac{k_1}{k_0} H_n^{(2)}(k_0 a) J'_n(k_1 a) - \frac{\mu_1}{\mu_0} H_n^{(2)}(k_0 a) J_n(k_1 a)} \quad (2.29)$$

Dengan  $E_z^s$  merupakan medan listrik terhambur,  $\phi$  merupakan fase, dan  $C_n$  merupakan koefisien yang belum diketahui.

## 2.6 Moment of Method (MoM)

Menurut Davidson (2011), ada banyak metode komputasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah persamaan gelombang elektromagnetik. Secara umum, metode komputasi gelombang elektromagnetik dapat dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu metode numerik, metode frekuensi tinggi, dan metode lainnya. Dari beberapa metode tersebut, metode numerik merupakan metode komputasi yang paling banyak digunakan karena telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi dan telah diimplementasikan dalam beberapa *software* komputer.

Solusi analitik hamburan gelombang berupa medan magnet dan medan listrik dalam objek berupa silinder banyak menimbulkan pertanyaan. Salah satunya adalah seberapa akurat pendekatan analitik ini dapat diterima oleh peneliti yang melakukan fokus penelitian pada bidang ini. Untuk menghindari banyaknya spekulasi yang dapat menimbulkan pro dan kontra, maka pendekatan melalui metode komputasi berbasis numerik menjadi solusi yang cukup tepat dengan beberapa *software* komputer yang tepat pula. Dalam beberapa *literature* dibahas mengenai jenis-jenis metode komputasi numerik salah satunya adalah *Method of moment* (MoM).

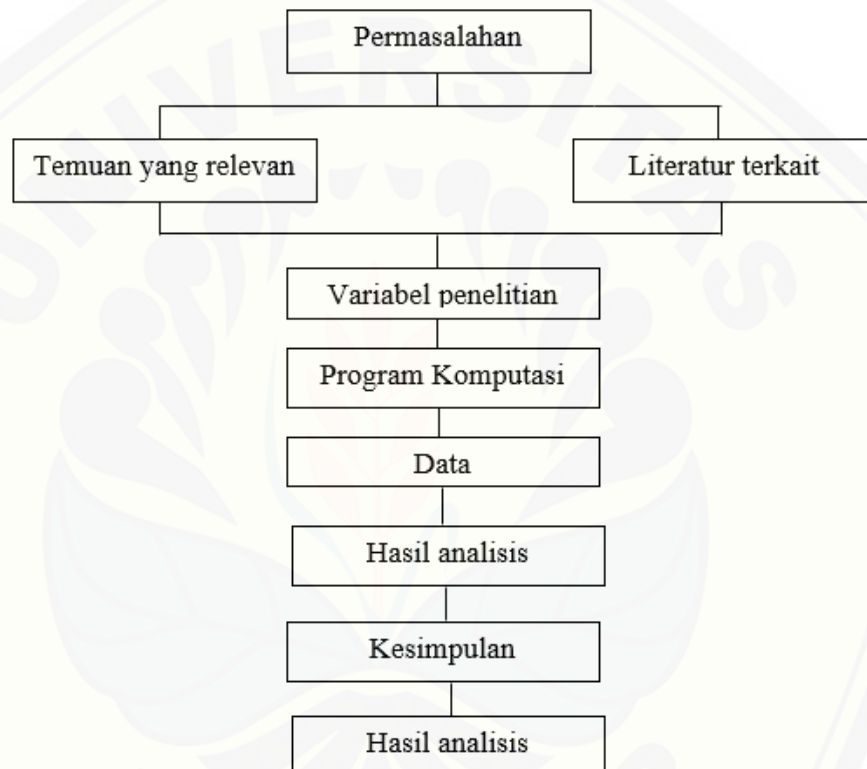
*Method of Moment* (MoM) merupakan metode komputasi numerik yang paling banyak digunakan untuk menganalisis gelombang elektromagnetik, khususnya untuk menangani permasalahan *scattering* dan radiasi. Hal tersebut dikarenakan metode ini dapat memodelkan *Open Boundary Condition* secara eksak melalui fungsi Green dan juga metode ini menggandakan permodelan Matriks sebagai solusi dari persamaan fungsi turunan, integral, dan lain-lain. Metode ini juga banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan Maxwell dalam bentuk integral (Jin, 2010).

Menurut Harrington (1992), *Method of momente* pertama kali dipopulerkan olehnya pada saat melakukan penelitian mengenai elektromagnetik. MoM mengubah persamaan Maxwell bentuk integral ke dalam sistem persamaan linier yang lebih sederhana, dengan menggunakan matriks yang telah diketahui metode dan teknik penyelesaiannya. Performansi dari MoM didasarkan pada kecepatan, keakuratan, dan penggunaan memori. Kesalahan dalam penggunaan MoM dapat ditekan dengan mengatur amplitudo hamburan, kondisi batas dan arus. Dalam MoM, kesalahan dalam proyeksi bertindak sebagai kesalahan referensi.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan sebuah tahapan sistematis secara menyeluruh mengenai semua aspek yang akan dilakukan oleh peneliti. Rancangan penelitian ini disusun sebagaimana skema berikut :



Gambar 3.1 Rancangan Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menganalisis permasalahan terkait dengan mengidentifikasi kanker melalui metode scattering berdasarkan literatur yang didapatkan maupun penemuan peneliti terdahulu. Selanjutnya, setelah permasalahan dapat dianalisis maka selanjutnya adalah penyusunan hipotesis. Setelah hipotesis disusun, selanjutnya ditentukan beberapa variabel penelitian yang mempengaruhi penelitian dan dioperasionalkan pada setiap variabel yang digunakan. Selanjutnya memasuki tahap pemrograman melalui komputasi. Karena penelitian ini menggunakan pendekatan komputasi

maka solusi analitiknya diubah terlebih dahulu menjadi bahasa pemrograman yang kemudian akan di-*running* untuk mendapatkan data. Data yang telah diperoleh selanjutnya kembali dianalisis untuk menguji hipotesis yang telah disusun. Setelah hasil analisis menunjukkan hipotesa yang benar, maka akan ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Selanjutnya rangkaian penelitian dikemas secara sistematis dalam bentuk karya ilmiah yang tertulis dan dipertanggung jawabkan dalam laporan tugas akhir.

### **3.2 Jenis dan Sumber Data**

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, jenis data yang akan di peroleh dalam penelitian ini berupa data kuantitatif. Dimana data kuantitatif merupakan data yang dapat diukur atau dihitung dan disajikan dalam bentuk bilangan atau angka. Data kuantitatif yang diperoleh berupa Parameter *Dielectric Properties* dan frekuensi yang didapatkan melalui penelitian milik Ann P O'raurke, *et.al.* (2007)

### **3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran**

Faktor yang dapat berpengaruh dalam penelitian disebut Variabel. Umumnya terdapat tiga jenis variabel yang berpengaruh dalam penelitian, yaitu variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat. Tujuan peneliti mendeskripsikan variabel-variabel tersebut adalah untuk menghindari kesalahan persepsi dalam penelitian dan juga timbulnya penafsiran yang tidak sesuai. Dalam penelitian ini, hanya terdapat dua variabel yang mempengaruhi. Variabel yang berpengaruh dalam penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

#### **3.3.1 Variabel Bebas**

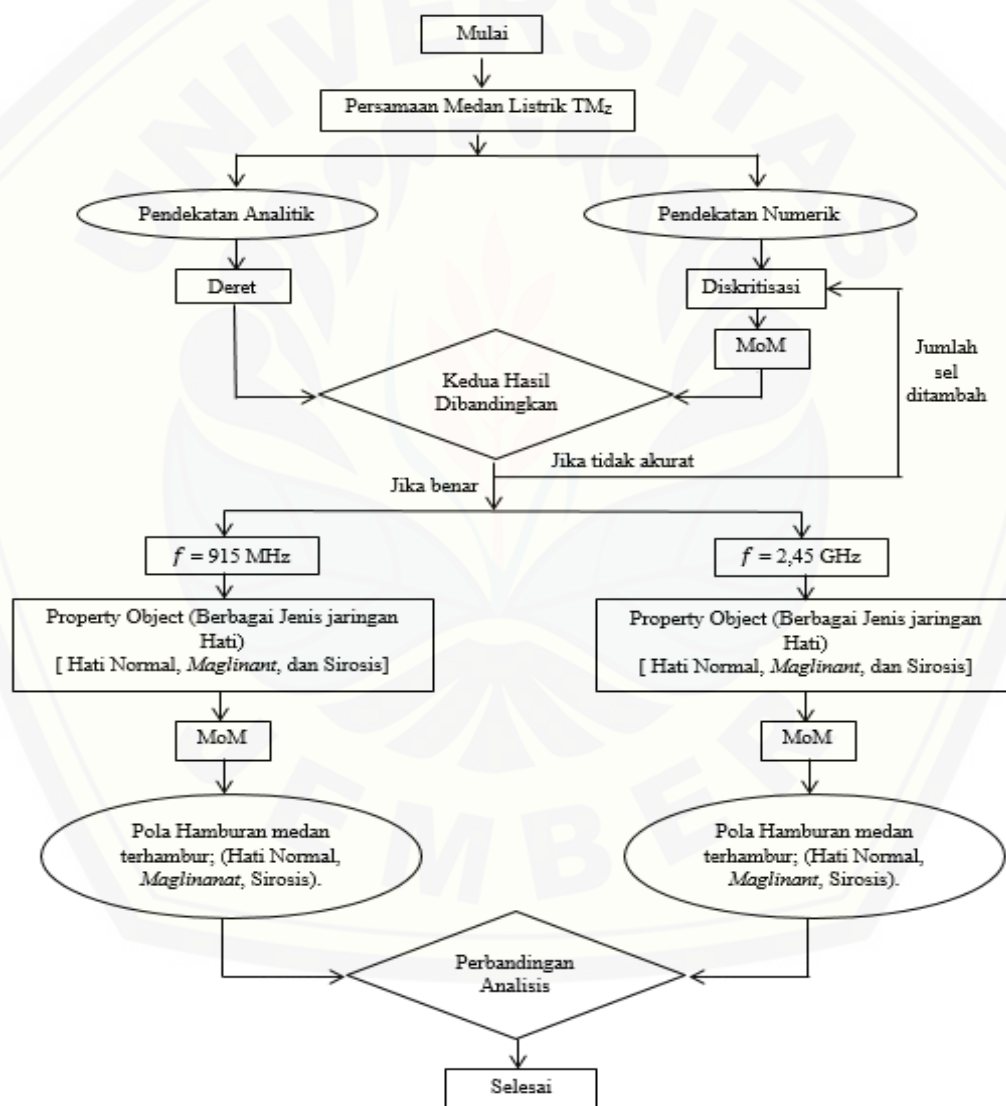
Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dielektrik hati, frekuensi, jumlah cacahan sel, dan titik observasi

#### **3.3.2 Variabel Terikat**

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini, yaitu hamburan *magnitude* dan fase medan listrik yang terhambur.

### 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Proses pemecahan masalah dalam penelitian hamburan gelombang mikro TM<sub>z</sub> oleh sifat dielektrik pada berbagai jenis hati ini sesuai dengan tahapan berikut :



Gambar 3.2 Kerangka Pemecahan Masalah



Prosedur penelitian dimulai dengan menentukan persamaan medan listrik TMz terlebih dahulu dan kemudian dilakukan pendekatan menggunakan pendekatan numerik dan analitik. Pendekatan analitik dan numerik akan menghasilkan output yang berbeda. Dimana output dari pendekatan analitik akan menghasilkan persamaan deret yang dihasilkan melalui persamaan (2.21) dan pendekatan numerik akan menghasilkan persamaan melalui metode MoM. Selanjutnya hasil dari kedua pendekatan ini akan dibandingkan dengan menggunakan solusi analitik sebagai acuan perbandingan. Apabila hasil solusi numerik mendekati hasil dari solusi analitik, maka selanjutnya akan dilakukan analisis pengaruh perubahan frekuensi pada *objek property*. *Object property* yang dimaksud merupakan karakteristik objek yang akan diamati, yaitu berbagai jenis hati. Jenis jaringan hati menurut O'raurke, *et.al.*, yang digunakan dalam penelitian ini adalah jaringan hati sehat/normal, jaringan ganas, dan jaringan hati sirosis. *Object property* ini berbentuk lingkaran, memiliki diameter 1 cm, dan jumlah sel cacahan yang digunakan adalah  $40 \times 40$ . Set frekuensi yang digunakan adalah 915 MHz dan 2,45 GHz. Diharapkan set frekuensi tersebut akan mewakili pola hamburan dielektrik medan terhambur dari berbagai jenis hati yang diamati menurut O'raurke, *et.al.*, yang ditinjau dari fase dan *magnitude*-nya. Selanjutnya pola hamburan pada masing-masing jenis hati diamati perbedaannya, dan dilakukan perbandingan kedua pola hamburan yang dihamburkan oleh masing-masing jenis jaringan hati pada kedua set frekuensi tersebut, kemudian disimpulkan.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian hamburan gelombang mikro TMz oleh sifat dielektrik pada berbagai jenis hati ini adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Solusi Numerik Menggunakan Metode MoM

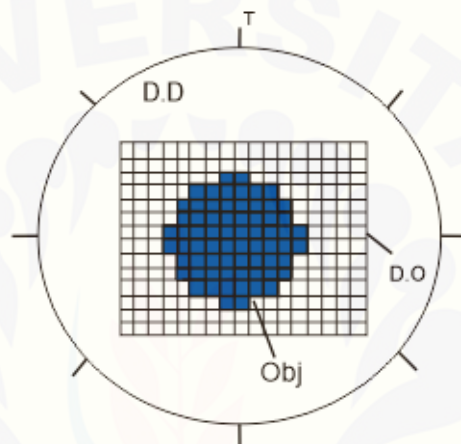
Hamburan gelombang mikro TMz diselesaikan dari solusi numerik menggunakan metode MoM. Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan persamaan Helmholtz medan listrik terhambur dan rapat arus permukaan objek. Untuk langkah penyelesaian pola hamburan dengan menggunakan solusi numerik adalah sebagai berikut;

### 1. Menentukan Domain Objek.

Domain objek yang dimaksud merupakan sebuah medan di luar sebuah objek dimana tempat objek ini diletakkan. Domain objek biasanya bersifat konstan dengan diibaratkan sebuah kotak dengan sel-sel cacahan.

### 2. Meletakkan Objek

Objek selanjutnya dimasukkan kedalam domain objek, objek ini akan mengikuti setiap sel-sel cacahan dari domain objek. Sehingga objek tersebut akan berbentuk tak beraturan mengikuti setiap permukaan sel-sel cacahan.



Gambar 3.3 Gambaran Susunan Objek dalam Penelitian.

Dimana pada gambar 3.3 tersebut, D.D merupakan domain data, D.O merupakan domain objek dan T adalah antena-antena di sekeliling domain data.

### 3. Menentukan Domain Data

Domain data merupakan medan di sekeliling domain objek, atau dapat diartikan sebagai lingkungan di sekitar (di luar) domain objek. Dalam tahap ini data diambil dari antena-antena yang dipasang di sekeliling objek domain, dengan letak antena  $T_{n...m}(x, y)$ .

### 4. Membangun Matriks Z

Persamaan medan datang yang didapatkan selanjutnya di ubah ke dalam bentuk matriks. Dalam hal ini terdapat tiga buah matriks, yaitu matriks medan datang, matriks impedansi intrinsik, dan matriks rapat arus permukaan. Persamaan matriks tersebut adalah sebagai berikut :

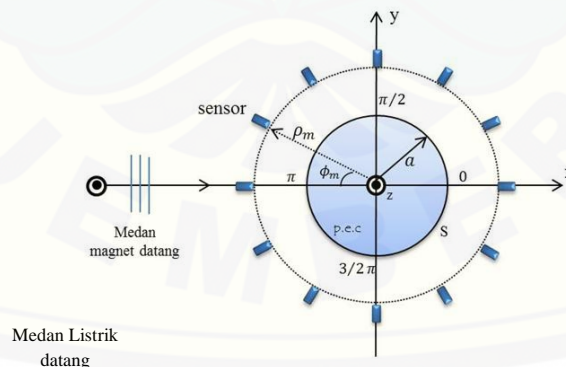
$$[E^{inc}] = [Z][\alpha] \quad (3.2)$$

Dimana  $[E^{inc}]$  merupakan matriks medan datang yang berordo  $M \times 1$ , sedangkan  $[Z]$  adalah matriks impedansi intrinsik yang berordo  $M \times M$ , dan  $[\alpha]$  merupakan matriks rapat arus permukaan berordo sama seperti matriks medan datang yaitu  $M \times 1$ , dan menggunakan persamaan 2.15 untuk entri vertikal, dan persamaan 2.17 untuk entri diagonal. Sehingga akan mendapatkan  $R_{mn}$  dimana merupakan jarak antar sel objek domain. Untuk entri yang non diagonal, akan menggunakan  $a_m$ , dimana  $a_m$  merupakan jari-jari setiap sel dan  $\epsilon_{rm}$  merupakan kontras dielektrik dari objek.

5. Menghitung medan listrik datangnya, yang didapatkan dari persamaan (2.20),
6. Mencari besar medan listrik total ( $E^S$ )

### 3.5.2 Perbandingan Antara Solusi Analitik dan Solusi Numerik

Penelitian ini dilakukan pada objek yang berupa sel, dimana sel ini memiliki bentuk yang beragam. Namun secara umum sel permodelan yang dilakukan menggunakan bagian penampang melintang sel dengan bentuk lingkaran berjari-jari  $r$  yang berada pada sumbu  $x$  dan  $y$ . Pusat lingkaran berada pada titik koordinat  $(0,0)$  dan gelombang bidang datang dari arah  $180^\circ$ . Jika digambarkan secara skematis akan terlihat seperti gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Penampang melintang silinder pada objek (Sururi,2017)

Perbandingan antara solusi analitik dan numerik dilakukan pada titik observasi (letak sensor) yang sama, yaitu dengan konfigurasi titik observasi melingkar di sekitar objek dengan jarak dari pusat lingkaran sebesar  $3/2$  jari-jari. Dalam gambar 3.4 tersebut  $S$  mendefinisikan kontur permukaan dari sel hati. Sensor

diletakkan sejauh  $\rho_m$  dari pusat lingkaran dengan sudut observasi sebesar  $\phi_m$  (Gambar 3.4). Sudut observasi dimulai dari sudut  $0^\circ$  (sumbu  $x$  positif) sampai dengan sudut  $360^\circ$ . Parameter yang divariasikan dalam penelitian ini adalah frekuensi, ukuran sel hati, dan jarak titik observasi. Variasi frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 915 MHz dan 2,45 GHz. Jarak titik observasi dari pusat lingkaran akan menyesuaikan dengan ukuran sel tersebut. Selain parameter yang digunakan untuk parameter yang divariasikan, juga terdapat tetapan parameter yang digunakan untuk menentukan solusi analitik dan numerik, sebagaimana yang tertera pada tabel 3.1 berikut

Tabel 3.1 Parameter input yang bersifat konstan

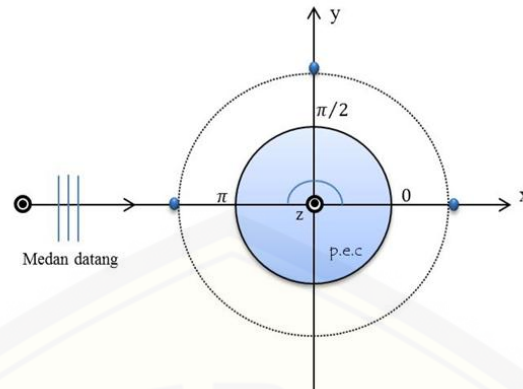
Parameter	Simbol	Nilai (satuan)
Permeabilitas ruang vakum	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} NA^{-2}$
Permeabilitas relatif udara	$\mu_r$	1.00000037
Permitivitas ruang vakum	$\epsilon_0$	$8.85 \times 10^{-2} C^2 N^{-2} m^{-2}$
Permitivitas relatif udara	$\epsilon_r$	1.0006
Impedansi ruang vakum	$\eta_0$	$377\Omega$
Konstanta Euler	$\gamma$	1.78107
Amplitudo medan listrik	$E_0$	1

Permeabilitas dan permitivitas baik dalam ruang vakum maupun relatif udara digunakan untuk menentukan bilangan gelombang ( $k$ ) dengan persamaan :

$$k = 2\pi f \sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (3.3)$$

Impedansi ruang vakum dan konstanta Euler digunakan untuk menentukan impedansi intrinsik setiap sel pada solusi numerik menggunakan metode MoM. Seperti yang telah dijelaskan bahwa penerapan metode MoM, kontur permukaan sel hati akan dicacah ke dalam beberapa bagian, dalam prosesnya membandingkan antara solusi analitik dan solusi numerik ini jumlah bagian yang digunakan adalah 1600 bagian sel.

Konfigurasi titik observasi dilakukan pada beberapa sudut observasi dengan pengaruh perubahan jumlah sel cacahan. Konfigurasi titik observasi pada sudut observasi diskemakan seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Konfigurasi titik observasi pada sudut tertentu ( Saharini, 2017)

Sudut observasi yang digunakan adalah  $0$  rad,  $\frac{1}{2}\pi$  rad, dan  $\pi$  rad dengan setiap sudut memiliki satu titik observasi, sedangkan jarak dari sudut observasi dengan pusat sel hati sebesar  $1\text{mm}$ . Tujuan konfigurasi titik observasi pada sudut yang ditentukan adalah untuk mengetahui perubahan nilai magnitude atau fase dari medan magnet terhambur dan mengetahui medan magnet terhambur dari yang tertinggi hingga terendah, apabila titik observasi diletakkan pada sudut tersebut. Hasil analisis kuantitatif diperoleh citra 2D medan magnet terhambur nilai magnitude dan fase gelombang.

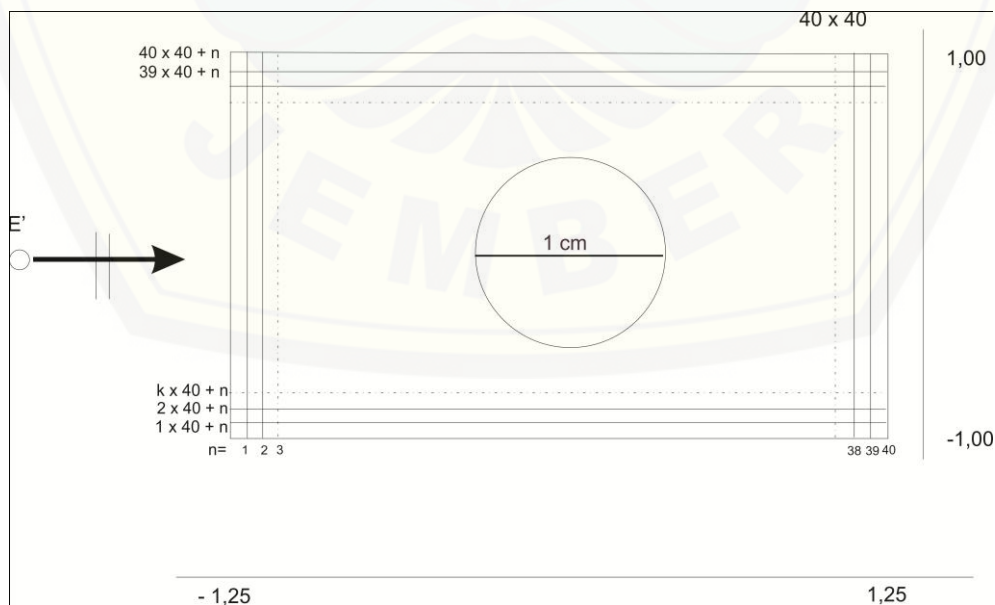
### 3.5.3 Pengaruh Perubahan Frekuensi dan Titik Observasi terhadap *Magnitude* dan Fase.

Pengaruh perubahan frekuensi dari jari-jari objek terhadap *magnitude* medan listrik yang terhambur dan fase medan listrik terhambur diamati melalui dua analisis, yaitu analisis nilai kuantitatif dan analisis secara visual. Analisis nilai kuantitatif dilakukan dengan mencari nilai *magnitude* dan fase pada titik observasi di sekitar sel objek. Konfigurasi titik observasi yang digunakan dalam analisis kuantitatif ada dua macam, yaitu konfigurasi titik observasi melingkar di sekitar objek yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3.5 di atas, dan juga konfigurasi linier di depan objek. Titik observasi diletakkan sejauh  $\rho_m$  dari pusat lingkaran dengan sudut observasi ( $\phi_m$ ) berada pada rentang  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$ . Konfigurasi melingkar

ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai *magnitude* ataupun fase di semua bagian dengan jarak titik observasi yang sama dari pusat lingkaran.

Konfigurasi titik observasi dilakukan dengan menempatkan beberapa sensor pada sebuah sudut informasi yang sama dan posisi sensor-sensor tersebut berada pada satu garis yang lurus. Sudut observasi yang digunakan pada konfigurasi ini adalah  $180^\circ$  dengan jumlah titik sebanyak 50 titik dan jarak antar titik observasi sebesar 1 cm. Tujuan dilakukannya konfigurasi linier ini adalah untuk mengetahui perubahan nilai *magnitude* atau fase apabila semakin menjauhi pusat objek. Hasil dari konfigurasi ini didukung oleh adanya visualisasi nilai *magnitude* ataupun fase.

Selanjutnya adalah analisis visual pola-pola hamburan dari *magnitude* dan fase gelombang. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat pola *mesh*. *Mesh* merupakan sebuah kotak kecil yang mengandung nilai permitivitas tertentu (kurniawan, 2010). *Mesh* memiliki bentuk persegi panjang dengan ketentuan panjang (sumbu  $x$  antara  $-1,25\text{m}$  sampai  $+1,25\text{m}$ , sedangkan batas koordinat sumbu  $y$  antara  $-1,00\text{m}$  sampai  $+1,00\text{m}$ . Tanda positif dan negatif menunjukkan arah jika ditinjau dari pusat koordinat  $(0,0)$ . Lingkaran berada dalam *mesh* tersebut dengan pusat silinder berada pada koordinat  $(0,0)$ . Titik observasi sebesar 0,001, sehingga akan dihasilkan pola dari nilai *magnitude* dan fase. Bentuk susunan *mesh* dari sebuah silinder ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut:



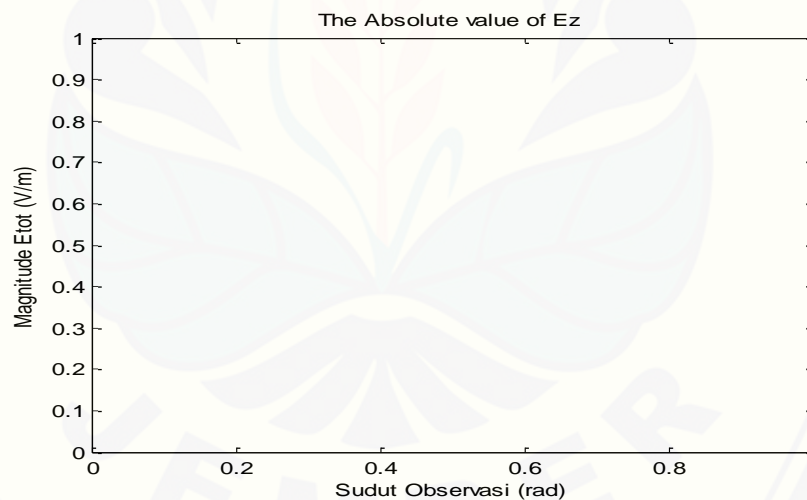
Gambar 3.6 Susunan *Mesh* sebagai visualisasi *magnitude* dan fase

### 3.6 Metode Analisis Data

Beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis data dalam penelitian hamburan gelombang mikro TMz oleh sifat dielektrik pada berbagai jenis hati ini adalah sebagai berikut:

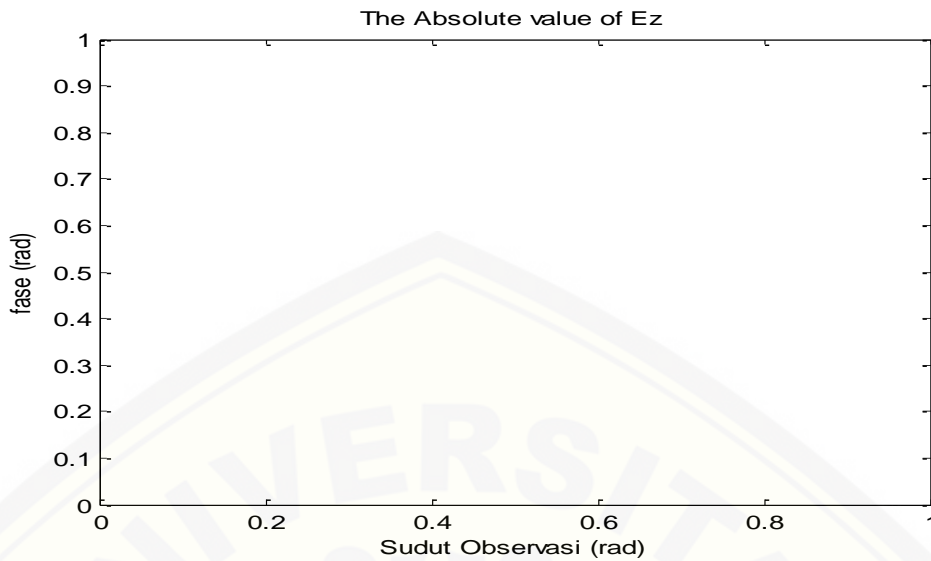
#### 3.6.1 Perbandingan antara Solusi Analitik dan Solusi Numerik

Perbandingan kedua solusi antara analitik dan numerik adalah dengan membandingkan nilai *magnitude* medan listrik total antara kedua pendekatan tersebut, baik analitik maupun numerik pada titik observasi yang sama. Pengeplotan nilai-nilai *magnitude* hasil perbandingan tersebut dalam satu grafik akan mempermudah pekerjaan peneliti. Grafik yang di-plot adalah grafik hubungan antara sudut observasi dan nilai *magnitude* dengan jari-jari observasi konstan. Contoh grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Grafik hubungan antara sudut observasi dengan nilai *magnitude*

Grafik yang diharapkan pada gambar 3.7 adalah kurva hasil dari kedua solusi numerik dan analitik akan saling berhimpit. Apabila kurva semakin berhimpit, maka hasil yang didapatkan pada solusi numerik akan mendekati solusi analitik. Begitu pula hasil grafik hubungan antara sudut observasi dan fase, diharapkan bahwa hasil yang didapatkan dari kedua solusi tersebut akan saling berhimpit. Salah satu contoh grafik yang digunakan adalah seperti gambar 3.7 berikut:

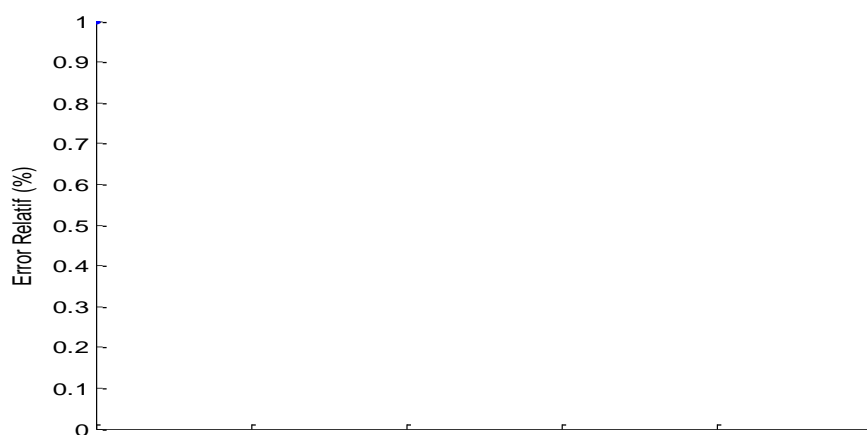


Gambar 3.8 Grafik hubungan antara sudut observasi dengan fase

Tingkat kedekatan antara hasil kedua solusi tersebut, biasanya dinamakan tingkat akurasi. Tingkat akurasi antara hasil numerik dengan hasil analitik ditentukan oleh kuantitas *error* relatif yang didapatkan. Peterson *et al.* (1998) mengatakan bahwa hasil numerik mendekati hasil analitik apabila nilai *error* relatif yang diperoleh kurang dari 2%. Nilai *error* relatif ditentukan menggunakan persamaan :

$$Error(\%) = \left| \frac{|E_z^t|_{analitik} - |E_z^t|_{numerik}}{|E_z^t|_{analitik}} \right| \times 100 \quad (3.5)$$

Nilai *error* relatif tersebut juga dapat digambarkan dalam sebuah grafik jika nilai *error* relatif untuk semua titik observasi diketahui. Grafik yang dihasilkan berupa grafik antara sudut observasi dengan nilai *error* relatif. Kurva yang terbentuk pada grafik ini diharapkan selalu berada di bawah 5%. Grafik ini dibuat agar dapat mengetahui perubahan *error* relatif disetiap sudut observasi dan juga mengetahui titik observasi paling akurat. Berikut adalah contoh gambar grafik dari sudut observasi dan *error* relatif.





Gambar 3.9 Grafik hubungan antara sudut observasi dengan error relatif

### 3.6.2 Pengaruh Frekuensi dan Titik Observasi terhadap *Magnitude* dan Fase

Terdapat dua analisis pengaruh perubahan frekuensi dan jari-jari silinder terhadap *magnitude* dan fase medan magnet terhambur, yaitu analisis nilai kuantitatif dan analisis secara visual. Analisis nilai kuantitatif sendiri menggunakan dua konfigurasi titik observasi yaitu konfigurasi melingkar di sekitar objek dan konfigurasi linier di depan silinder.

Konfigurasi titik observasi linier menggunakan sudut observasi yang konstan dan titik observasinya bergerak semakin menjauhi lingkaran. Bentuk hasil dari analisis nilai kuantitatif berupa grafik. Salah satu contoh grafik analisis nilai kuantitatif dengan konfigurasi titik melingkar di sekitar objek yaitu grafik hubungan antara sudut observasi dengan nilai *magnitude* atau fase medan listrik terhambur. Sedangkan untuk grafik analisis kuantitatif dengan konfigurasi titik observasi linier merupakan grafik hubungan antara jarak titik observasi dari pusat lingkaran dengan nilai *magnitude* atau fase. Grafik yang dihasilkan melalui analisis kuantitatif diharapkan memiliki hasil yang berbeda untuk setiap perubahan frekuensi dan ukuran sel.

Analisis kuantitatif dapat diperkuat dengan adanya visualisasi. Visualisasi ini bertujuan untuk mempermudah mengamati perubahan nilai *magnitude* ataupun fase dalam sebuah *mesh*. Skala warna merepresentasikan nilai *magnitude* atau fase, sehingga pola-pola warna akan terbentuk apabila terjadi perubahan nilai *magnitude* atau fase. Setiap perubahan frekuensi atau ukuran sel diharapkan akan menghasilkan pola-pola warna yang berbeda. Melalui analisis secara visual dapat diketahui perubahan nilai *magnitude* ataupun fase di sekitar lingkaran secara keseluruhan.

## BAB 5. PENUTUP

Hasil kajian dari permasalahan yang diamati telah dirangkum dalam sebuah kesimpulan, dan sebagai penutup, penulis juga memiliki saran atau rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian.

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah medan listrik datang apabila menyinari suatu objek maka akan mengakibatkan medan listrik itu terhambur pada dirinya sendiri dan objek tersebut dikarenakan oleh properti dielektrik objek. hamburan tersebut akan membentuk pola hamburan yang dapat diamati. Karakteristik medan terhambur pada berbagai jenis jaringan hati ( normal, *maglinant*, dan *chirrosis*) memiliki karakteristik yang berbeda pada frekuensi 915 MHz dan 2,45 GHz. Pada frekuensi 915 MHz, medan listrik yang terhambur tidak dapat terlihat jelas, berbeda dengan medan listrik yang terhambur pada frekuensi 2,45 GHz. Secara keseluruhan, perbedaan pola hamburan medan listrik pada masing-masing jenis jaringan hati dalam kedua parameter frekuensi tersebut tidak terlihat signifikan. Perbedaan yang terjadi pada pola hamburan tersebut adalah dari segi ukurannya, yang mana pola hamburan pada jaringan hati normal lebih kuat dari pada kedua jenis jaringan hati *maglinant* dan *chirrosis*.

### 5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran dari penulis yang dapat dijadikan sebagai proyeksi untuk penelitian-penelitian terkait selanjutnya, antara lain:

1. Menggunakan metode lain selain MoM untuk menganalisis pola hamburan jaringan hati pada frekuensi yang sama.
2. Menggunakan metode MoM pada frekuensi yang lebih besar dan jumlah sel cacahan yang lebih besar.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anthony. 2015. “Rancang Bangun Power Harvester untuk Transfer Daya Wireless Menggunakan Antena TV Frekuensi 470-860 MHz”. *Skripsi*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Altekruse, S.F., McGlynantobn, K.A., Reichman, M.E. Hepatocellular carcinoma incidence, mortality, and survival trends in the United States from 1975 to 2005. *Journal of clinical oncology*. 2009; 27 : 1485-1491.
- Biomass One-Stop Claring House (BOSCH). 2004. Biogas Production from Palm Oil Mill Effluent using Completely Stirred Tank Reactor. *Energy Policy and Planning Office*.
- Bray, F. 2012. Global cancer transitions according to the Human Development Index (2008-2030): a population-based study. *The lancet oncology*, 13: 790-801.
- Davidson, D.B. 2011. *Computational Electromagnetics for RF and Microwave Engineering. Edisi Kedua*. New York: Cambridge University Press.
- Facciorusso A. 2016. Microwave ablation versus radiofrequency ablation for the treatment of hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperthermia*, 32: 339.
- Gabriel S. 1996. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurement in the frequency range 10 Hz to 20 GHz *Phys. Med. Biol.* 41 2251–69.
- Glaser, B. 1992. *Basics of Grounded Theory Analysis*. Mill Valley. CA: Sociology Press.
- Guyton, A.C., dan Hall, J.E. 2008. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 11. Jakarta: EG.

- Hang Wang, and Yong He,. Dielectric properties of human liver from 10 Hz to 100 MHz: normal liver, hepatocellular carcinoma, hepatic fibrosis and liver hemangioma. *Bio-Medical Materials and Engineering* 24. 2014, 2725–2732.
- Harrington, R.F. 1992. *Field Computation by Moment Methods*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Irawan, F. (2019, Februari 07). Hari Kanker Sedunia [serial online]. Melalui <http://www.depkes.go.id/article/view/19020100003/hari-kankersedunia-2019.html>. [Diakses pada tanggal 05 Mei 2019].
- Jemal, A., Bray F., Forman D., O'Brien M., Ferlay J., Center M, Parkin D.M. 2012. *Cancerburden in Africa and opportunities for prevention*. *Cancer*. 118: 4372-4384.
- Jin, J.M. 2010. *Theory and Computation of Electromagnetic Fields*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Joines W.T. The measured electrical properties of normal and malignant human tissues from 50 to 900 MHz. *Med Phys*. 1992. 547-550.
- Kurniawan, C. 2010. “Analisis kopling Medan Elektromagnetik *Transverse Magnetic* (TM) pada Kristal Fotonik 2D dengan Defek Indeks Bias Simetrik Menggunakan Metode Tensor Green”. *Skripsi*. Bogor: Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Murray, C.J. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*. 2013; 380 : 2197-2223.
- O'Rourke, A.P., Lazebnik, M., Bertram, J.M. Dielectric Properties of Human Normal, Malignant and Cirrhotic Liver Tissue: In Vivo and Ex Vivo Measurements from 0.5 to 20 GHz Using a Precision Open-Ended Coaxial Probe. *Phys. Med. Biol*. 2007,52, 4707–4719.

Peterson, A.F., Ray, S.L. dan Mitra, R. 1998. *Computational Methods For Electromagnetics*. New York :The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Saharini, Y. 2017. Aplikasi *Method of Moment* Untuk Penyelesaian Hamburan Gelombang Mikro Oleh Silinder Konduktif Pada Mode TE<sub>z</sub>. Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Sears and Zemansky. 1982. *Fisika Universitas Jilid 1*. Bandung : Binacipta.

Siegel, R. Cancer statistics, 2013. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2013; 63: 11-30.

Sloane E. 2004. *Anatomi dan fisiologi untuk Pemula*. Jakarta: EGC.

Soerjomataram, I.J. Lortet-Tieulent. Global burden of cancer in 2008: a systematic analysis of disability-adjusted lifeyears in 12 world regions. *The Lancet*. 2012; 380 : 1840-1850.

Stauffer, P.R.. 2003. Phantom and Animal Tissues for Modelling the Electrical Properties of Human Liver. *International Journal Hypert*. 19, 89–101.

Sunaryati, S.S. 2011. *14 Penyakit Paling Sering Menyerang dan Sangat Mematikan*. Flash Books. Yogyakarta.

Sururi, A. 2017. Hamburan Gelombang Mikro TM<sub>z</sub> Oleh Silinder Konduktif: Pendekatan Analitik dan Numeri. *Skripsi*. Jember: Universitas jember

Sutrisno. 1979. *Fisika Dasar : Gelombang dan Optik*. Bandung : Penerbit ITB.

Tang, D. Clinical and pathological features of Allen's type C classification of resected combined hepatocellular and cholangio carcinoma: a comparative study with hepatocellular carcinoma and cholangiocellular carcinoma. *Journal of gastrointestinal surgery*. 2006; 10 : 987-998.

Tsuji, P., Parrish, K., and Xu, C. 2010. Scattering from PEC Cylinder by a Normally Incident Plane Wave. *Computational Electromagnetic : MoM Project*. Vol. **335**

Wright, T. Positive organizational behavior: an idea whose time has truly come. *Wiley InterScience*. 2003, 437-442.

Zhang, Y. 2015. International trends in primary liver cancer incidence from 1973 to 2007. *BMC cancer*. 15 : 1.

Zhou, R., Qaddoumi, N. Microwave Scattering Properties of Dielectric Cylinders with Defects. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 11*. 1992. 515-520.

