



**HAMBURAN GELOMBANG MIKRO
OLEH BEBERAPA JENIS TULANG PADA MODE TM_z
MENGUNAKAN *METHOD OF MOMENT***

SKRIPSI

Oleh
Chyntiea Dewi Amanah
NIM 151810201002

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

2019



**HAMBURAN GELOMBANG MIKRO
OLEH BEBERAPA JENIS TULANG PADA MODE TM_z
MENGUNAKAN *METHOD OF MOMENT***

SKRIPSI

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

Oleh

Chyntiea Dewi Amanah

NIM 151810201002

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

2019

PERSEMBAHAN

Syukur alhamdulillah kepada Allah SWT yang Maha Esa, karena-Nya telah memberiku banyak pengalaman, kesabaran, serta kekuatan. Sehingga membuatku mempersembahkan sebuah karya luar biasa ini kepada kedua orang tua tercinta yang selama ini tiada henti memberi semangat, dukugan, nasehat, do'a, pengorbanan dan kasih sayang untukku. Untuk kedua adikku, terima kasih telah menjadi motivasiku untuk segera menyelesaikan sebuah karya indah ini. Segenap dosen dan almamater jurusan Fisika terima kasih telah sabar memberiku ilmu hingga aku seperti ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian. Sebuah karya luar biasa ini aku persembahkan untuk kalian semua. Terima kasih dan mohon maaf.

MOTTO

“Jangan kamu mengatakan terhadap sesuatu, “Aku pasti melakukan itu besok pagi” kecuali dengan mengatakan, “Insyaallah”. Ingatlah kepada Tuhanmu apabila kamu lupa dan katakan, “Mudah-mudahan Tuhanku memberi petunjuk agar aku lebih dekat pada kebenaran.”” (Q.S Al-Kahfi: 23-24)^{*)}

“Tak perlu menyeragamkan diri dengan kebanyakan orang. Tak perlu kekinian (karena yang kekinian akan alay pada waktunya). Tak perlu repot-repot menyamakan diri dengan orang lain. Kau diciptakan untuk menjadi unik. Sudah terlalu banyak orang yang sama seperti kebanyakan orang.”
(Kutipan Asli David J. Schwartz)^{**)}

“Selalu ada alasan terbaik kenapa sesuatu terjadi, meski itu menyakitkan, membuat sesak dan menangis. Kita boleh jadi tidak paham kenapa itu harus terjadi, kita mungkin tidak terima, tapi Tuhan selalu punya skenario terbaiknya. Jadi, jalaniilah dengan tulus. Besok lusa semoga kita bisa melihatnya dan tersenyum lapang.” (Kutipan Asli Tere Liye)^{***)}

*) Departemen Agama RI. 2005. Al-Aliyy: Al-Qur’an dan Terjemahannya. Bandung : CV Penerbit Diponegoro

***) Schwartz, David J.1996.*Berpikir dan Berjiwa Besar (Penerjemah : Drs. F.X. Budiyanto)*.Jakarta : Binarupa Aksara

***) Darwis Tere Liye.2014.*Rindu*.Jakarta : Republika

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Chyntiea Dewi Amanah

NIM : 151810201002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Hamburan Gelombang Mikro Oleh Berbagai Jenis Tulang pada Mode TM_z Menggunakan *Method of Moment*” adalah benar-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 hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, 10 Juli 2019

Yang menyatakan,

Chyntiea Dewi Amanah

NIM 151810201002

SKRIPSI

**HAMBURAN GELOMBANG MIKRO
OLEH BERBAGAI JENIS TULANG PADA MODE TM_z
MENGUNAKAN *METHOD OF MOMENT***

Oleh

Chyntia Dewi Amanah

NIM 151810201002

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Hamburan Gelombang Mikro Oleh Berbagai Jenis Tulang pada Mode TM_z Menggunakan *Method Of Moment*” karya Chyntiea Dewi Amanah 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. 1968121994021001

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

Anggota II,

Anggota III,

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

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si
NIP. 197003271997022001

Mengesahkan

Dekan FMIPA Universitas Jember,

Drs. Sujito, Ph.D

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Hamburan Gelombang Mikro Oleh Beberapa Jenis Tulang pada Mode TM_z Menggunakan *Method of Moment*; Chyntea Dewi Amanah, 151810201002; 2019: 104 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tulang merupakan jaringan keras pada vertebrata yang cukup penting. Tulang memiliki nilai dielektrik yang berbeda sesuai dengan jenis dan bentuk tulang. Dielektrik merupakan bahan yang tidak memiliki muatan bebas yang berpengaruh terhadap kelistrikan. Karakteristik medan listrik dipengaruhi oleh dielektrik benda, oleh sebab itu pada skripsi ini pola perubahan medan listrik yang timbul karena hamburan gelombang mikro pada berbagai variasi jenis tulang, frekuensi kerja dan ukuran objek dibahas.

Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan metode MoM untuk menyelesaikan medan terhambur oleh berbagai jenis tulang. akurasi solusi MoM dilakukan pada berbagai variasi frekuensi dan ukuran tulang. Tidak hanya itu, pengaruh perubahan frekuensi dan ukuran tulang terhadap *magnitude* dan fase dianalisa.

Penelitian ini menggunakan metode MoM yang didasari oleh persamaan Maxwell dalam bentuk differensial menggunakan persamaan Hemholtz berupa vektor potensial listrik dalam bentuk integral. Data dalam penelitian ini berupa data kuantitatif dan data kualitatif dengan menggunakan data berupa grafik nilai *magnitude* dan nilai fase gelombang, serta analisa berupa visualisasi nilai *magnitude* dan fase gelombang.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah tingkat akurasi dari MoM ditentukan menggunakan nilai *error* relatif yang diperoleh. Nilai *error* relatif menunjukkan selisih dari solusi numerik dan solusi analitik. Perbandingan solusi numerik dan analitik memiliki nilai *error* kurang dari 2% pada frekuensi 5 GHz dengan jumlah cacahan sel sebanyak 200 cacahan. Setiap parameter input yang lain memiliki nilai *error* relatif yang berbeda. Perubahan frekuensi juga berpengaruh terhadap *magnitude* dan fase gelombang medan terhambur yang dihasilkan. Semakin besar frekuensi input yang diberikan maka nilai *magnitude* pada sudut observasi semakin besar. Grafik yang dihasilkan untuk nilai *magnitude* memiliki pola lembah puncak yang cukup kontinu di setiap posisi. Semakin tinggi posisi maka semakin kecil pola lembah puncak yang dihasilkan. Sedangkan untuk visualisasi citra 2D didapatkan nilai dari yang tertinggi hingga terendah. Semakin besar variasi frekuensi maka pola warna juga akan semakin rapat. Hal ini berlaku untuk fase gelombang baik grafik maupun citra 2D. Ketika semakin rendah frekuensi input yang diberikan, maka semakin sederhana pola yang dihasilkan.

Variasi ukuran tulang juga mempengaruhi nilai *magnitude* dan fase gelombang. Semakin tinggi variasi ukuran tulang, maka pola yang dihasilkan juga akan berbeda untuk setiap bentuk tulang. Pola polar yang dihasilkan untuk bentuk

tulang memiliki kemiripan pola, hanya saja pola lebih besar dimiliki oleh tulang unta. Sedangkan, fase gelombang ketika semakin tinggi variasi ukuran tulang, maka fase gelombang juga akan semakin tinggi dan memiliki pola yang serupa untuk semua jenis dan bentuk tulang. Visualisasi pada nilai *magnitude* dan fase memiliki pola yang sama yaitu ketika variasi ukuran tulang semakin besar, ukuran objek juga akan semakin besar.



PRAKATA

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Hamburan Gelombang Mikro Oleh Berbagai Jenis Tulang pada Mode TM_z Menggunakan *Method Of Moment*”. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW sebagai suri tauladan bagi umat manusia. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan program strata satu (S-1) jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis tidak lepas dari bantuan, motivasi serta bimbingan dari berbagai pihak untuk menyusun skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Agung Tjahjo Nugroho S.Si., M.Phil., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan juga DR. Sutisna S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membantu penyelesaian penulisan skripsi ini.
2. Drs. Yuda C Hariadi M.Sc Ph.D., selaku Dosen Penguji Utama dan juga Nurul Priyantari S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan masukan dan evaluasi dalam menyempurnakan skripsi ini.
3. Dr. Lutfi Rohman S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama masa kuliah.
4. Segenap dosen yang telah memberikan ilmu selama masa kuliah
5. Kedua orang tua tercinta, bapak Dwi Sony Harsono S.E dan ibu Yayuk Wahyu Utami tercinta yang tiada henti memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis.
6. Kedua adik tersayang, Ratu Bilqis Anggraeni dan Muhammad Yusuf Raja Harsono yang selalu menjadi motivasi terbaik untuk penulis.
7. Ibu kos dan bapak kos Kalimantan 16 No. 27B yang sudah menjaga, melindungi dan memberikan tempat tinggal selama di Jember.

8. Keluarga besar Ganesha Phi 15, UNYU, G11SOPATI, UKMS TITIK, PSM Universitas Jember sebagai keluarga kedua selama di Jember.
9. Tim *Elins Research Group* selaku teman seperjuangan.
10. Teman-temanku yang senantiasa memberikan semangat.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh sebabnya penulis menerima segala bentuk kritikan dan saran dari semua pihak agar tersusunnya skripsi ini dengan baik. Penulis berharap semoga bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, 10 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN RINGKASAN	vii
HALAMAN PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tulang	6
2.2 Dielektrik	7
2.3 Sifat Dielektrik dan Frekuensi Gelombang Mikro	8
2.4 Gelombang Elektromagnetik	9
2.5 Method of Moment	10
2.6 Hamburan Gelombang TM dari Silinder Dielektrik	10
2.7 Solusi Analitik Hamburan Gelombang TM	12
BAB 3. METODE PENELITIAN	15
3.1 Rancangan Penelitian	15

3.2 Jenis dan Sumber Data	16
3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran	16
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	17
3.5 Prosedur Penelitian	19
3.5.1 Komputasi dengan Metode Numerik MoM Relatif terhadap Solusi Analitik	19
3.5.2 Pengaruh Perubahan Frekuensi, Ukuran Tulang, dan Lebar Sel Cacahan	20
3.6 Analisis Data	23
3.6.1 Akurasi Solusi Numerik MoM Relatif terhadap Solusi Analitik	23
3.6.2 Pengaruh Perubahan Frekuensi, Ukuran Tulang, dan Jumlah Lebar Sel Cacahan	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Akurasi Solusi Numerik Metode MoM terhadap Metode Analitik	26
4.2 Pengaruh perubahan variasi frekuensi dan ukuran tulang terhadap <i>magnitude</i> dan fase gelombang	34
4.2.1 Pengaruh perubahan frekuensi terhadap <i>magnitude</i> dan fase gelombang	34
4.2.2 Pengaruh ukuran tulang terhadap <i>magnitude</i> dan fase gelombang	47
BAB 5. PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

4.1. Nilai error terbesar *magnitude* dan fase untuk semua jenis dan bentuk tulang.....27



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
4.1 (a) Perbandingan plotting nilai <i>magnitude</i> antara solusi analitik dengan solusi numerik pada silinder berjari jari 2 cm dengan frekuensi 5 GHz dan titik observasi dari pusat silinder 5 cm pada tulang paha sapi (b) Perbesaran plotting pada sudut observasi 2.433 rad	29
4.2 Nilai error relatif <i>magnitude</i> solusi numerik terhadap solusi analitik frekuensi 5 GHz, jari-jari silinder 2 cm dan jarak titik pusat silinder 5 cm pada tulang paha sapi	30
4.3 (a) Perbandingan nilai fase gelombang antara solusi analitik dan solusi numerik untuk frekuensi 5GHz, dengan jari-jari 2 cm dan jarak titik observasi sebesar 5 cm pada tulang paha sapi (b) Perbesaran pada sudut observasi 3.04 rad	32
4.4 Nilai error relatif <i>magnitude</i> dan fase solusi numerik terhadap solusi analitik dan pada tulang berjari jari 2 cm dengan frekuensi 5 GHz dan titik observasi pada pusat sejauh 5 cm pada tulang paha sapi	33
4.5 (a) <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari jari tulang $0.02 \lambda_0$ di titik observasi 0.05 m sudut 4.71 rad pada posisi (5cm, $1/4\pi$ rad) (b) Perbesaran <i>magnitude</i> di frekuensi 10 GHz hingga 25 GHz.....	35
4.6 (a) <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari jari tulang $0.02 \lambda_0$ di titik observasi 0.05 m sudut 4.71 rad pada posisi (5 cm, $1/2 \pi$ rad) (b) Perbesaran <i>magnitude</i> di frekuensi 10 GHz hingga 40 GHz.....	37
4.7 (a) <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari jari tulang $0.02 \lambda_0$ di titik observasi 0.05 m sudut 4.71 rad pada posisi (5cm, π rad) (b) Perbesaran <i>magnitude</i> di frekuensi 10 GHz hingga 50 GHz.....	38
4.8 Citra dua dimensi <i>magnitude</i> medan terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh berbagai jenis dan bentuk tulang	40
4.9 (a) Fase medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari-jari silinder 0.02 m, di sudut observasi 1 rad sampai 32 rad, pada posisi (5cm, $1/4 \pi$ rad) (b) Perbesaran fase di frekuensi 10 GHz hingga 20 GHz	42

4.10 (a) Fase medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari-jari silinder 0.02 m, di sudut observasi 1 rad sampai 32 rad pada posisi (5cm, $\frac{1}{2} \pi$ rad) (b) Perbesaran fase pada frekuensi 10 GHz hingga 35 GHz	43
4.11 (a) Fase medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari-jari silinder 0.02 m, di sudut observasi 1 rad sampai 32 rad phi pada posisi (5 cm, π rad) (b) Perbesaran fase pada frekuensi 1 GHz hingga 16 GHz	45
4.12 Fase medan magnet terhambur pada beberapa variasi frekuensi oleh tulang dengan jari-jari silinder 0.02 m, di sudut observasi 1 rad sampai 32 rad	46
4.13 <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur oleh berbagai bentuk tulang sapi dengan berbagai variasi ukuran tulang, ketika diberi gelombang mikro 5 GHz.....	49
4.14 <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur oleh berbagai bentuk tulang unta dengan berbagai variasi ukuran tulang, ketika diberi gelombang mikro 5 GHz.....	50
4.15 <i>Magnitude</i> medan magnet terhambur oleh tulang paha sapi dengan berbagai variasi ukuran tulang, ketika diberi gelombang mikro 5 GHz.....	52
4.16 Fase medan magnet terhambur oleh tulang paha sapi dengan berbagai variasi ukuran tulang, ketika diberi gelombang mikro 5 GHz di sudut observasi 1 rad hingga 32 rad.	53
4.17 Citra dua dimensi fase medan magnet terhambur oleh tulang dengan berbagai variasi ukuran tulang, ketika diberi gelombang mikro 5 GHz.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Data inputan milik Gafoor (2013).....	61
2. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80GHz.64	64
3. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	65
4. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	66
5. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	67
6. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	68
7. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80GHz	69
8. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	70
9. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz.....	71
10.Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz	72
11. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz.....	73
12. Grafik fase gelombang medan magnet terhambur pada frekuensi 5 GHz	74

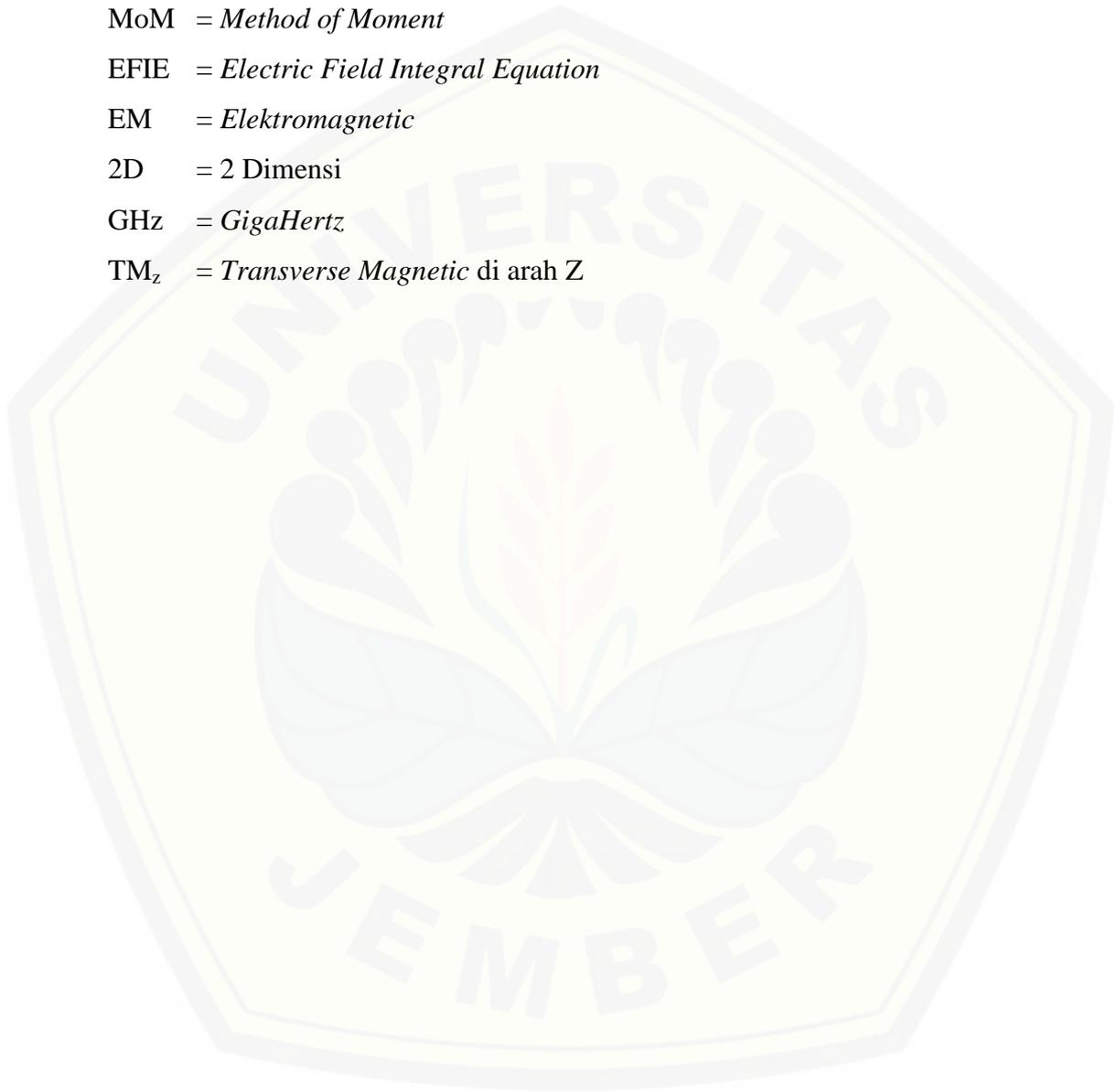
13. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 75
14. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 76
15. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 77
16. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 78
17. Citra 2D magnitude medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 79
18. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 80
19. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 81
20. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 82
21. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 83
22. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$ 84

DAFTAR NOTASI

E_0	= Amplitudo medan listrik
j	= Imajiner
e	= Eksponensial
k	= Bilangan gelombang
J atau J	= Fungsi rapat arus permukaan
f	= Frekuensi
η_0	= Impedansi
Φ	= Fase atau sudut
α	= Jari-jari silinder
N	= Jumlah sel
γ	= Koefisien Euler
E atau \vec{E}	= Medan listrik
E^{inc}	= Medan listrik datang
E^{s}	= Medan listrik terhambur
E^{t}	= Medan listrik total
J_n	= Fungsi Bessel pertama kedua orde ke- n
$H_n^{(2)}$	= Fungsi Hankel jenis kedua orde ke- n
Z, Z_{mn}	= Impedansi instrinsik sel
ρ_n	= Jarak titik tinjau ke- n (permukaan) dari pusat silinder
ρ, ρ_m	= Lokasi sensor atau jarak titik observasi dari pusat silinder
α_n, c_n	= Koefisien
$ E_z^{\text{t}} $	= <i>Magnitude</i> medan listrik total
α, α_m	= Nilai rapat arus permukaan
ϵ_r	= Permeabilitas relatif
ϵ_0	= Permeabilitas ruang vakum
λ_0	= Panjang gelombang ruang vakum
μ_0	= Permittivitas relatif
N	= Jumlah sel
H_0	= Fungsi Hankel bentuk pertama dan kedua
J_z	= Rapat arus

DAFTAR SINGKATAN

- TE = *Transverse Electric*
TM = *Transverse Magnetic*
MoM = *Method of Moment*
EFIE = *Electric Field Integral Equation*
EM = *Elektromagnetic*
2D = 2 Dimensi
GHz = *GigaHertz*
TM_z = *Transverse Magnetic di arah Z*



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tulang merupakan jaringan keras pada vertebrata yang sangat penting. Tulang merupakan sistem yang dapat menjadi penopang bagi tubuh, sebagai rangka, serta menjadi pelindung untuk organ vital. Tulang memiliki jenis yang bervariasi sesuai dengan kegunaan masing-masing. Jenis setiap tulang yang berbeda menyebabkan sifat dielektrik setiap tulang juga berbeda. Tulang muda dan tulang tua juga mempengaruhi sifat dielektrik.

Dielektrik merupakan suatu bahan yang memiliki daya hantar arus yang sangat kecil atau bahkan tidak ada. Dielektrik memiliki fungsi yang cukup penting. Bahan dielektrik berwujud padat, cair, maupun gas. Pada bahan dielektrik tidak terdapat elektron-elektron konduksi yang bergerak bebas di seluruh bahan oleh pengaruh medan listrik. Sehingga menyebabkan bahan dielektrik merupakan isolator yang baik. Semua elektron pada bahan dielektrik terikat kuat pada intinya sehingga terbentuk suatu struktur regangan benda padat, atau cairan, bahkan gas (Kacaribu, 2011).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pada tahun 1996, Saha mengungkapkan tentang sifat listrik dan dielektrik dari jaringan tulang manusia dan hubungannya dengan kepadatan dan kandungan mineral tulang, untuk pengukuran *in vitro* pada spesimen tulang standar untuk menentukan sifat dielektrik jaringan tulang (Saha, 1996). Ada banyak faktor yang mempengaruhi pengukuran impedansi dalam percobaan *in vitro*. Percobaan pada umumnya menggunakan tulang hewan atau tulang manusia yang sudah dikeringkan dan di rehidrasi. Rehidrasi berpengaruh terhadap sifat tulang yang diukur, karena rehidrasi tidak sepenuhnya mengembalikan kandungan asli dari tulang.

Penelitian tidak hanya terdapat pada tulang manusia saja. Pemodelan oleh Gafoor (2013), menunjukkan bahwa sifat dielektrik tulang berada di bawah *remodelling* konstan tergantung pada tingkat dan jenis *stress fungsional*. Hubungan sifat listrik dan dielektrik oleh rangsangan mekanik tulang mengakibatkan pengembangan alat untuk aplikasi diagnostik dan terapeutik.

Pengetahuan tentang sifat listrik dan dielektrik diperlukan guna menentukan medan listrik dan distribusi arus selama stimulasi listrik dari fraktur tulang.

Pada tahun 2013 Gafoor, melaporkan eksperimen tentang pengukuran faktor kapasitansi dan disipasi menggunakan LCR meter digital (Systronics, SDLCR 925), untuk membandingkan sifat dielektrik dari tulang paha sapi, tulang rusuk sapi, iga sapi, tulang paha unta, tulang rusuk unta, dan iga unta dengan menerapkan frekuensi 1KHz, dimana kapasitansi dan faktor disipasi diukur dengan dan tanpa sampel di dalam sel. Parameter ditentukan pada frekuensi 1KHz dalam suhu kamar. Nilai standart deviasi dari parameter mengungkapkan variasi diantara spesimen tulang yang berbeda tetapi bukan ketidakpastian pengukuran. Data yang diperoleh memiliki adanya variasi yang cukup besar dalam parameter yang diamati.

Penelitian terkait sifat listrik dan dielektrik terhadap jenis tulang yang digunakan, menunjukkan hasil dimana data parameter yang dicari berdasarkan sifat listrik dan dielektrik diamati dari banyaknya sampel oleh setiap jenis tulang yang diambil. Gafoor (2013) menerangkan bahwa konstanta dielektrik (ϵ') dan kerugian dielektrik (ϵ'') lebih tinggi pada tulang unta daripada pada tulang sapi terlepas dari jenis tulang. Konstanta dielektrik dan kerugian dielektrik lebih tinggi dalam tulang paha dibandingkan dengan tulang rusuk dan tulang belikat.

De Mercato (1991) menunjukkan bahwa untuk tulang sapi, sifat listrik dan dielektrik bervariasi dengan lokasi sampel dan sifat-sifat tulang kortikal berbeda dari tulang kanselus. Dalam studi sebelumnya, data disajikan pada ketergantungan frekuensi dari sifat listrik dan dielektrik dari tulang kortikal dan kanselus. Hubungan antara sifat mekanik tulang dan sifat fisiknya (densitas) telah diteliti secara detail oleh Carter pada tahun 1976 dan 1977. Jaringan tulang kortikal dan kanselus dapat dianggap mekanis sebagai suatu bahan dengan kepadatan beragam.

Dielektrik tergantung dari jenis dan bentuk suatu tulang. Pada penelitian sebelumnya untuk mengukur sifat listrik dan dielektrik tulang digunakan dengan cara mengambil tulang dari tubuh manusia atau hewan yang akan diteliti. Namun pada penelitian ini untuk mengukur sifat listrik dan dielektrik tulang tidak perlu harus mengambil tulang dari tubuh manusia atau hewan yang akan diteliti.

Hamburan gelombang elektromagnetik diteliti dengan menggunakan gelombang mikro.

Gelombang mikro disebut gelombang transversal karena medan listrik dan medan magnet bergerak tegak lurus terhadap arah perambatannya dan gelombang transversal terjadi dalam dua keadaan bebas dari polarisasi yaitu polarisasi vertikal dan horizontal. Jika $E_z = 0$ dinamakan gelombang TE, sedangkan apabila $H_z = 0$ disebut dengan gelombang TM untuk gelombang yang merambat dalam arah sumbu Z (Griffiths, 1999).

Secara umum, masalah hamburan sering dipecahkan dengan menggunakan metode persamaan integral yang disebut *Method of Moment* (MoM). Medan magnet dan listrik dan bagian luar silinder dengan bentuk penampang melintang disimulasikan oleh Richmond (1995). Harington (1993) mengusulkan solusi numerik dari persamaan integral menggunakan MoM. Rhodes (1953), mengembangkan teknik iterasi untuk masalah hamburan dielektrik. Solusi orde pertama adalah diperoleh dengan memperkirakan total bidang dielektrik tubuh dengan bidang insiden dan kemudian menghitung bidang yang tersebar dengan mempertimbangkan volume yang setara arus di wilayah dielektrik untuk memancar dalam ruang bebas tak terbatas.

Beberapa orang telah melakukan penelitian tentang hamburan gelombang mikro menggunakan MoM. Salah satunya menurut Nugroho (2016), MoM digunakan untuk menghitung distribusi arus di permukaan silinder. Solusi integral dapat diimplementasikan di permukaan integral dan volume integral. Penerapan integral permukaan biasanya melibatkan hamburan dari sebuah silinder. MoM telah diterapkan untuk mensimulasikan hamburan dari berbagai jenis masalah PEC milik Seran (2010). Integral permukaan dapat diterapkan untuk menghitung hamburan dari objek pencar homogen tetapi tidak cocok untuk objek homogen yang tembus pandang. Pada tahun 2017, Saharini melakukan MoM untuk mencari pola hamburan oleh silinder konduktif PEC dengan solusi numerik terhadap analitik serta aplikasi dengan perubahan frekuensi, pengaruh ukuran PEC, dan pengaruh lebar sel pada berbagai titik observasi terhadap *magnitude* dan fase gelombang.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi hamburan gelombang mikro di dalam tulang dengan metode MoM untuk mendeteksi atau mendiagnosa perbedaan medan terhambur dari berbagai jenis tulang. Jenis tulang yang digunakan yaitu tulang paha sapi, tulang rusuk sapi, iga sapi, tulang paha unta, tulang rusuk unta, iga unta berdasarkan sifat listrik dan dielektriknya dengan mengetahui pola hamburan yang terjadi dengan menggunakan data yang sudah ada milik Gafoor (2013). Metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah hamburan adalah MoM. Aplikasi MoM merupakan teknik umum untuk menyelesaikan persamaan integral dari medan magnet menggunakan pendekatan dengan membagi struktur silinder menjadi beberapa segmen sel yang diperluas menggunakan *pulse basis function* untuk memperoleh hasil yang mendekati solusi analitik (Saharini, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana perbedaan medan terhambur oleh berbagai jenis tulang pada hewan sapi dan unta ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah dalam penyusunan penelitian ini maka peneliti memberikan batasan masalah :

1. Metode yang digunakan untuk aproksimasi numerik pada penelitian ini adalah metode MoM yang diterapkan dalam permasalahan hamburan gelombang mikro TM_z oleh silinder konduktif. Medan magnet adalah medan magnet terhambur dari fase dan amplitudo.
2. Dielektrik dengan data milik Gafoor (2013) yang digunakan adalah tulang dari sapi dan tulang unta untuk variasi frekuensi, jenis tulang hewan yang diteliti, ukuran objek, dan jumlah sel cacahan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengaplikasikan MoM untuk menentukan medan magnet terhambur oleh tulang dari hewan ketika disinari gelombang mikro dengan mode TM_z . Solusi MoM dipelajari berdasarkan *error* dan solusi relatif terhadap solusi eksak. Studi dilakukan pada berbagai variasi frekuensi, variasi jenis tulang dari hewan yang diteliti, serta ukuran objek. Perbedaan fase dan amplitude gelombang akan diamati dari plotting citra 2D medan magnet terhambur.

1.5 Manfaat

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa akurat MoM untuk menyelesaikan hamburan gelombang elektromagnetik pada tulang hewan. Beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian dapat dijadikan acuan bagi peneliti selanjutnya untuk mendapatkan informasi tentang pengaplikasian metode MoM dalam menyelesaikan masalah hamburan gelombang mikro TM_z untuk jenis bahan yang lain.
2. Memberikan informasi fisis yang berkaitan dengan gelombang mikro yang dapat diaplikasikan tanpa harus mengambil sampel tulang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulang

Tulang merupakan jaringan keras pada vertebrata yang sangat penting. Tulang merupakan penopang bagi tubuh yang mampu memberikan bentuk pada tubuh dan tempat jaringan lunak tumbuh. Tulang adalah salah satu bahan alami yang terbuat dari komponen organik serta komponen anorganik (Moore, 2001). Tulang memiliki jenis yang bervariasi untuk berbagai fungsi. Perbedaan fungsi ini menyebabkan tulang memiliki jenis dan komposisi struktur yang berbeda.

Komposisi utama dari jaringan tulang adalah mineral, air, dan matriks kolagen. Mineral tulang merupakan komponen anorganik tulang, sedangkan kolagen merupakan komponen organik. Jaringan tulang memiliki beberapa mineral lain seperti kalsium (Ca) dan Fosfor (P). Tulang akan melepaskan mineral dalam darah sehingga tercipta keseimbangan mineral dalam tubuh ketika diperlukan. Serat kolagen akan memberikan kemampuan pada tulang untuk membengkok dan meregang. Kombinasi keduanya akan menjadikan tulang menjadi kuat (Bintoro, 2012).

Tulang memiliki komponen seluler yang terdiri dari osteogenik, osteoblas, osteoklas, osteokit, dan elemen *hemopoietic* dari sumsum tulang (Recker, 1992). Tulang memiliki dua komponen yaitu tulang kortikal dan tulang trabekula, dimana tulang kortikal ini padat, kuat, dan mengelilingi sumsum. Sedangkan tulang trabekula tersusun dari jaringan menyerupai sarang lebah dan batangan trabekula menyelengi kompartemen sumsum tulang (Usha, 2012). Tulang terdiri dari sel osteoblas dan osteosit, sel pembentukan disebut osteoklas. Tulang mengalami pertumbuhan longitudinal dan radial, pemodelan dan remodelling (Clarke, 2008).

Tulang merupakan jaringan hidup dan bersifat dinamis. Tulang mengalami proses rekonstruksi internal dan *remodelling*. Proses *remodelling* merupakan proses dimana sel tulang lama akan tergantikan oleh sel tulang yang baru. Tulang merupakan jaringan ikat yang terdiri dari sel, serat dan bahan pengisi. Bahan pengisi pada tulang terdiri dari protein dan mineral. Kalsium fosfat 58,3%,

kalsium karbonat 1%, magnesium fosfat 2,1%, kalsium klorida 1,5% dan protein sebanyak 30,6% adalah garam mineral yang terdapat pada tulang (Ward, 1977). Sifat listrik dan dielektrik alami tulang bergantung pada kepadatan tulang, oleh sebab itu dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan tulang (Sierpowska J., 2003). Sifat dielektrik tidak hanya dilihat dari kepadatan tulang saja, namun dapat dilihat dari jenis tulang. Karena setiap jenis tulang memiliki dielektrik yang berbeda-beda.

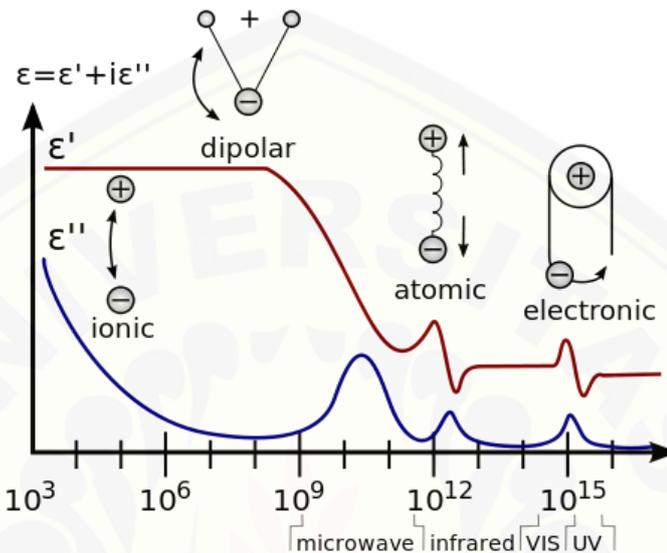
2.2 Dielektrik

Dielektrik merupakan bahan yang tidak memiliki muatan bebas yang berpengaruh terhadap sifat kelistrikan. Semua bahan dielektrik terikat kuat pada intinya sehingga terbentuk suatu struktur regangan benda padat, atau cairan, bahkan gas. Bagian positif dan negatifnya terikat bersama-sama sehingga setiap aliran massa tidak merupakan perpindahan dari muatan. Sifat dielektrik merupakan gambaran tingkat kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi. Sifat dielektrik menyebabkan perubahan frekuensi pada gelombang mikro, sehingga sifat dielektrik mempengaruhi perubahan frekuensi (Kacaribu, 2011).

Konstanta dielektrik adalah perbandingan nilai kapasitor pada bahan dielektrik dengan nilai kapasitansi ruang hampa. Konstanta dielektrik mempresentasikan rapat fluks elektrostatik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Sifat dielektrik merupakan sifat dalam penggambaran kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi (Sutrisno dan Gie, 1983). Konstanta dielektrik suatu material dapat dinyatakan sebagai kuantitas kompleks terdiri dari bagian nyata (ϵ') dan bagian imajiner (ϵ''). Bagian nyata dari konstanta dielektrik adalah jumlah yang menggambarkan energi listrik yang dikonversi menjadi energi potensial yang tersimpan, menghasilkan polarisasi dari bahan dielektrik (Kumar, 2013).

2.3 Sifat Dielektrik dan Frekuensi Gelombang Mikro

Nilai konstanta dielektrik selalu lebih tinggi daripada kerugian dielektrik. Hal tersebut dikarenakan kerugian tidak pernah mencapai batas maksimum dari konstanta dielektrik. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.1 dibawah ini :



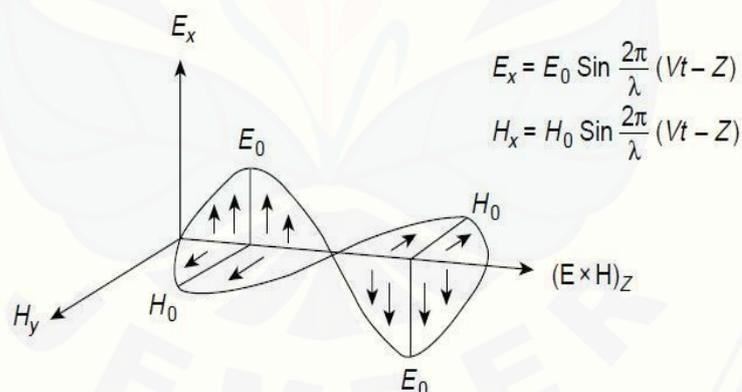
Gambar 2.1 Sifat dielektrik terhadap frekuensi gelombang mikro (Sumber: Balanis,1989)

Ketika frekuensi pada posisi 10^9 , konstanta dielektrik (ϵ') akan berada diposisi rendah sehingga dielektrik akan ada pada bilangan real yang menghasilkan kapasitansi, resistansi, dan induktansi. Sedangkan, pada posisi 10^{11} , ϵ' akan berada pada naik kembali sehingga kapasitansi tidak begitu kompleks. Namun pada bilangan real, yang terjadi adalah saat bilangan real berada pada $Z = A + iB$ yaitu saat nilai A berada diantara 1-10 maka bilangan real itu hanya ada di interval sampai 10 jenis, sedangkan saat bilangan real saat nilai A digabungkan dengan B yang sama-sama bernilai 1-10 akan ada 100 jenis Z yang berbeda di stage satu. Sehingga perbedaan yang kecil menyebabkan bilangan kompleks memberikan info yang lebih besar. Sedangkan ketika frekuensi berada pada posisi 10^9 , kerugian dielektrik (ϵ'') akan mengalami kenaikan yang mengakibatkan adanya perbandingan terbalik terhadap ϵ' . Namun pada posisi 10^{10} , ϵ'' akan mengalami penurunan sehingga dielektrik berada pada bilangan real. Sifat dielektrik sangat berpengaruh terhadap frekuensi gelombang mikro yang digunakan dengan gelombang elektromagnetik.

2.4 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang merambat tidak menggunakan medium. Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnetik (Harefa, 2012). Gelombang ini merupakan gelombang transversal karena medan magnet dan medan listrik yang bergetar adalah arah tegak lurus dengan arah rambat gelombangnya (Mahardika, 2012). Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang secara bersamaan membawa medan listrik dan medan magnet. Gelombang elektromagnetik berguna bagi kehidupan sehari-hari seperti pada bidang kedokteran (Iskander, 2000).

Teori gelombang elektromagnetik diawali oleh teori Maxwell yang dikemukakan pada abad 19. Gelombang diartikan sebagai suatu perambatan getaran, sedangkan elektromagnetik merupakan kelistrikan dan kemagnetan yang ditimbulkan. Gelombang dapat merambat dalam keadaan apapun tanpa memerlukan medium dan terdiri dari komponen listrik dan magnet (Harrington R., 2001). Gambar 2.2 menunjukkan perambatan gelombang dengan komponen medan listrik dan medan magnet :



Gambar 2.2 Perambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet (Sumber: Cheng, 2013)

Arah medan magnet saling tegak lurus terhadap arah medan listrik, sedangkan arah rambat gelombang elektromagnetik juga tegak lurus terhadap dua medan sehingga gelombang elektromagnetik termasuk dalam gelombang transversal (Cheng, 2013).

2.5 Method of Moment

Method of Moment (MoM) merupakan metode komputasi numerik yang sering digunakan untuk menganalisis gelombang elektromagnetik seperti permasalahan hamburan (Davidson, 2005). MoM merupakan metode untuk mendapatkan solusi dari persamaan fungsi turunan, integral dengan menggunakan bentuk matrik. MoM merupakan salah satu metode analisis gelombang elektromagnetik yang memiliki keakuratan tinggi, namun untuk mencari solusi ini dibutuhkan software pemrograman untuk membantu perhitungan numerik (Simanjutak, 2009). MoM adalah metode numerik untuk memecahkan masalah persamaan integral dengan syarat batas. MoM dilakukan untuk mensimulasikan hamburan yang terjadi pada tulang. Hasil dari mengukur MoM dengan geometri silinder akan dibandingkan dengan solusi analitik (Tsuji, 2010).

2.6 Hamburan Gelombang TM dari Silinder Dielektrik

Silinder dielektrik yang tidak homogen akan ditandai dengan permitivitas relatif kompleks $\epsilon_r(x, y)$ dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan integral volume. Untuk polarisasi TM_z , EIFE muncul dalam persamaan

$$\tilde{E}^{inc}(\vec{r}) = \tilde{E}(\vec{r}) + jk\eta\tilde{A} + \nabla\Phi \quad (2.1)$$

dapat diberikan

$$E_z^{inc}(x, y) = \frac{J_z}{j\omega\epsilon_0(\epsilon_r - 1)} + j\omega\mu_0 A_z \quad (2.2)$$

Dimana,

$$A_z(x, y) = \iint J_z(x', y') \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(kR) dx' dy' \quad (2.3)$$

Dan,

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (2.4)$$

Potongan melintang silinder dapat dibagi menjadi sel, seperti pada gambar (2.2). jika kerapatan arus polarisasi yang tidak dapat diperkirakan oleh superposisi dengan fungsi basis pulsa didefinisikan dalam ruang dua dimensi sebagai,

$$\rho_n(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{jika } (x, y) \in \text{cell} \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (2.5)$$

Kepadatan dapat dinyatakan sebagai

$$J_z(x, y) \sum_{n=1}^N j_n \rho_n(x, y) \tag{2.6}$$

Persamaan (2.6) dimasukkan kedalam persamaan (2.2), menjadi

$$E_z^{inc}(x, y) \sum_{n=1}^N j_n \left(\frac{\eta \rho_n(x, y)}{jk[\epsilon_r(x, y) - 1]} + jk\eta \iint_{celln} \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(kR) dx' dy' \right) \tag{2.7}$$

Persamaan (2.7) di pusat masing-masing sel N menghasilkan sistem N x N,

$$\begin{bmatrix} E_z^{inc}(x_1, y_1) \\ E_z^{inc}(x_2, y_2) \\ \vdots \\ E_z^{inc}(x_N, y_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_1 \\ j_2 \\ \vdots \\ j_N \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

Sehingga diperoleh,

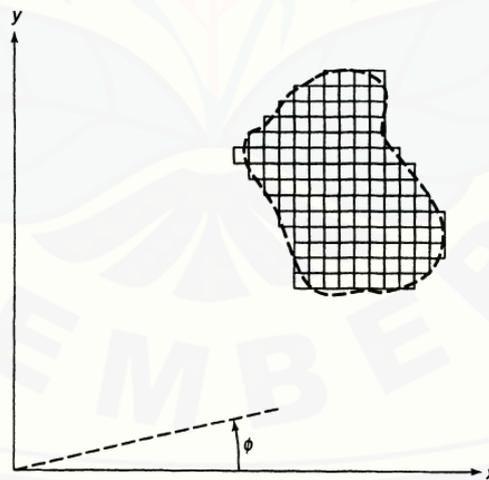
$$Z_{mn} = \frac{k\eta}{4} \iint_{celln} H_0^{(2)}(kR_m) dx' dy' \quad m \neq n \tag{2.9}$$

Dan

$$Z_{mm} = \frac{\eta}{jk(\epsilon_{rm} - 1)} + \frac{k\eta}{4} \iint_{cellm} H_0^{(2)}(kR_m) dx' dy' \tag{2.10}$$

Dimana,

$$R_m = \sqrt{(x_m - x')^2 + (y_m - y')^2} \tag{2.11}$$



Gambar 2.3 Penampang silinder dielektrik yang menggambarkan cara wilayah dibagi (Sumber: Peterson, 1998)

Dalam persamaan (2.10), ϵ_{rn} adalah rata-rata relatif kompleks relatif dari sel ke-N dalam model silinder. Meskipun integral dalam (2.9) dan (2.10) dievaluasi secara

numerik kuadrat, dapat dilakukan dengan pendekatan analitik jika bentuk sel didekati oleh lingkaran dari area yang sama.

$$\int_{\Phi'=0}^{2\pi} \int_{\rho'=0}^a H_0^{(2)}(kR) \rho' d\rho' d\Phi' = \begin{cases} \frac{2\pi a}{k} J_0(k\rho) H_1^{(2)}(ka) - \frac{j4}{k^2} & \rho < a \\ \frac{2\pi a}{k} J_1(ka) H_0^{(2)}(k\rho) & \rho > a \end{cases} \quad (2.12)$$

Dimana (ρ, Φ) koordinat silinder konvensional, menunjukkan jari-jari setara lingkaran, J_0 dan J_1 adalah fungsi Bessel dari urutan nol dan satu, dan H adalah fungsi Hankel. Apabila $\rho < a$ maka didapatkan,

$$Z_{mm} = \frac{\eta\pi a_n}{2} H_0^{(2)}(ka_m) - \frac{j\eta\epsilon_{rm}}{k(\epsilon_{rm}-1)} \quad (2.13)$$

Dimana,

$$Z_{mn} = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \quad (2.14)$$

Untuk entri diagonal dan apabila $\rho > a$ maka,

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

Untuk entri diagonal. Sebagai konsekuensi menggunakan J_z bukan E_z , ϵ_{rm} yang hanya muncul di matrik diagonal. Hal ini dikarenakan saat $\rho > a$, Z akan bernilai $m \neq n$, sedangkan saat $\rho < a$, Z akan bernilai m (Peterson, 1998).

2.7 Solusi Analitik Hamburan Gelombang TM

Medan listrik dalam bentuk gelombang dapat ditulis sebagai

$$\hat{a}_z E_0 e^{jk_0(x\cos\Phi + y\sin\Phi)} \quad (2.16)$$

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

$$E_z^+ = \hat{a}_z E_0 e^{-jk_0x} \text{ dan } E_z^- = \hat{a}_z E_0 e^{+jk_0x} \quad (2.17)$$

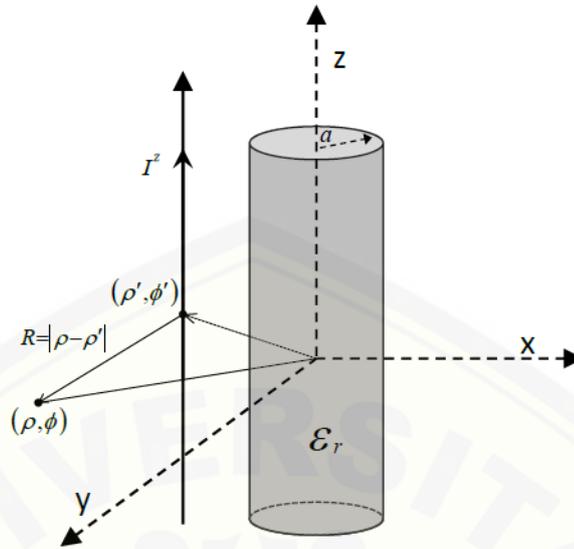
Selanjutnya, diekspresikan dalam fungsi gelombang silinder sebagai berikut,

$$E_z^+ = e^{-jkx} = e^{+jk\rho\cos\Phi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} J_n(k\rho) e^{jn\Phi} \quad (2.18)$$

Dan

$$E_z^- = e^{+jkx} = e^{+jk\rho\cos\Phi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{+n} J_n(k\rho) e^{jn\Phi} \quad (2.19)$$

Dimana J_n merupakan fungsi Bessel jenis pertama.



Gambar 2.4 Panjang tak terhingga sumber arus yang diarahkan pada arah z ditempatkan dekat silinder dielektrik obyek (Sumber: Nugroho, 2016)

Fungsi Hankel memperluas fungsi sumber garis dengan mendefinisikan R sebagai radial jarak antara sumber dan titik pengamatan $R = |\rho - \rho'|$.

$$E_z^i = \frac{-\beta^2 I_0}{4\omega\epsilon} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta\rho) H_n^{(2)}(\beta\rho') e^{jn(\phi-\phi')} \quad (2.20)$$

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

Sinyal gelombang mikro ditransmisikan kemudian bidang yang tersebar dihitung menggunakan *error*. Sehingga dapat ditentukan bidang tersebar dengan hasil solusi analitik dengan cara dibandingkan. Sebagai objek sederhana sehingga solusinya dapat diturunkan menggunakan ekspansi harmonik. Ekspansi dari Balanis (1989), dimana bidang hamburan oleh silinder dielektrik didefinisikan sebagai,

$$E^s = \hat{a}_z E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [a_n H_0^2(k_0\rho) e^{jn\phi}] \rightarrow E^s(\rho \geq a) \in \mathcal{D} \quad (2.21)$$

Untuk koefisien a_n ditentukan dengan menggunakan

$$a_n = \frac{\eta_0 J_n(k_0 a) J'_n(k_1 a) - \eta_1 J'_n(k_0 a) J_n(k_1 a)}{\eta_1 J_n(k_1 a) H_n^2(k_0 a) - J'_n(k_1 a) H_n^2(k_0 a)} \quad (2.22)$$

Garis hamburan oleh silinder dielektrik dihitung dengan menggunakan,

$$E_z^s = \frac{-k_0^2 I_0}{4\omega\epsilon} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n H_n^{(2)}(k_0\rho) e^{jn(\phi-\phi')} \quad (2.23)$$

Dimana koefisien c_n ditentukan menggunakan,

$$c_n = \frac{\frac{\mu_1}{\mu_0} J'_n(k_0 a) J_n(k_1 a) H_n^{(2)}(k_0 \rho') - \frac{k_1}{k_0} J'_n(k_1 a) J_n(k_0 a) H_n^{(2)}(k_0 \rho')}{\frac{k_1}{k_0} H_n^{(2)}(k_0 a) J'_n(k_1 a) - \frac{\mu_1}{\mu_2} H_n^{(2)}(k_0 a) J_n(k_1 a)} \quad (2.24)$$

Sehingga, untuk nilai a_n dan c_n dapat diketahui dari persamaan 2.22 dan 2.24.

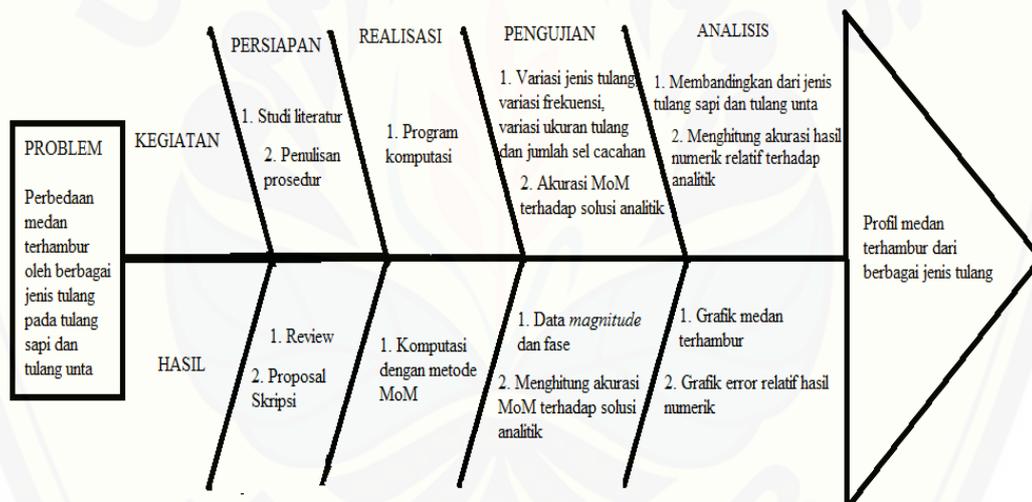


BAB 3. METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dipaparkan metode yang digunakan. Rancangan penelitian, jenis dan sumber data, definisi operasional variabel beserta skala pengukurannya, dan kerangka pemecahan masalah akan dijelaskan secara berurutan. Langkah kerja penelitian dan teknik pengambilan data dijelaskan di bagian prosedur penelitian sedangkan metode untuk menganalisis hasil dan data yang diperoleh terdapat pada bagian terakhir metode penelitian.

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dipresentasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Fishbone* chart kegiatan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur sehingga mendapatkan review penelitian-penelitian yang sudah dilakukan untuk dijadikan sebagai dasar dalam merumuskan masalah penelitian yang ada di literatur. Studi literatur juga digunakan untuk mempelajari teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya yaitu dalam tahap realisasi dimasukkan untuk mencari solusi numerik dan analitik hamburan gelombang elektromagnetik. Solusi numerik akan dicari dengan program komputasi menggunakan aplikasi MATLAB dengan metode MoM untuk memperoleh

data dan dilakukan pengujian penelitian. Langkah pengujian ini meliputi proses variasi untuk berbagai jenis tulang, akurasi MoM terhadap solusi analitik, jenis tulang berbeda untuk amplitudo dan fase medan terhambur dengan ukuran dan cacahan yang berbeda untuk setiap jenis tulang juga akan dilakukan variasi yang berupa frekuensi, ukuran, dan jumlah sel cacahan. Hasil dari masing-masing pengujian yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis agar dapat ditarik kesimpulan dari permasalahan yang sudah dirumuskan. Kemudian rancangan penelitian tersebut dikemas dalam bentuk karya tulis ilmiah berupa laporan tugas akhir. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan mode TM_z dengan metode MoM (*Method of Moment*) untuk mengetahui pola hamburan dari berbagai jenis tulang.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif, jenis data tersebut dapat dihitung atau diukur secara langsung dan dapat dinyatakan dalam bentuk angka. Nilai medan terhambur dari dielektrik tulang yang diperoleh merupakan data sekunder yang dihasilkan pada penelitian milik Gafoor (2013). Data hamburan didapat dari sumber data primer berupa data yang dihitung oleh peneliti sendiri.

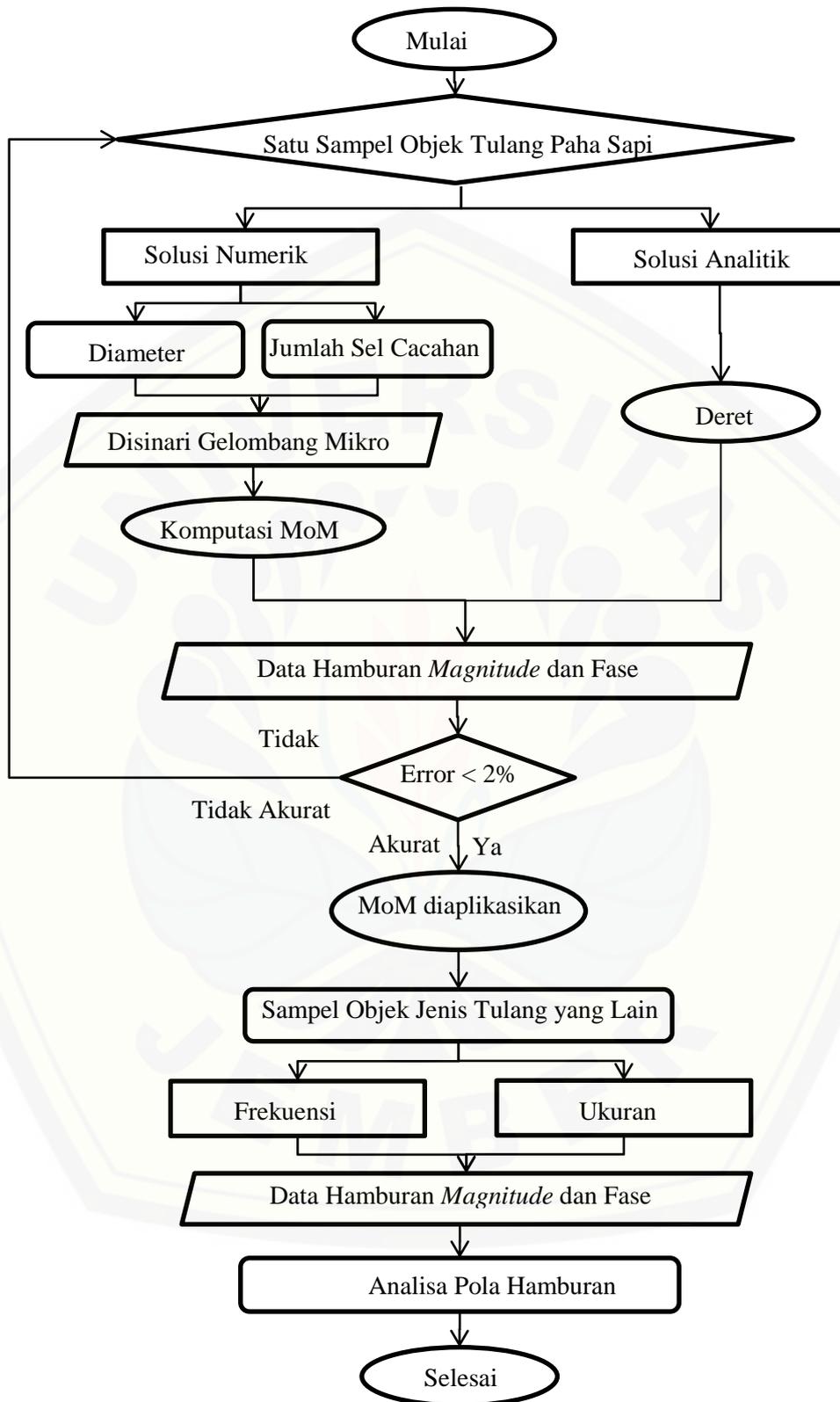
3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran

Variabel merupakan faktor-faktor yang berpengaruh dalam penelitian dan memiliki nilai yang dapat berubah atau diubah. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah dielektrik tulang, frekuensi, ukuran tulang, dan titik koordinat observasi. Sedangkan, variabel terikat merupakan variabel yang mengalami perubahan akibat dari variabel bebas. Terdapat dua buah variabel terikat dalam penelitian ini, yaitu amplitudo dan fase dari medan terhambur.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Proses pemecahan masalah yang dilakukan pada penelitian ini dinyatakan dalam gambar 3.2. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pemilihan data sekunder yang sudah diteliti milik Gafoor pada tahun 2013 yaitu pada penelitian milik Gafoor, ia meneliti sample objek dielektrik dari berbagai jenis tulang sapi dan tulang unta. Tulang yang diteliti ini adalah tulang paha sapi, tulang rusuk sapi, skapula sapi, tulang paha unta, tulang rusuk unta, skapula unta. Selanjutnya, data sekunder milik Gafoor diteliti dengan melakukan variasi terhadap frekuensi untuk setiap jenis tulang, variasi untuk ukuran berbagai jenis tulang, serta variasi jumlah lebar sel cacahan pada tulang untuk dilihat pengaruhnya.

Tulang itu kemudian disinari menggunakan gelombang mikro, untuk mendapatkan pola medan terhambur yang dilakukan dengan menggunakan persamaan integral vektor potensial magnetik dalam medan magnet datang dengan menerapkan aplikasi MoM di MATLAB untuk menentukan rapat arus pada tulang yang diteliti. Sehingga diperoleh medan magnet terhambur dalam bentuk data hamburan *magnitude* dan fase. Setelah pola medan terhambur didapatkan, langkah selanjutnya adalah pengulangan untuk mendapatkan medan terhambur dari berbagai jenis tulang yang lain.



Gambar 3.2 Kerangka pemecahan masalah

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan untuk penelitian hamburan gelombang mikro TM_z oleh dielektrik tulang adalah sebagai berikut :

3.5.1 Komputasi dengan Metode Numerik MoM Relatif terhadap Solusi Analitik

Beberapa langkah untuk menentukan komputasi dengan metode numerik MoM relatif terhadap solusi analitik adalah sebagai berikut : (Persamaan dibawah diambil dari buku Peterson, 1978)

a. Persamaan medan magnet datang untuk solusi numerik dan solusi analitik

Solusi analitik dan solusi numerik diaplikasikan untuk hamburan pada tulang. Kedua solusi ini akan dibandingkan dengan error relatif solusi MoM terhadap solusi analitik yang dipresentasikan. Medan datang yang digunakan untuk kedua solusi adalah *plane wave* dalam mode TM_z adalah sebagai berikut :

$$E_z^{inc}(x, y) = \frac{J_z}{j\omega\epsilon_0(\epsilon_r - 1)} + j\omega\mu_0 A_z \quad (3.1)$$

Medan E bergerak dari kiri ke kanan kearah sumbu x positif dengan polarisasi ke sumbu z. Medan tersebut mengenai tulang yang berbentuk silinder dan terhambur.

b. Solusi eksak dengan metode analitik

Medan listrik didalam tulang adalah nol, demikian juga medan pada permukaan tulang. Maka medan terhambur disekeliling objek dihitung dengan solusi analitik sebagai berikut :

$$E_z^s = -\frac{k_0^2 I_0}{4\omega\epsilon} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} c_n H_n^{(2)}(k_0 \rho) e^{jn(\phi - \phi')} \quad (3.2)$$

Dimana, $J'_n(ka)$ dan $H_n^{(2)'}(ka)$ merupakan turunan pertama dari fungsi Bessel dan Hankel orde n yang muncul karena persamaan $E^{inc} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla_x H^{inc}$ sebagai aplikasi syarat batas $E_z^t = 0$ dipermukaan tulang.

c. Solusi numerik dengan metode MoM

Solusi numerik medan terhambur dengan metode MoM dihitung dengan mencacah permukaan tulang menjadi N buah sel, kemudian rapat arus dihitung dengan persamaan

$$[j] = [Z_{nn}]^{-1} [H_z^{inc}] \quad (3.3)$$

Dimana $n = 1, 2, \dots, N$ adalah indek sel tulang. Kemudian medan terhambur dihitung dalam bentuk operasi matrik sebagai berikut :

$$[E_z^{scat}] = [Z_{mn}][j] \quad (3.4)$$

Dimana $m = 1, 2, \dots, M$ adalah indek titik observasi disekeliling objek. $[H_z^{scat}]$ merupakan vektor dengan ukuran $M \times 1$, $[Z_{mn}]$ adalah matrik dengan ukuran $M \times N$, dan $[j]$ adalah vektor dengan ukuran $N \times 1$.

Untuk Z_{mn} :

$$Z_{mn} = \frac{\eta\pi a_n}{2} J_1(ka_n) H_0^{(2)}(kR_{mn}) \quad m \neq n \quad (3.5)$$

Untuk Z_{mm} :

$$Z_{mm} = \frac{\eta\pi a_n}{2} H_0^{(2)}(ka_m) - \frac{j\eta\epsilon_{rm}}{k(\epsilon_{rm}-1)} \quad (3.6)$$

d. Akurasi solusi MoM relatif terhadap Solusi Eksak

Dalam penelitian ini akurasi solusi MoM relatif terhadap solusi eksak yaitu menentukan solusi dari medan magnet terhambur dari kedua solusi dan data yang diperoleh menggunakan letak titik observasi dan jumlah sel cacahan sebanyak 200 sel. Kedua solusi medan terhambur tersebut di running untuk memperoleh data berupa grafik. Setelah itu menentukan nilai *error* relatif dengan perbedaan selisih dari solusi MoM terhadap solusi eksak dengan persamaan sebagai berikut

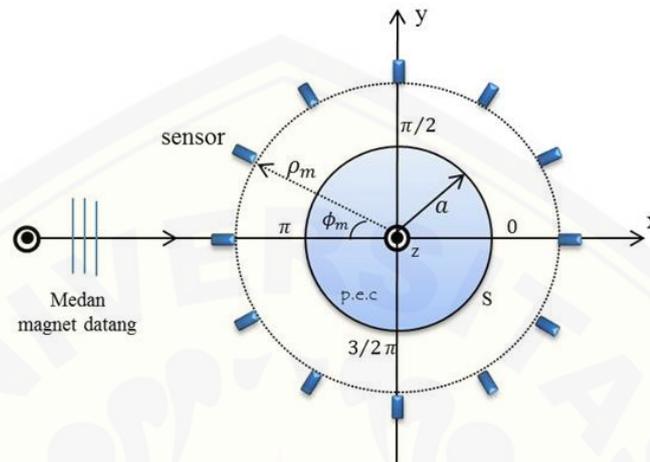
$$Error = \left| \frac{(E_z^{scat})_{analitik} - (E_z^{scat})_{numerik}}{(E_z^{scat})_{analitik}} \right| \times 100\% \quad (3.7)$$

Medan magnet terhambur mempunyai magnitudo dan fase gelombang, sehingga hasil yang didapatkan berupa grafik hubungan antara magnitudo dan fase dengan sudut observasi. Akurasi solusi MoM dihitung dengan menghitung solusi numerik terhadap solusi analitik.

3.5.2 Pengaruh Perubahan Frekuensi, Ukuran Tulang, dan Lebar Sel Cacahan

Pengaruh perubahan frekuensi, ukuran tulang pada penelitian tentang hamburan gelombang mikro ini menggunakan objek sampel tulang sapi dan tulang unta untuk setiap variasi dari perubahan frekuensi, ukuran tulang, dan lebar sel cacahan. Sampel tulang yang dihitung adalah hamburan dengan pemodelan menggunakan penampang lintang silinder berbentuk lingkaran yang berada pada

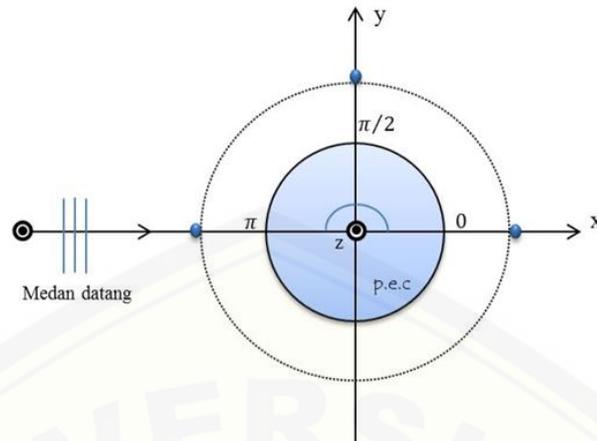
koordinat x dan y dengan jari-jari a . Titik koordinat pusat silinder terletak di titik $(0,0)$ dengan gelombang bidang datang dari arah π rad.



Gambar 3.3 Penampang lintang silinder konduktif sempurna (Sumber: Saharini, 2017)

Sensor diletakkan melingkar di sekitar tulang dan jarak sensor dari pusat tulang ρ_m dengan sudut observasi sebesar ϕ_m , sedangkan S mendefinisikan permukaan tulang. Solusi analitik dan solusi numerik dilakukan pada titik observasi yang sama dengan jarak dari pusat tulang sebesar $2a$. Sudut observasi ditentukan dari 0 sampai $6,28$ rad. Tujuan menggunakan konfigurasi titik observasi melingkar adalah untuk mengetahui perubahan nilai *magnitude* dan nilai fase di bagian jarak titik observasi dari pusat tulang. Dalam penelitian ini menggunakan variasi parameter frekuensi, ukuran tulang, serta jumlah sel cacahan. Variasi frekuensi yang digunakan adalah 1 GHz sampai 10 GHz dengan spand 100 MHz, sedangkan variasi ukuran tulang sebesar $1.0\lambda_0$, $1.2\lambda_0$, $1.4\lambda_0$, $1.6\lambda_0$, dan $1.8\lambda_0$.

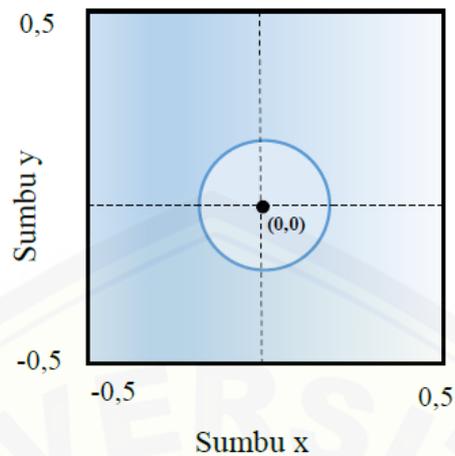
Konfigurasi titik observasi dilakukan pada beberapa sudut observasi dengan pengaruh perubahan jumlah sel cacahan. Skema konfigurasi titik observasi pada sudut observasi seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Konfigurasi titik observasi pada sudut tertentu (Sumber: Saharini, 2017)

Sudut observasi yang digunakan adalah 0 rad, 1.57 rad, dan 3.14 dengan masing –masing sudut mewakili satu titik observasi, sedangkan jarak dari sudut observasi dari pusat tulang sebesar 5cm. Tujuan konfigurasi titik observasi pada sudut yang ditentukan adalah untuk mengetahui perubahan nilai *magnitude* atau fase dari medan magnet terhambur. Hasil dalam bentuk grafik yang diperoleh didukung oleh citra 2D medan magnet terhambur nilai *magnitude* dan fase gelombang.

Citra 2D medan magnet terhambur dari *magnitude* dan fase gelombang seperti yang dipresentasikan oleh Nugroho (2015). Citra 2D pada titik observasi dilakukan dengan membuat sebuah *mesh*. *Mesh* didefinisikan sebagai suatu kotak kecil pada suatu kota persegi panjang yang memiliki permitivitas tertentu (Kurniawan, 2010). *Mesh* dalam penelitian ini berbentuk persegi dengan ketentuan sumbu x sebagai panjang dan sumbu y sebagai lebar. *Mesh* membentuk sebuah sel dimana dalam satu sel *magnitude* dan fase dapat terukur sama sehingga tiap sel dapat diwakili oleh sebuah titik seperti yang diaplikasikan oleh Nugroho (2009). Bentuk susunan mesh ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5 Susunan *mesh* sebagai visualisasi *magnitude* dan fase (Sumber: Dhiartzari, 2018)

3.6 Analisis Data

Terdapat beberapa analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

Perbedaan medan terhambur untuk jenis tulang diukur pada beberapa perubahan frekuensi, pengaruh ukuran serta jumlah sel cacahan yang dijelaskan dalam bentuk dua grafik yaitu grafik hubungan antara *magnitude* dan sudut observasi serta hubungan antara fase dan sudut observasi. Tulang yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu tulang paha sapi, tulang rusuk sapi, iga sapi, tulang paha unta, tulang rusuk unta, iga unta yang data diambil dengan menggunakan data yang sudah ada milik Gafoor (2013).

3.6.1 Akurasi Solusi Numerik MoM Relatif terhadap Solusi Analitik

Penyelesaian masalah hamburan gelombang elektromagnetik menghasilkan nilai *magnitude* dan fase gelombang dalam bentuk grafik hubungan antara sudut observasi dengan nilai *magnitude* dan fase. Plotting tersebut dilakukan untuk perbandingan solusi MoM terhadap solusi analitik pada titik observasi yang sama. Grafik solusi MoM harus berhimpit dengan solusi analitik. Jika kurva yang dihasilkan berhimpit, maka hasil numerik mendekati nilai solusi analitik. Hal tersebut juga berlaku untuk hasil grafik hubungan antara *magnitude* dan sudut

observasi serta fase dan sudut observasi bahwa kurva solusi numerik berhimpit dengan solusi analitik yang dihasilkan dari data milik Gafoor (2013). Tingkat kedekatan solusi numerik dan solusi analitik dinyatakan dengan tingkat akurasi.

3.6.2 Pengaruh Perubahan Frekuensi, Ukuran Tulang, dan Jumlah Lebar Sel Cacahan

Dalam penelitian ini solusi MoM dilakukan pada pengaruh frekuensi, ukuran tulang dan jumlah lebar sel cacahan pada beberapa sudut observasi.

a. Pengaruh Perubahan frekuensi

Pengaruh perubahan frekuensi dilakukan untuk mengetahui nilai *magnitude* dan fase medan terhambur di sekitar tulang. Hasil yang diperoleh berupa grafik perbandingan kurva solusi MoM dengan solusi analitik. Error relatif ditentukan menggunakan persamaan (3.01) dan (3.02). Pengaruh frekuensi terhadap *error* relatif dari kedua solusi tidak mengalami perubahan yang spesifik dengan nilai yang dihasilkan pada variasi frekuensi yang digunakan harus kecil. Hal ini dikarenakan panjang gelombang yang digunakan relatif kecil.

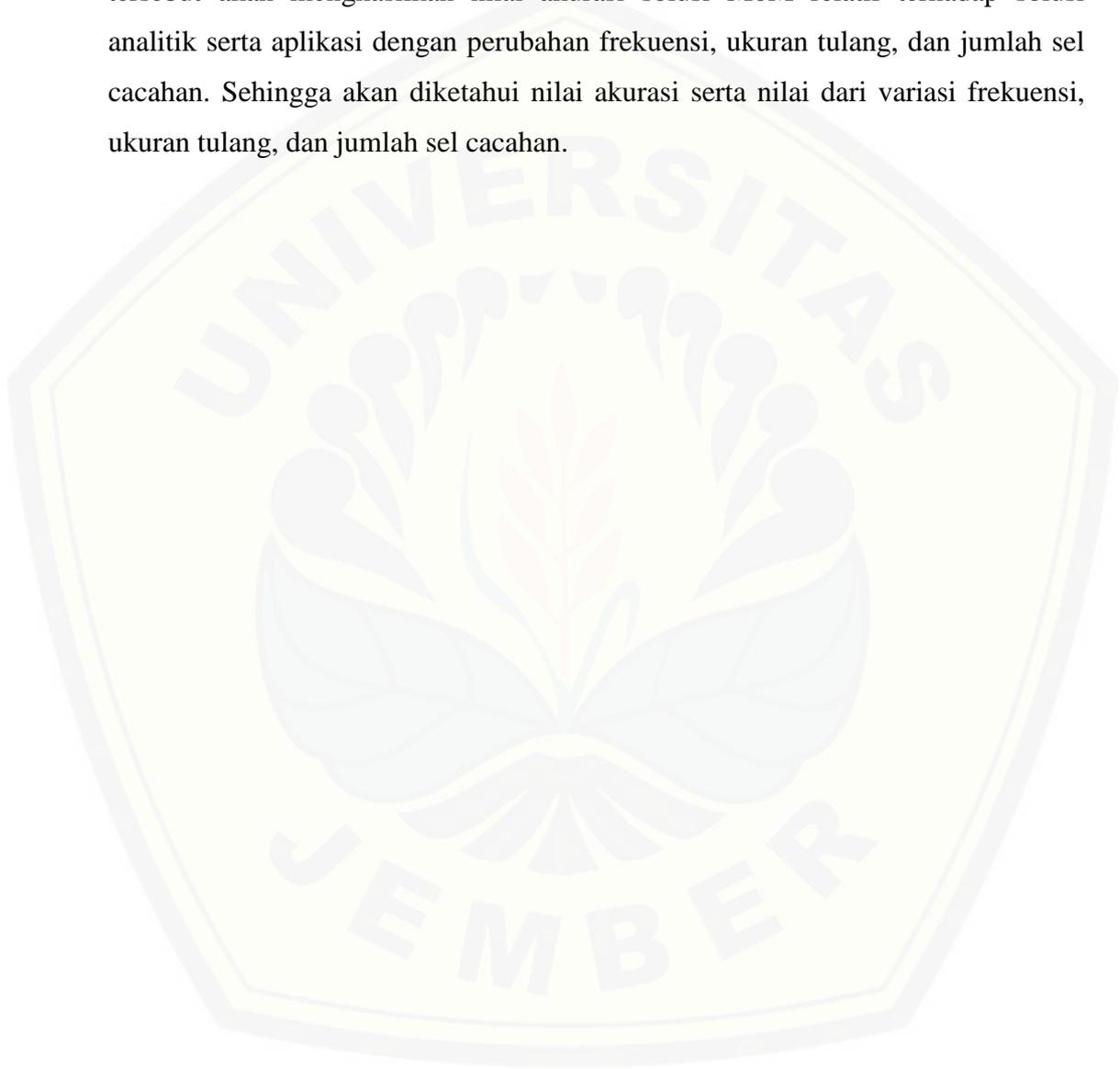
b. Pengaruh Ukuran Tulang

Ukuran tulang dalam penelitian ini berupa besar tulang yang diteliti. Variasi ukuran digunakan untuk mengetahui luas permukaan penghambur terhadap medan terhambur. Hasil hamburan ini digunakan untuk melihat dielektrik dari tulang tersebut. Jumlah sel cacahan dalam penelitian ini adalah 200 sel. Tidak hanya diperoleh hasil dalam bentuk grafik, akan tetapi juga didapatkan hasil gambar citra 2D untuk *magnitude* dan fase gelombang medan magnet terhambur yang dinyatakan dengan skala warna.

c. Pengaruh Jumlah Lebar Sel Cacahan

Distribusi dari medan magnet yang dihasilkan dikarenakan oleh letak titik observasi dan jumlah lebar sel cacahan mempengaruhi medan magnet terhambur menggunakan solusi MoM. Perubahan sel cacahan dapat mempengaruhi nilai *magnitude* dan fase gelombang dalam menentukan *error* relatif. Menurut hipotesis, tingkat akurasi akan semakin baik apabila jumlah sel cacahan yang digunakan untuk solusi numerik semakin banyak maka lebar sel yang dihasilkan semakin kecil.

Analisis data yang diperoleh dari data tulang paha sapi, tulang rusuk sapi, iga sapi, tulang paha unta, tulang rusuk unta, iga unta yang menggunakan data milik Gafoor (2013) menghasilkan dua grafik yaitu grafik hubungan antara *magnitude* dengan sudut observasi serta fase dengan sudut observasi. Hasil grafik tersebut akan menghasilkan nilai akurasi solusi MoM relatif terhadap solusi analitik serta aplikasi dengan perubahan frekuensi, ukuran tulang, dan jumlah sel cacahan. Sehingga akan diketahui nilai akurasi serta nilai dari variasi frekuensi, ukuran tulang, dan jumlah sel cacahan.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil sebuah kesimpulan yaitu tingkat akurasi yang baik dipilih dengan error kurang dari 2% dengan jumlah cacahan sebanyak 200 untuk dapat digunakan sebagai input dalam pencarian perubahan frekuensi dan perubahan ukuran tulang. Perubahan frekuensi cukup berpengaruh terhadap magnitude dan fase gelombang dimana semakin bertambah nilai frekuensi input maka semakin bertambah pula nilai magnitude yang dihasilkan, serta nilai fase menjadi lebih rapat. Sedangkan, perubahan ukuran juga cukup berpengaruh terhadap nilai magnitude dan nilai fase dimana tulang iga sapi dan tulang iga unta memiliki nilai yang relatif lebih besar daripada jenis dan bentuk tulang yang lain. Berpengaruhnya perubahan ukuran disebabkan oleh jenis dan bentuk tulang itu sendiri.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, saran yang dapat dijadikan sebagai proyeksi penelitian selanjutnya adalah :

1. Membuat *coding* pada spendiagnya lebih *simple* agar tidak menemukan kendala yang cukup berarti.
2. Penentuan jarak sudut observasi perlu ditentukan dengan nilai yang sama karena berpengaruh terhadap titik sudut observasi.
3. Pengaplikasian metode MoM dapat digunakan untuk objek yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Balanis, C. 1989. *Advanced Engineering Electromagnetics*. New York: Wiley.

Bintoro, A. R. 2012. *Studi Sitokompatibilitas Nano-Komposit Hidroksiapatit/Kitosan (n-HA/CS)*. Surabaya: Universitas Airlangga.

Carter, D. R. 1976. Bone Compressive Strength: The Influence of Density And Strain Rate. *Science*, 194:1174-1176.

Carter, D. R. 1977. The Compressive Behaviour of Bone as a Two-Phase Porous Structure. *J. Bone Joint Surg*, 59-A:954-962.

Cheng, D. 2013. *Field and Wave Electromagnetics*. Harlow, United Kingdom: Pearson Educated Limited.

Clarke, B. 2008. Normal Bone Anatomy and Physiology. *Clin J Am Soc Nephrol* 3:, S131-S139.

Davidson, D. 2005. *Computational Electromagnetik for RF and Microwave Engineering*. New York: Cambridge University Press.

De Mercato, G. a.-S. 1991. Variation of The Electric Properties Along The Diaphysis of Bovine Femoral Bone. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 29:441-446.

Gafoor, A. S. 2013. Dielectric Properties of Calcified Tissue - The Bone. *International Journal of Science*, 01.

Griffiths, D. J. 1999. *Introduction to Electrodynamics, 3rd Edition*. New Jersey: Prntice Hall.

- Harefa, S. 2012. *Analisis Perbandingan Model Propagasi untuk Komunikasi Bergerak pada Sistem GSM 900*. Skripsi. Medan: Fakultas Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- Harrington, R. 1993. *Field Computation by Moment Methods*. America: IEEE Press.
- Harrington, R. 2001. *Time-Harmonic Electromagnetic Field*. Boston, Willey-IEEE Press.
- Iskander, M. 2000. *Electromagnetic Fields and Waves*. Illinios: Waveland Press Inc.
- Kacaribu, R. 2011. *Pengaruh Pelapisan Dielektrik Minyak pada Dielektrik Plastik Terhadap Tegangan Tembus AC*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Kumar, H. S. 2013. Dielectric Behaviour of Cobalt Ferrite Nanoparticles. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2, 59-66.
- Kurniawan, C. 2010. Analisis Kopling Medan Elektromagnetik Transverse Magnetic (TM) pada Kristal Fotonik 2D dengan Efek Indeks Bias Simetrik Menggunakan Metode Tensor Green. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mahardika, D. S. 2012. Analisis Dan Perancangan Request server Otomatis pada Radio Streaming Berbasis WEB (Studi Kasus : Radio Streaming Universitas Tidar Magelang). *Skripsi*. Yogyakarta: STIMIK Amikom Yogyakarta.
- Moore, W. G. 2001. Synthetic Bone Graft Substitutes. *ANZ Journal of Surgery*, 71(6), 354-361.

- Nugroho, A. T. 2009. Modified Newton Kantorovich Methods for Solving Microwave Inverse Scattering Problems. *Jurnal ILMU DASAR*, 10, 153-159.
- Nugroho, A. T. 2015. Microwave Tomography. *Doctor of Philosophy*. The University of Manchester.
- Nugroho, A. T. 2016. Direct Scattering Problem for Microwave Tomography. *The 1st IBSC 2016, Jember, Indonesia. Universitas Jember*, 158.
- Peterson, A. R. 1998. Computational Methods for Electromagnetics. *Willey-IEEE Press*.
- Recker, R. 1992. Disorders of Bone and Mineral Metabolism. *Embryology anatomy, and microstructure of bone in Coe FI, Favus MJ (eds)*. New York: Raven. pp, 219-240.
- Rhodes, D. R. 1953. On the Theory of Scattering by Dielectric Bodies. *Rept. 475-1, Antenna Lab., The Ohio State University, Columbus*.
- Richmond, J. 1965. Scattering by a Dielectric Cylinder of Arbitrary Cross Section Shape. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 13., 334-341.
- Saha .S., a. P. 1996. The Electrical and Dielectric Properties and Human Bone Tissue and Their Relationship With Density and Bone Mineral Content. *Annals of Biomedical Engineering*, Vol 24, pp., 222-233.
- Saharini, Y. 2017. Aplikasi Method o Moment untuk Penyelesaian Hamburan Gelombang Mikro oleh Silinder Konduktif pada Mode TEz. *Skripsi*. Jember: Fisika FMIPA UNEJ.

Sierpowska J., T. J. 2003. Electrical and Dielectric Properties of Bovine Trabecular Bone--Relationships With Mechanical Properties and Mineral Density. *Phys Med Biol*;48(6):, 775-86.

Simanjutak, S. 2009. Analisis Karakterisasi Antena Mikrostrip Patch Segi Empat dengan Method of Moments. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Sutrisno dan Gie, T. I. 1983. *Seri Fisika Dasar: Listrik, Magnet dan termofisika*. Bandung: Penerbit ITB.

Tsuji, P. P. 2010. Scattering from PEC Cylinders by a Normally Incident Plane Wave. *Computational Electromagnetic: MoM Project. Vol. 335*.

Usha, K. d. 2012. *Physioloffy of Bone Formation, Remodeling, and Metabolism*. Berlin Heidelberg : Spinger-Verlag.

Utomo, H. P.2011. *Pengaruh Lama Penggerusan terhadap Konstanta Dielektrik, Kekerasan, dan Mikrostruktur Keramik Oksida SiO₂-MgO, tidak diterbitkan*. Universitas Negeri Malang.

Ward, A. G. 1977. *The Science Tecnology of Gelatin*. London: Academic Press.

William, H. H. 1989. *Elektromagnetika Teknologi Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data inputan milik Gafoor (2013)

Tabel 1 : Data tentang parameter dielektrik dari tulang paha sapi dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	OF01	4.14	5.29
2	OF02	6.04	5.74
3	OF03	6.02	10.95
4	OF04	5.17	8.54
5	OF05	9.84	20.16
6	OF06	4.68	5.76
7	OF07	4.65	6.19
8	OF08	6.85	6.23
	Mean	5.92	8.61
	S.D.	± 1.82	± 5.041

Tabel 2 : Data tentang parameter dielektrik iga sapi dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	OR01	5.00	3.20
2	OR02	7.00	4.34
3	OR03	3.82	2.44
4	OR04	5.67	3.34
5	OR05	6.17	3.52
6	OR06	3.50	1.72
7	OR07	5.36	3.38
8	OR08	4.23	2.62
9	OR09	6.18	3.59
10	OR10	5.36	3.49
11	OR11	9.55	5.73
12	OR12	4.43	2.52
	Mean	5.52	3.32
	S.D.	± 1.64	± 1.02

Tabel 3 : Data tentang parameter dielektrik iga sapi dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	OS01	6.71	3.89
2	OS02	3.14	1.73
3	OS03	3.77	1.88
4	OS04	3.67	1.76
5	OS05	5.85	3.27
	Mean	4.63	2.51
	S.D.	± 1.56	± 1.01

Tabel 4 : Data tentang parameter dielektrik tulang paha unta dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	CF01	6.00	36.12
2	CF02	6.00	39.60
3	CF03	7.00	38.50
	Mean	6.33	38.07
	S.D.	± 0.58	± 1.78

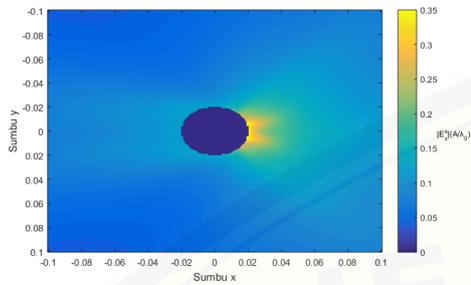
Tabel 5 : Data tentang parameter dielektrik tulang rusuk unta dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	CR01	8.13	3.90
2	CR02	4.06	2.15
3	CR03	6.88	3.44
4	CR04	5.94	2.91
5	CR05	6.32	3.35
6	CR06	4.64	2.27
7	CR07	7.94	3.65
8	CR08	8.00	4.08
9	CR09	6.68	3.28
10	CR10	5.20	2.50
	Mean	6.38	3.15
	S.D.	± 1.43	± 0.67

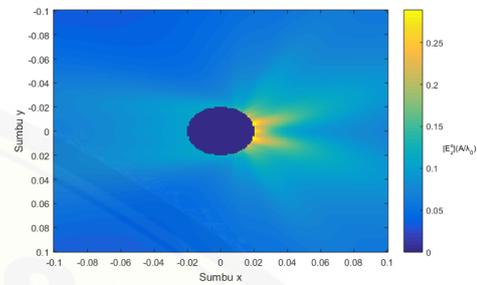
Tabel 6 : Data tentang parameter dielektrik iga unta dalam kondisi normal

S1. No	Sample Code	Dielectric Constant ϵ'	Dielectric Loss ϵ''
1	CS01	4.41	2.16
2	CS02	7.23	3.83
3	CS03	5.00	3.30
4	CS04	6.08	3.40
5	CS05	4.71	2.45
6	CS06	6.36	3.50
7	CS07	4.00	2.48
8	CS08	5.31	3.18
	Mean	5.39	3.04
	S.D.	± 1.09	± 0.60

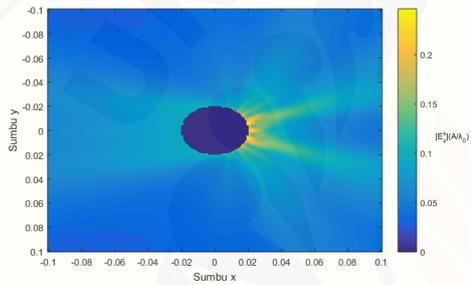
Lampiran 2. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80GHz



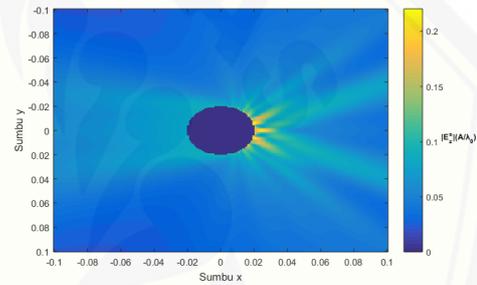
Frekuensi 30 GHz



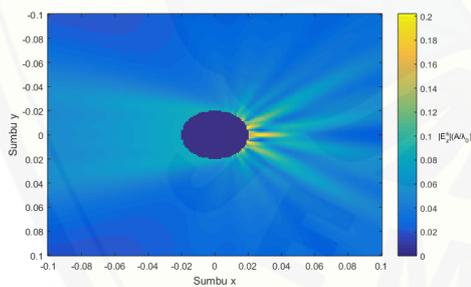
Frekuensi 40 GHz



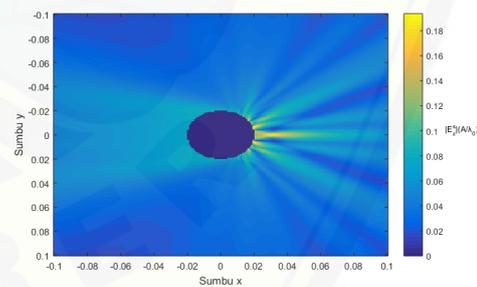
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

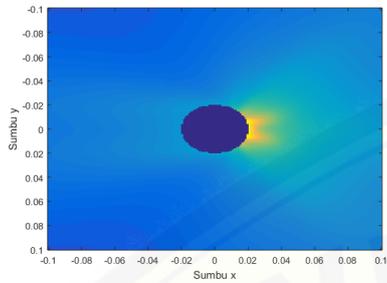


Frekuensi 70 GHz

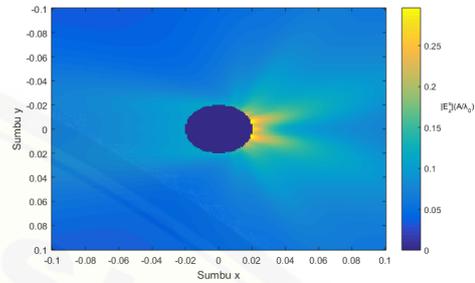


Frekuensi 80 GHz

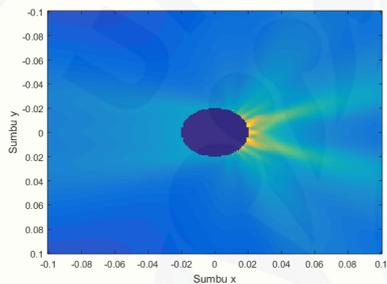
Lampiran 3. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



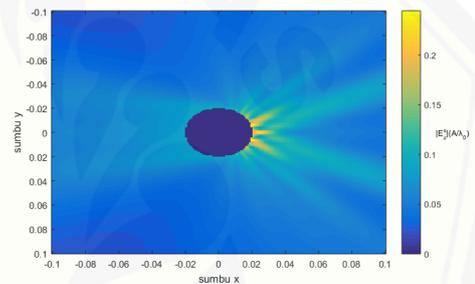
Frekuensi 30 GHz



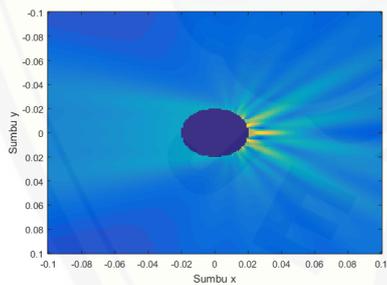
Frekuensi 40 GHz



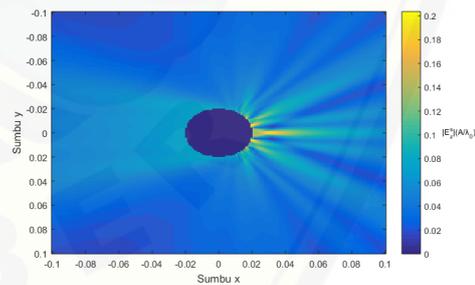
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

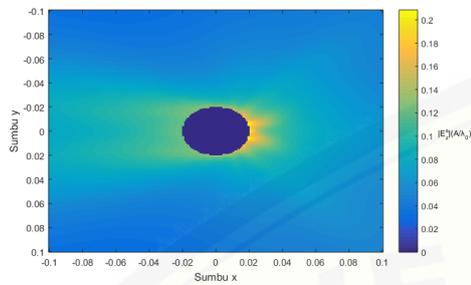


Frekuensi 70 GHz

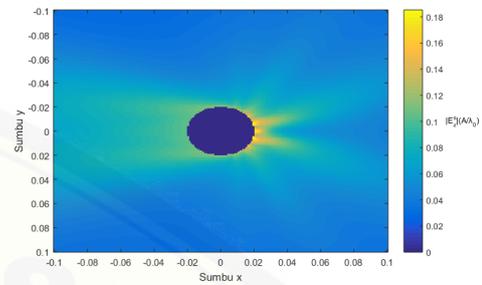


Frekuensi 80 GHz

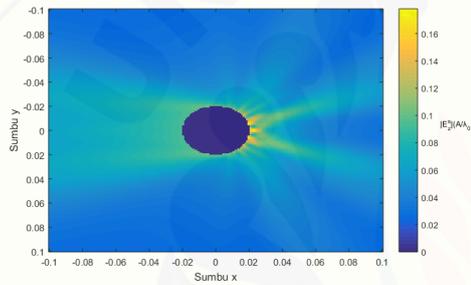
Lampiran 4. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



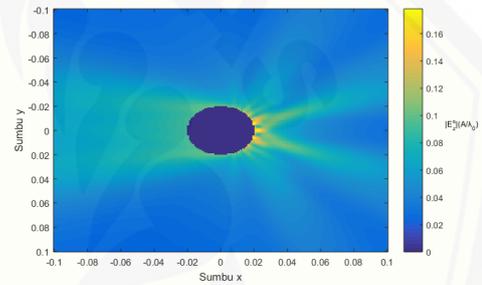
Frekuensi 30 GHz



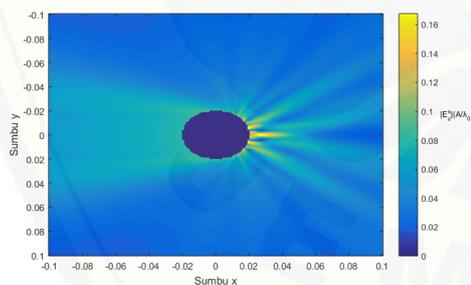
Frekuensi 40 GHz



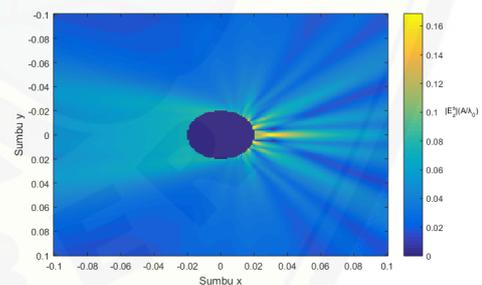
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

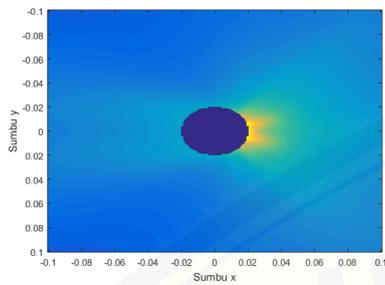


Frekuensi 70 GHz

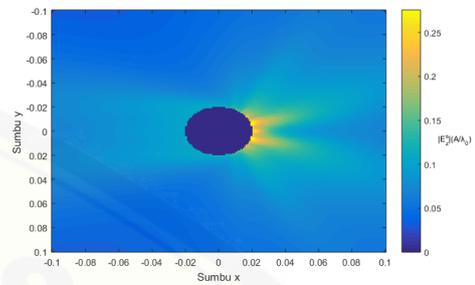


Frekuensi 80 GHz

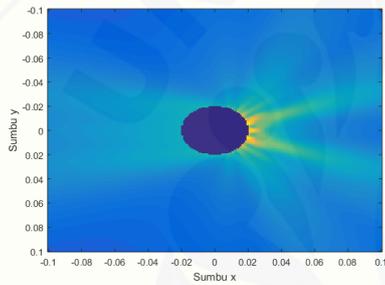
Lampiran 5. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



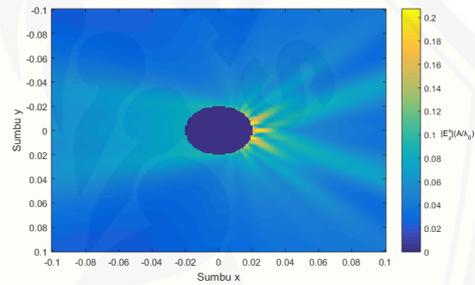
Frekuensi 30 GHz



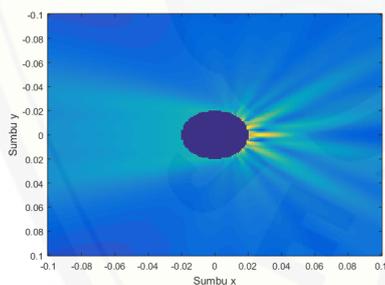
Frekuensi 40 GHz



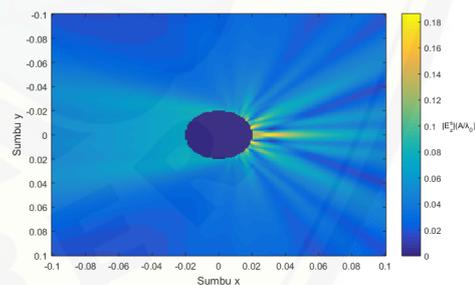
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

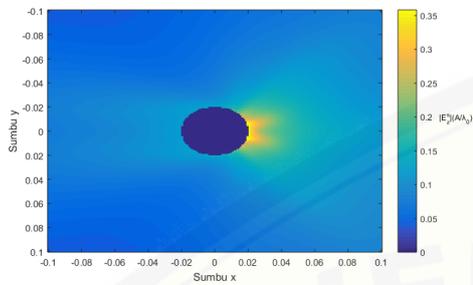


Frekuensi 70 GHz

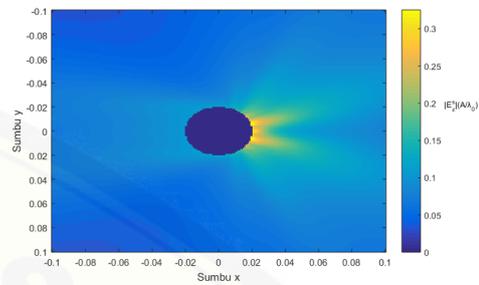


Frekuensi 80 GHz

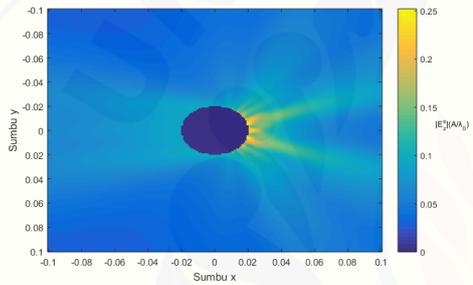
Lampiran 6. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



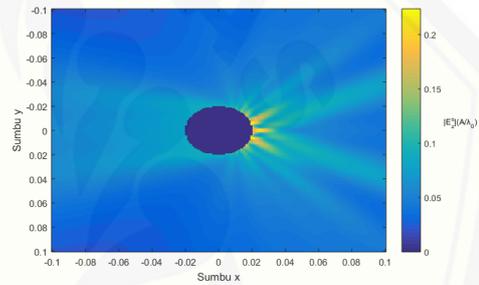
Frekuensi 30 GHz



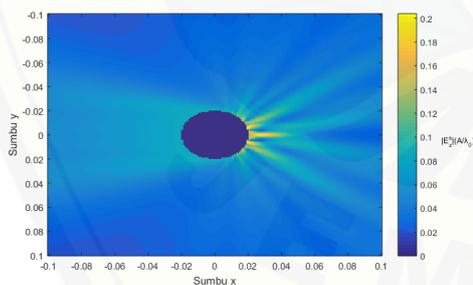
Frekuensi 40 GHz



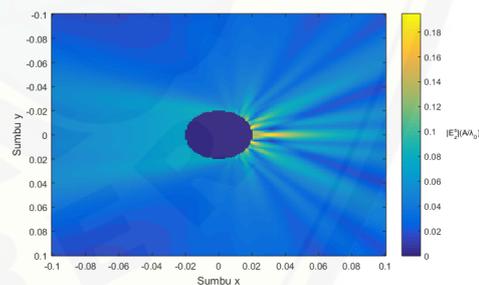
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

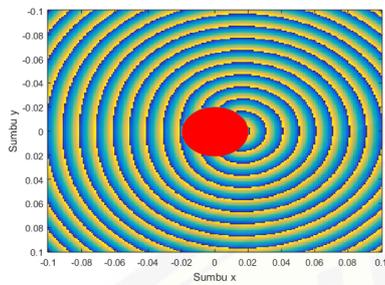


Frekuensi 70 GHz

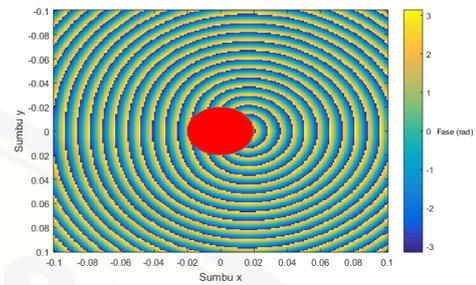


Frekuensi 80 GHz

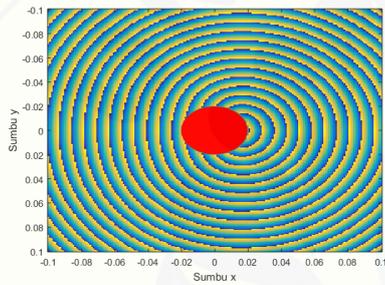
Lampiran 7. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80GHz



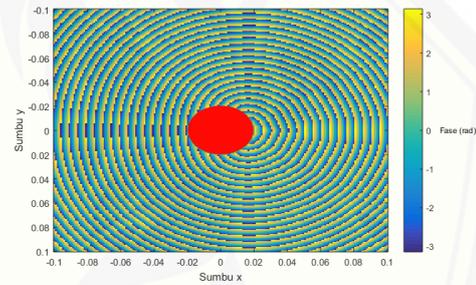
Frekuensi 30 GHz



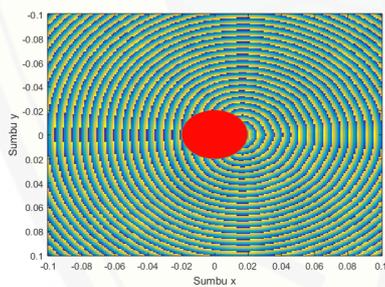
Frekuensi 40 GHz



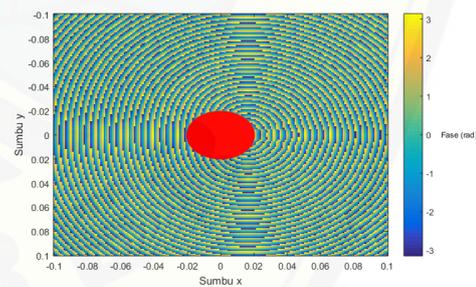
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

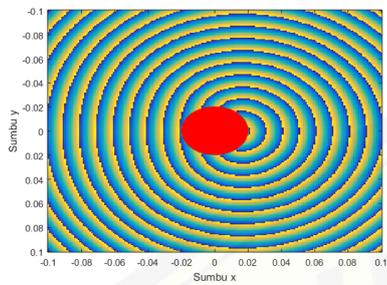


Frekuensi 70 GHz

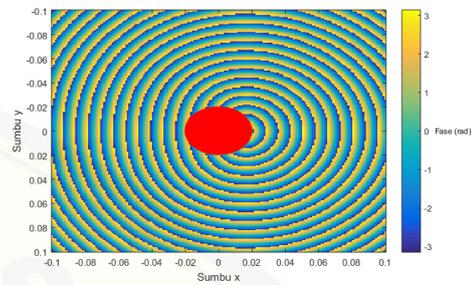


Frekuensi 80 GHz

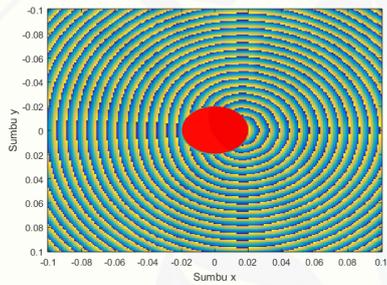
Lampiran 8. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



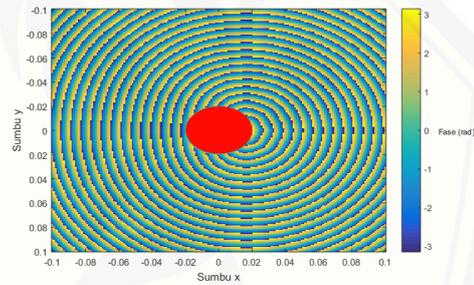
Frekuensi 30 GHz



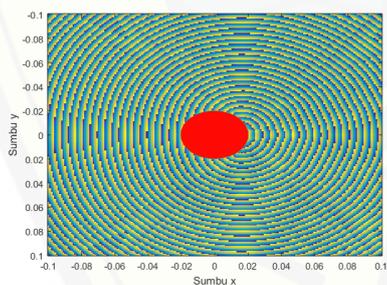
Frekuensi 40 GHz



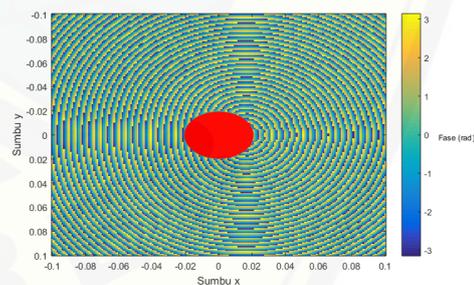
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

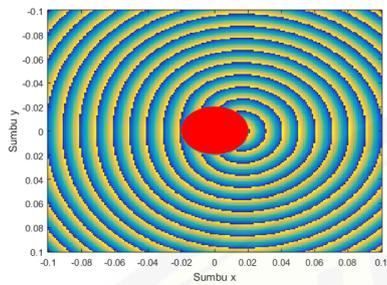


Frekuensi 70 GHz

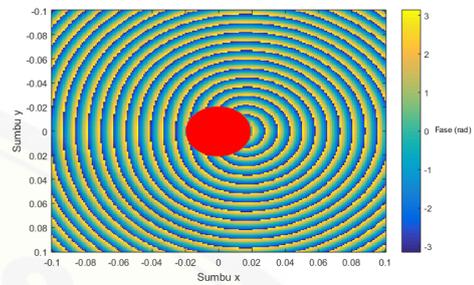


Frekuensi 80 GHz

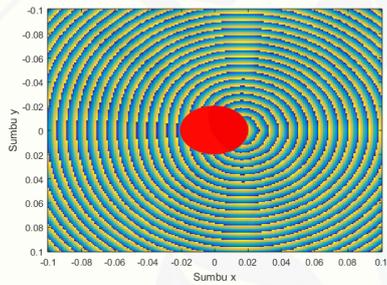
Lampiran 9. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh dengan jari silinder 2λ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



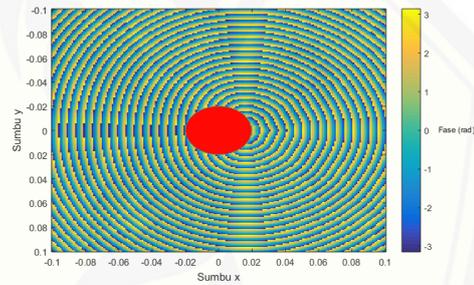
Frekuensi 30 GHz



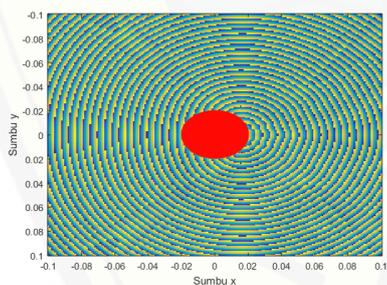
Frekuensi 40 GHz



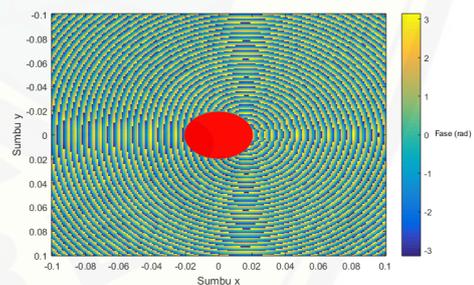
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

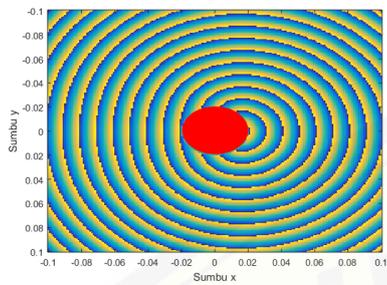


Frekuensi 70 GHz

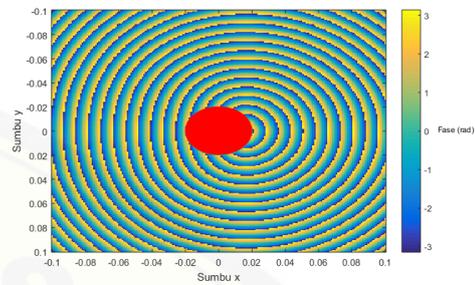


Frekuensi 80 GHz

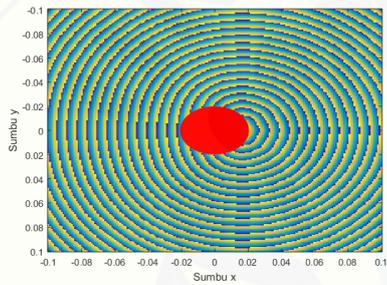
Lampiran 10. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



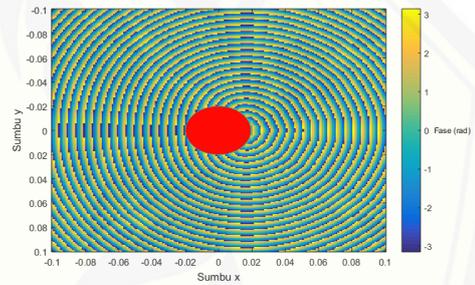
Frekuensi 30 GHz



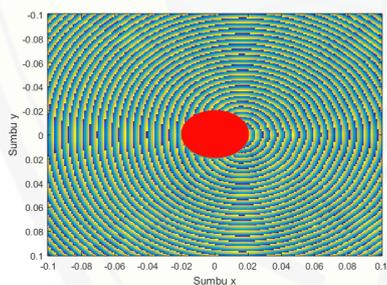
Frekuensi 40 GHz



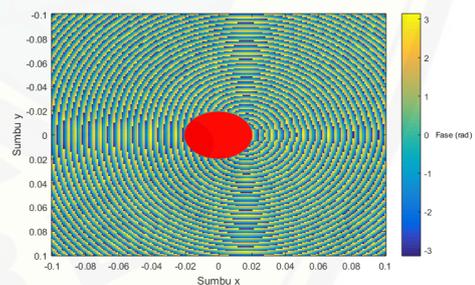
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

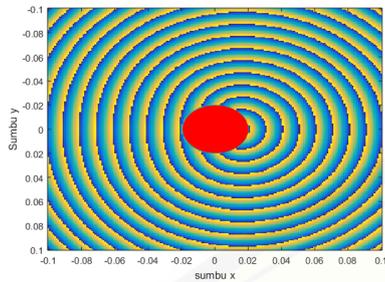


Frekuensi 70 GHz

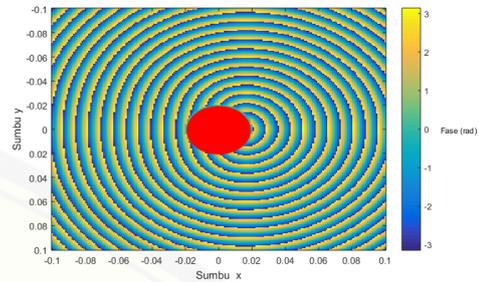


Frekuensi 80 GHz

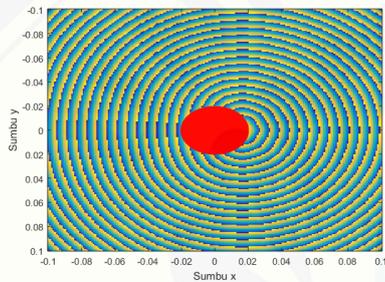
Lampiran 11. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh dengan jari silinder $2\lambda_0$ untuk variasi frekuensi 30 GHz hingga 80 GHz



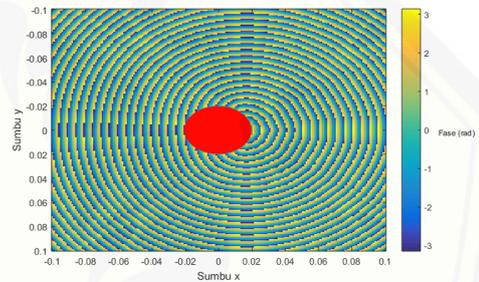
Frekuensi 30 GHz



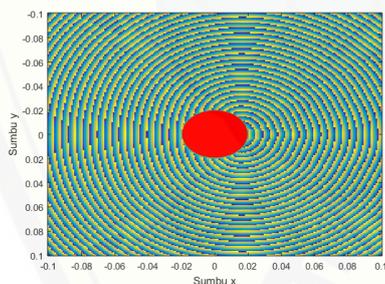
Frekuensi 40 GHz



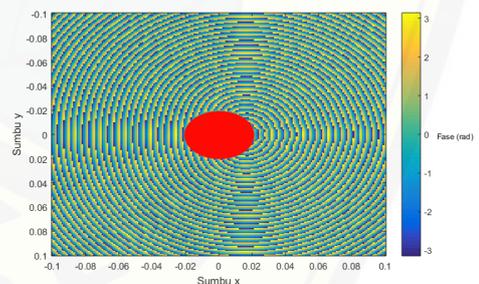
Frekuensi 50 GHz



Frekuensi 60 GHz

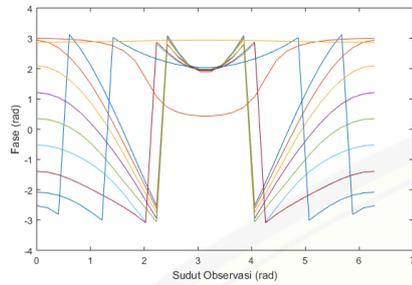


Frekuensi 70 GHz

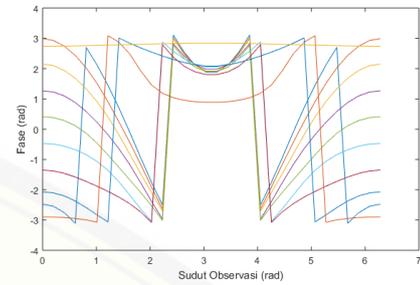


Frekuensi 80 GHz

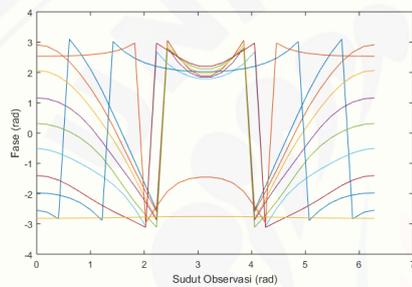
Lampiran 12. Grafik fase gelombang medan magnet terhambur pada frekuensi 5 GHz



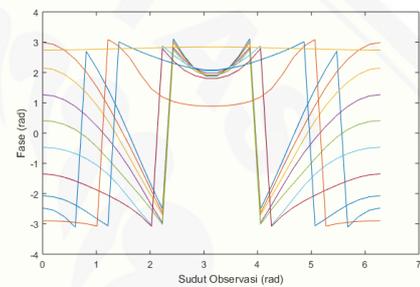
Tulang Rusuk Sapi



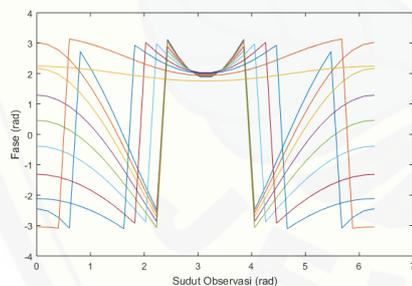
Tulang Rusuk Unta



Tulang Iga Sapi

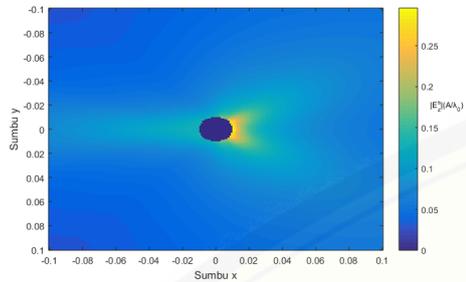


Tulang Iga Unta

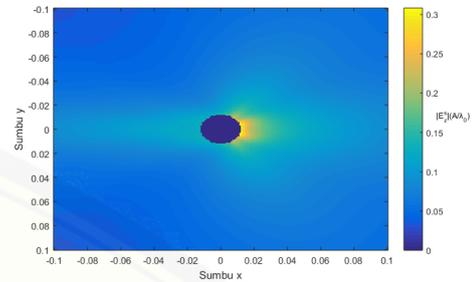


Tulang Paha Unta

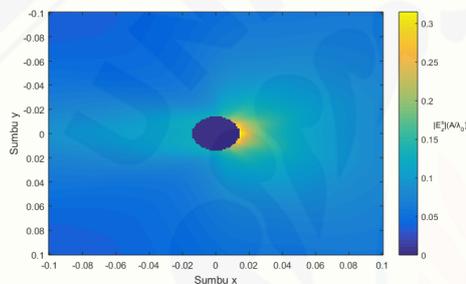
Lampiran 13. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



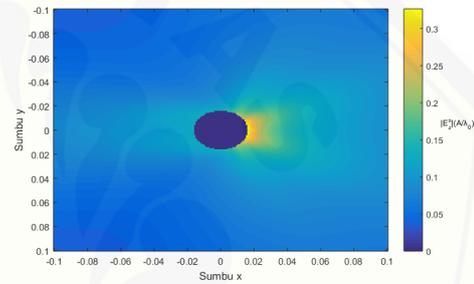
Jari-jari $1.0\lambda_0$



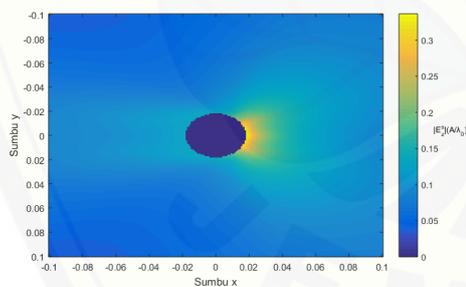
Jari-jari $1.2\lambda_0$



Jari-jari $1.4\lambda_0$

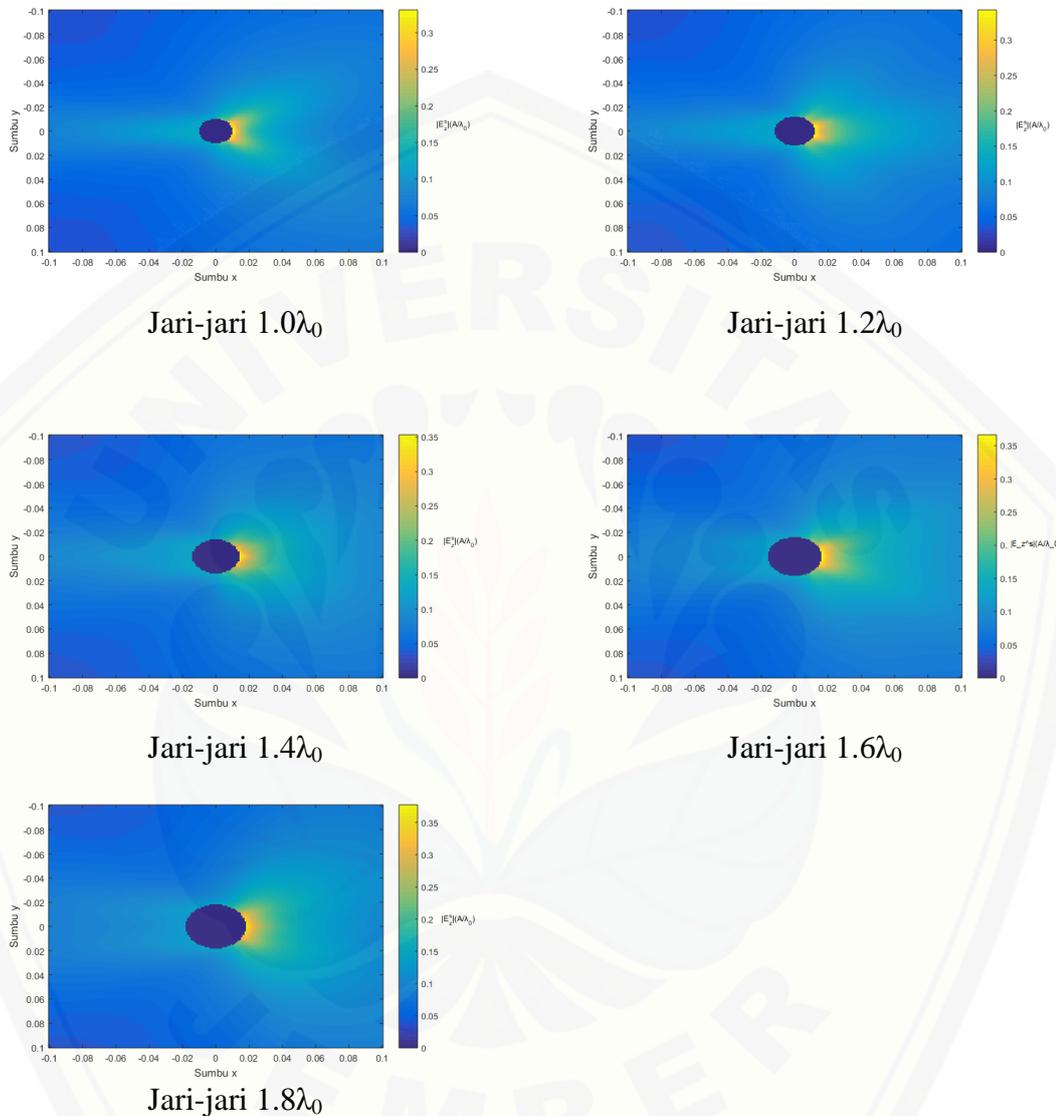


Jari-jari $1.6\lambda_0$

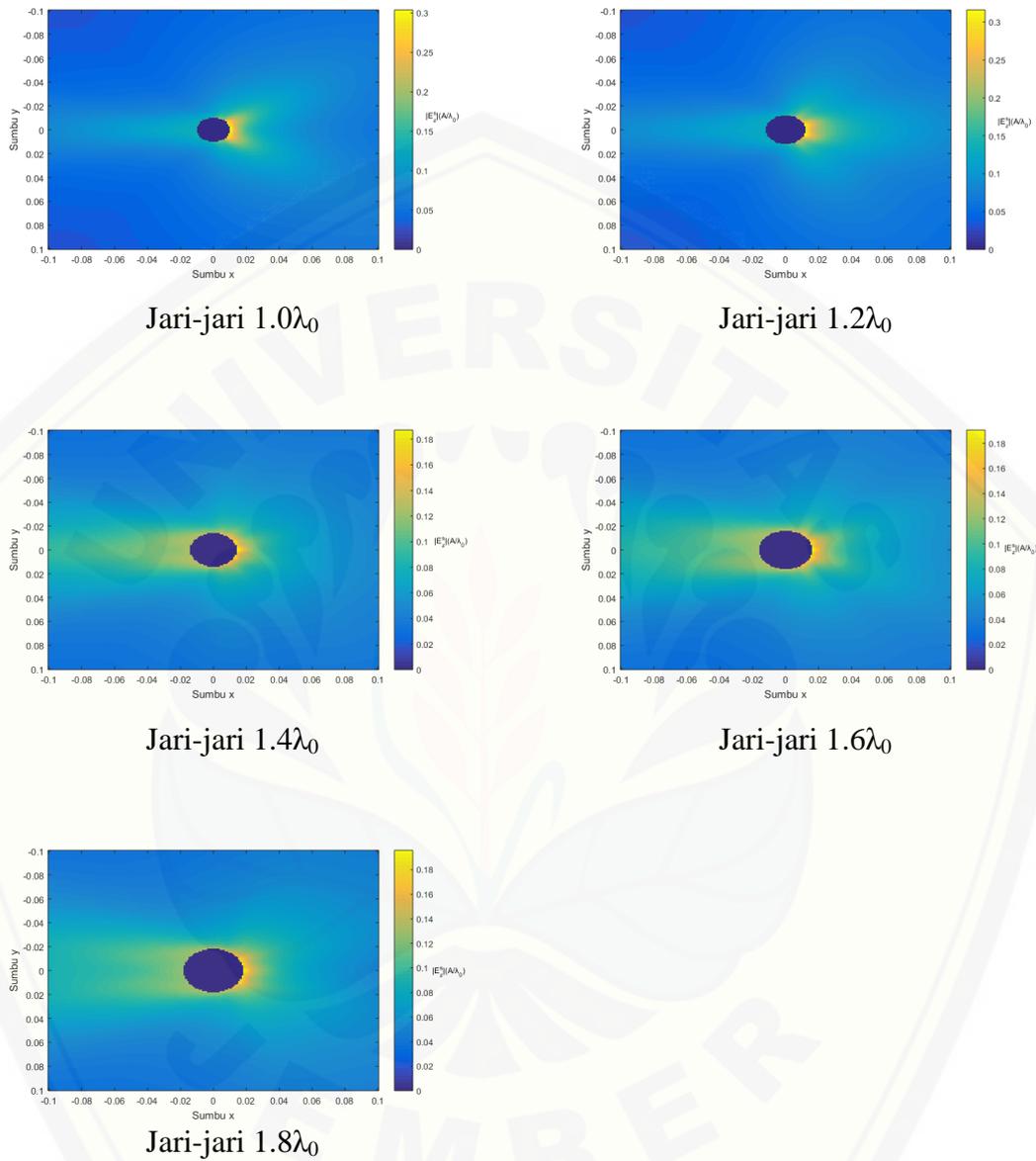


Jari-jari $1.8\lambda_0$

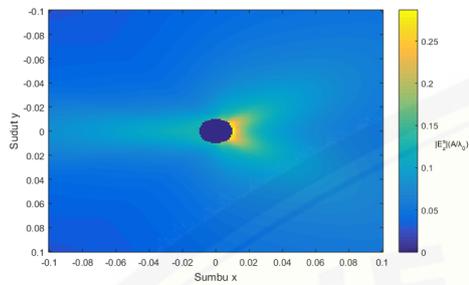
Lampiran 14. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



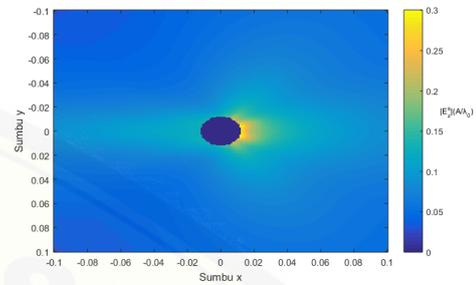
Lampiran 15. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



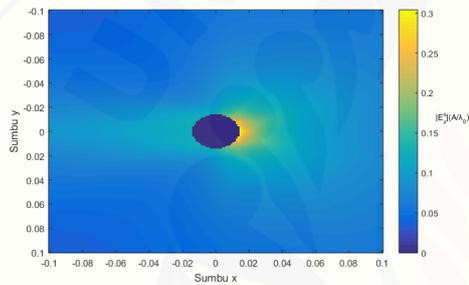
Lampiran 16. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



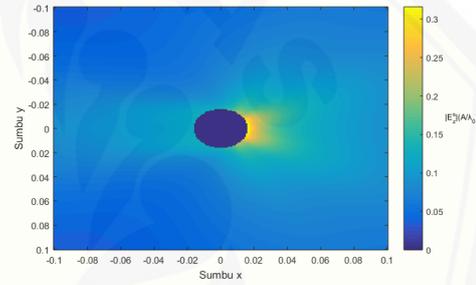
Jari-jari $1.0\lambda_0$



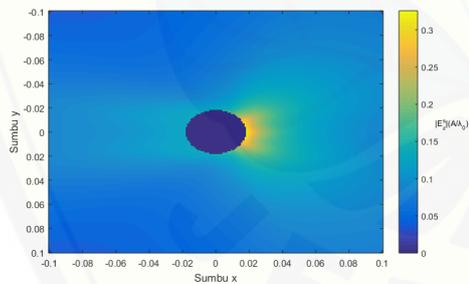
Jari-jari $1.2\lambda_0$



Jari-jari $1.4\lambda_0$

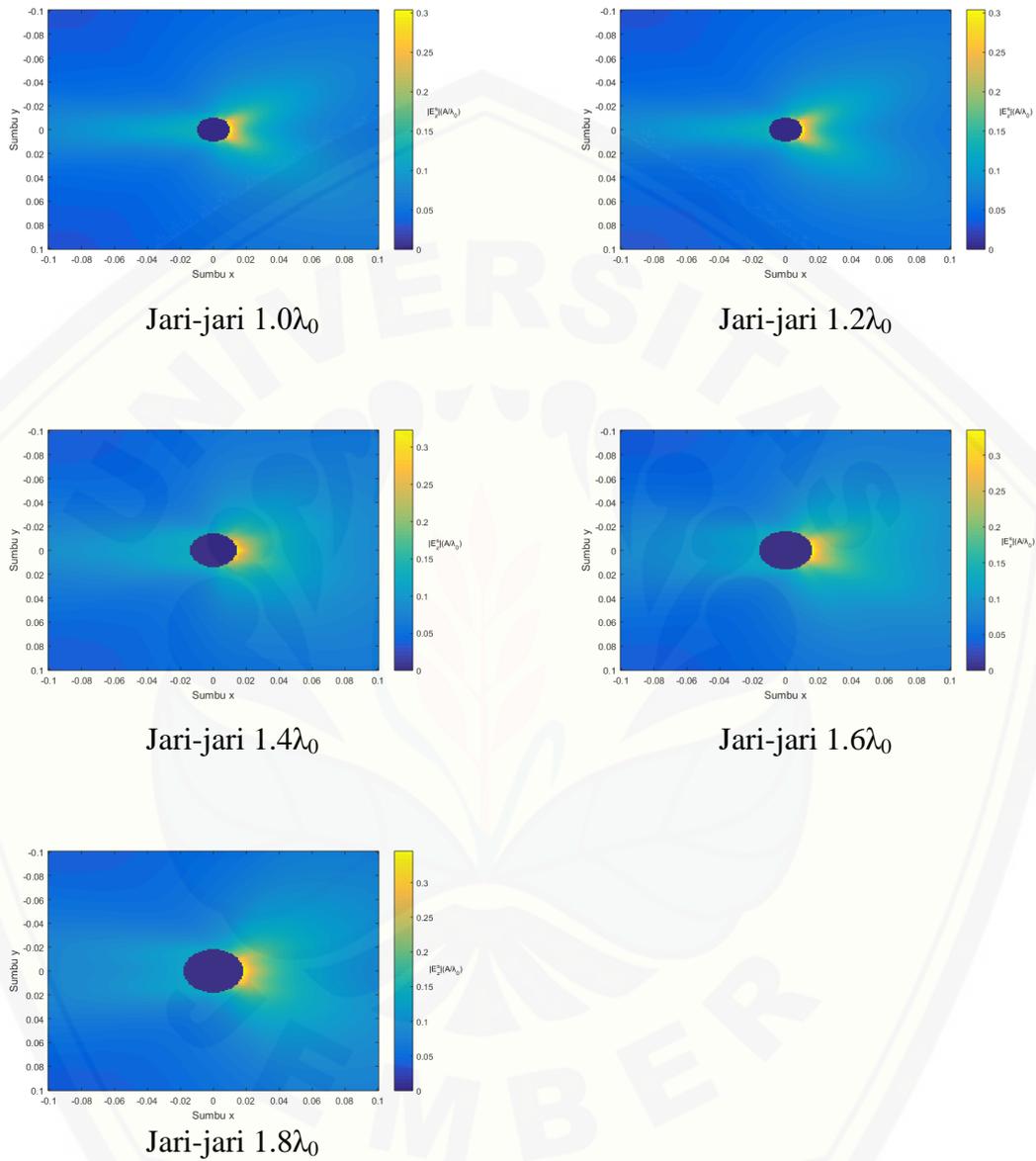


Jari-jari $1.6\lambda_0$

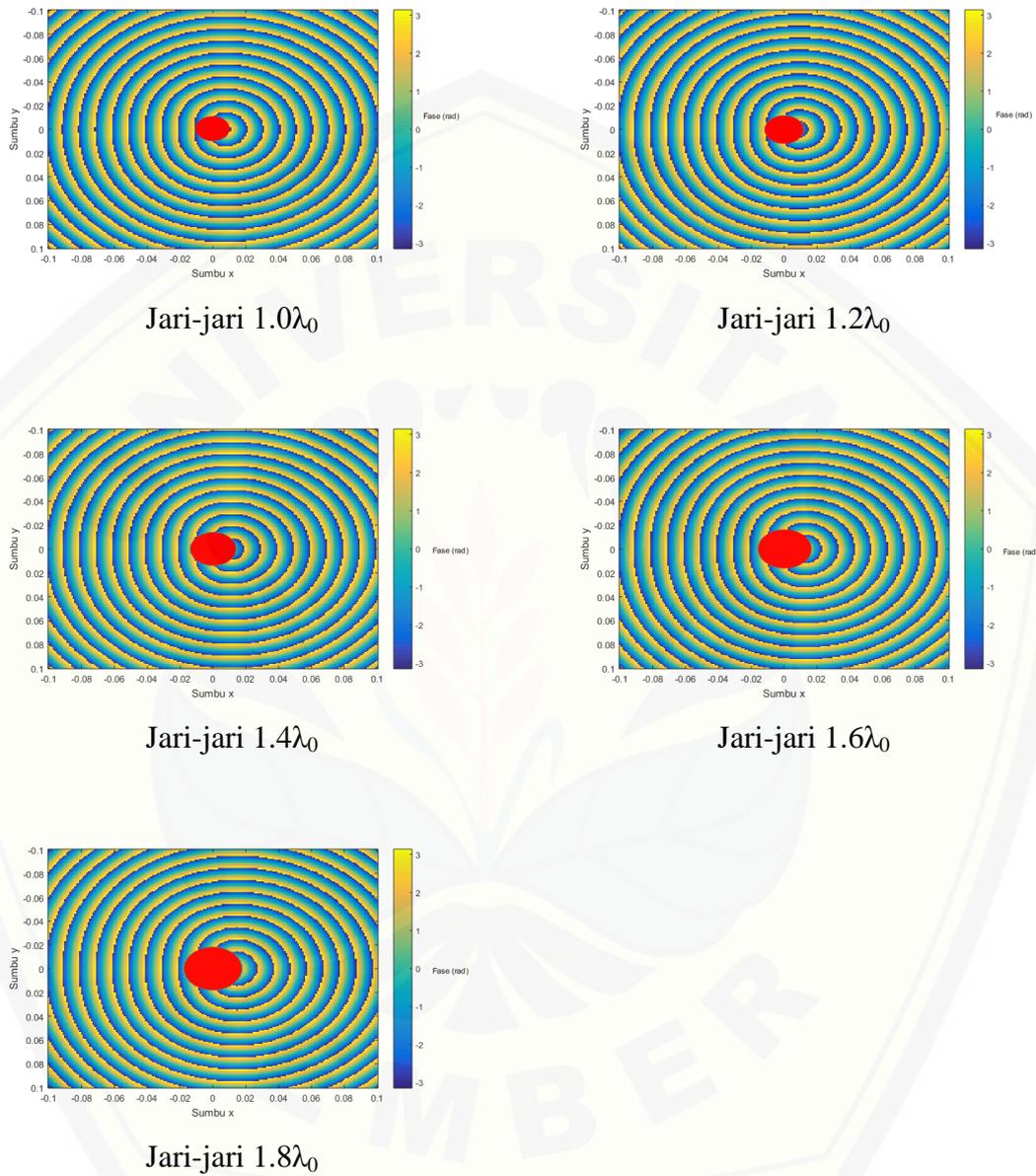


Jari-jari $1.8\lambda_0$

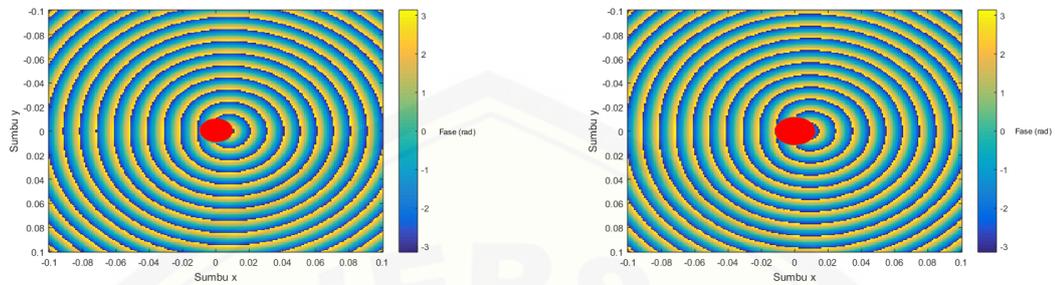
Lampiran 17. Citra 2D *magnitude* medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



Lampiran 18. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$

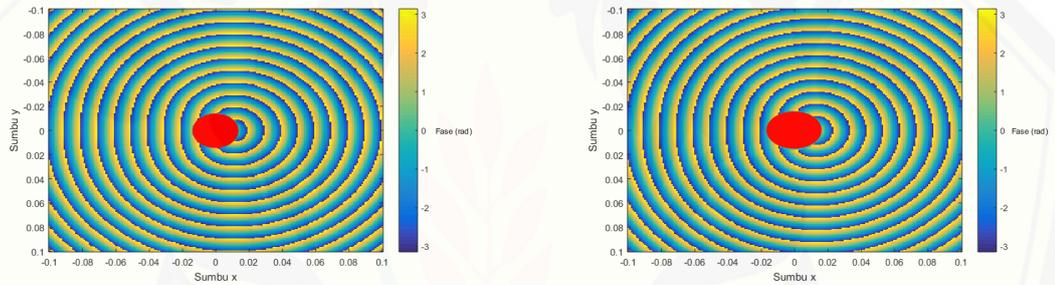


Lampiran 19. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga sapi pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



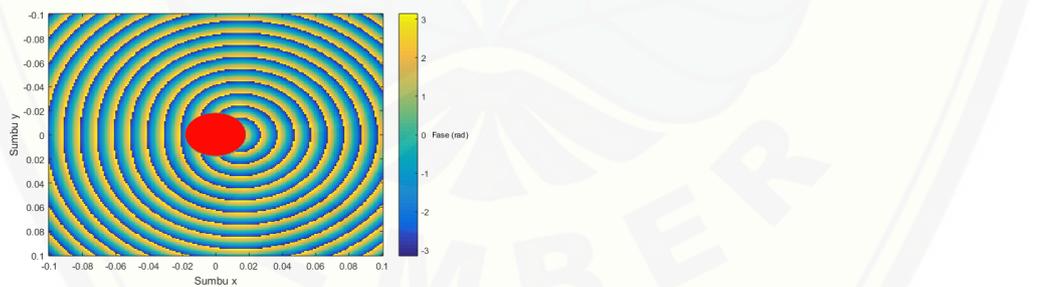
Jari-jari $1.0\lambda_0$

Jari-jari $1.2\lambda_0$



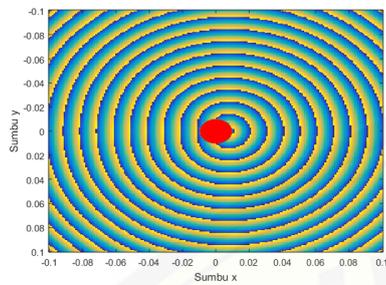
Jari-jari $1.4\lambda_0$

Jari-jari $1.6\lambda_0$

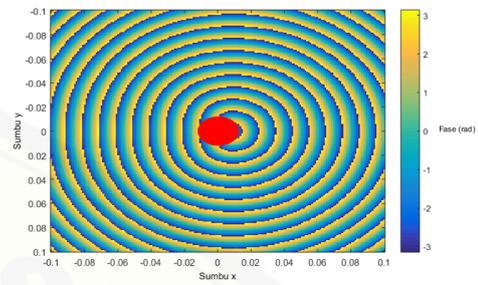


Jari-jari $1.8\lambda_0$

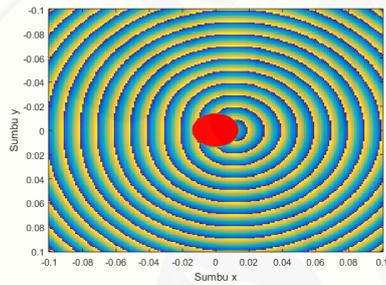
Lampiran 20. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang paha unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



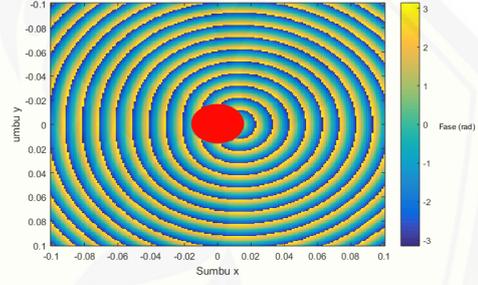
Jari-jari $1.0\lambda_0$



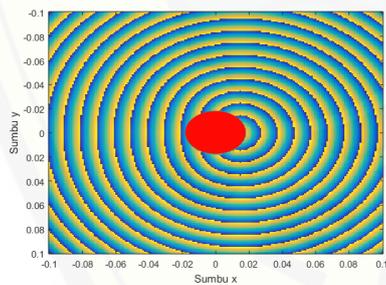
Jari-jari $1.2\lambda_0$



Jari-jari $1.4\lambda_0$

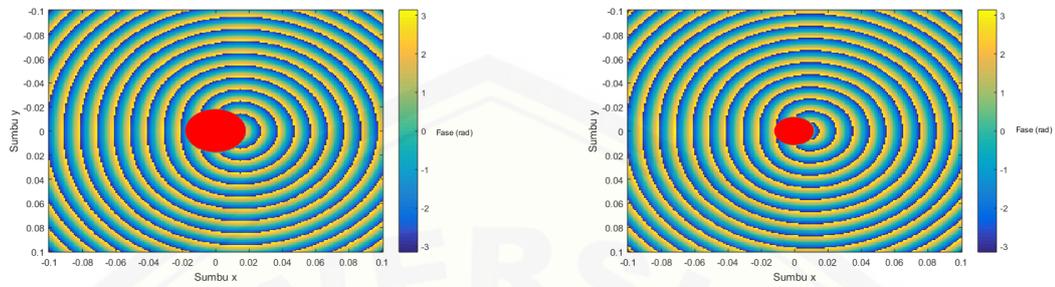


Jari-jari $1.6\lambda_0$



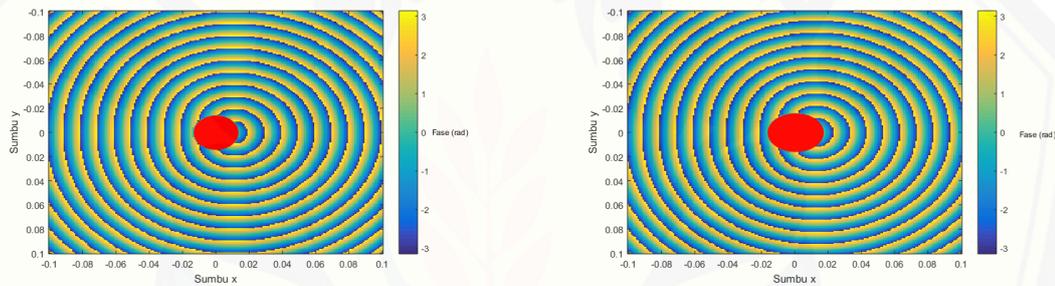
Jari-jari $1.8\lambda_0$

Lampiran 21. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang rusuk unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



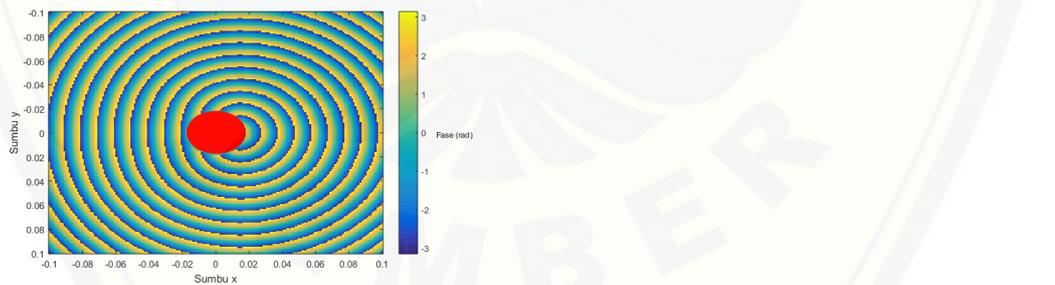
Jari-jari $1.0\lambda_0$

Jari-jari $1.2\lambda_0$



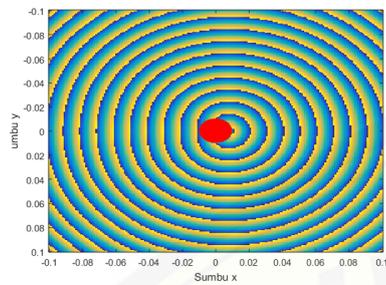
Jari-jari $1.4\lambda_0$

Jari-jari $1.6\lambda_0$

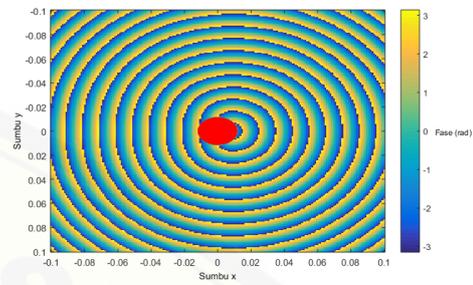


Jari-jari $1.8\lambda_0$

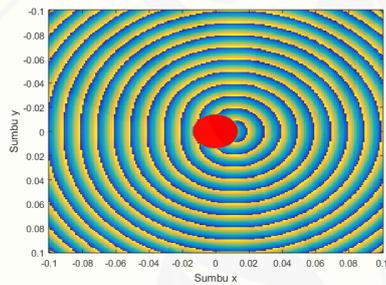
Lampiran 22. Citra 2D fase medan terhambur dari tulang iga unta pada sebuah mesh pada frekuensi 5 GHz untuk variasi jari-jari $1.0\lambda_0$ hingga $1.8\lambda_0$



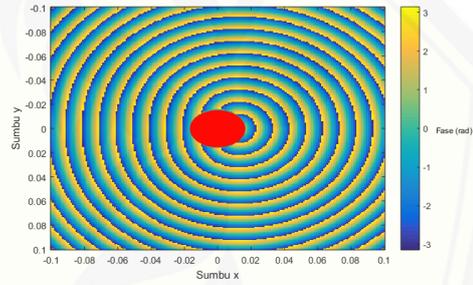
Jari-jari $1.0\lambda_0$



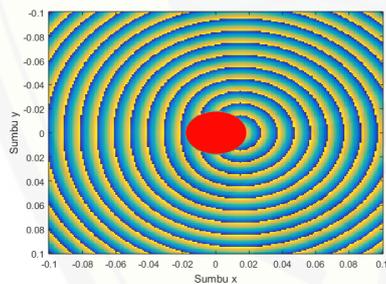
Jari-jari $1.2\lambda_0$



Jari-jari $1.4\lambda_0$



Jari-jari $1.6\lambda_0$



Jari-jari $1.8\lambda_0$