

Antena *Spiral-dipole* untuk *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Spiral Dipole Antenna for Ground Penetrating Radar (GPR)

Yuyu Wahyu^{a,*}, Haryanto Sachrawi S^b, Asep Yudi H^a, dan Heroe Wijanto^b

^a*Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI Gedung 20 Lantai 4, Jl Sangkuriang, Bandung 40135, Indonesia*

^b*Jurusan Teknik Telekomunikasi - IT Telkom
Bandung, Indonesia*

Abstrak

GPR (*Ground Penetrating Radar*) merupakan divais yang berguna untuk proses pendeteksian objek yang terkubur di bawah permukaan tanah hingga kedalaman tertentu, tanpa perlu dilakukan penggalian tanah. Pada penelitian ini dilakukan perancangan, simulasi dan realisasi antena *spiral-dipole* dengan pembebanan resistif untuk aplikasi impulse GPR. Pembebanan resistif bertujuan untuk menekan *late-time ringing* dan memperbesar bandwidth walaupun akan mengurangi efisiensi amplitudo pulsa utama. *Late-time ringing* merupakan osilasi yang mengikuti pulsa yang dikirimkan. Osilasi ini dapat mengaburkan sinyal yang dipantulkan oleh objek sehingga menyulitkan untuk dilakukan proses deteksi. Dengan melakukan perubahan nilai konstanta k pada rumusan spiral Archimedes, maka didapatkan bentuk spiral dengan kerapatan yang berbeda-beda. Dalam tulisan ini, nilai konstanta k yang digunakan antara lain 0,5; 1; dan 1,5. Parameter yang dibahas dalam simulasi ini adalah amplitudo *peak to peak* pulsa utama maupun *ringing* yang dihasilkan dari masing-masing antena dengan nilai konstanta k yang digunakan. Analisis elektromagnetik dalam domain waktu digunakan metode FDTD (*finite-difference time-domain*) dengan *software* FDTD3D untuk menghitung gelombang yang ditransmisikan antena dalam domain waktu. Selanjutnya dilakukan realisasi dan pengukuran antena tersebut.

Kata Kunci: antena GPR, *impulse GPR*, *ultra wideband*, antena *spiral-dipole*.

Abstract

GPR (*Ground Penetrating Radar*) is a device useful for the detection of objects buried under the ground to a certain depth, without the need for excavation. This research was carried out on the design, simulation and realization of *spiral-dipole* antennas with resistive load for impulse GPR applications. Imposition resistive aims to suppress *late-time ringing* and enlarge the bandwidth though will reduce the efficiency of the main pulse amplitude. A *late-time ringing* oscillations that follow the transmitted pulse. This oscillation can obscure the signal reflected by the object, making it hard to do the detection process. By changing the value of the constant k in the formula Archimedes spiral, the spiral shapes obtained with different densities. In this the value of the constant k used were 0.5, 1, 1.5. The parameters discussed in this simulation is the peak to peak amplitude of the main pulse and ringing resulting from each antenna to the value of the constant k is used. Electromagnetic analysis in the time domain FDTD method is used (*finite-difference time-domain*) with FDTD3D software to calculate the transmitted wave antenna in the time domain. Next step is the realization and measurement of the antenna.

Keywords: GPR antenna, GPR impulse, *ultra wideband*, *spiral-dipole*

I. PENDAHULUAN

GPR (*Ground Penetrating RADAR*) merupakan alat yang berguna untuk pendeteksian objek yang berada di bawah permukaan medium (misalnya tanah atau beton, dll) dengan kedalaman tertentu tanpa perlu melakukan penggalian tanah. Dengan GPR maka informasi mengenai keadaan di bawah permukaan tanah dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Contoh penggunaan GPR antara lain mendeteksi kabel bawah tanah, fondasi bangunan, ranjau dan lain-lain.

Aplikasi GPR menggunakan pulsa sempit sebagai gelombang yang dipancarkan oleh antena pengirim yang akan mempunyai lebar bidang frekuensi yang luas. Hal inilah yang melatarbelakangi dibutuhkannya suatu antena yang dapat mempertahankan kestabilan pola radiasi untuk rentang frekuensi yang besar. Hal tersebut merupakan salah satu yang melatarbelakangi ide penggunaan antena *ultra wideband* pada aplikasi GPR [1].

Antena merupakan salah satu elemen terpenting dalam GPR. Kemampuan GPR dalam pendeteksian amat bergantung pada kemampuan antena yang digunakan. Hal ini disebabkan, antena adalah bagian yang meradiasikan pulsa sempit tersebut ke tanah dengan radiasi antena yang diharapkan memiliki tingkat *loss* dan *distorsi* yang kecil. Jika frekuensi rendah dalam GPR tidak diradiasikan secara maksimal maka akan terdapat *refleksi internal* yang mengakibatkan *osilasi*.

* Corresponding Author.

Email: yuyu@ppet.lipi.go.id

Received: November 11, 2013; Revised: : November 25, 2013

Accepted: Desember 23, 2013

Published: Desember 30, 2013

© 2013 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v13.39-46

Selanjutnya *osilasi* ini akan mengakibatkan gejala *late time ringing* yang akan mengaburkan sinyal pendeteksian yang mengakibatkan analisis benda menjadi sulit [2]. Pembebanan resistif dan penggunaan *absorber* digunakan untuk mengatasi refleksi internal tersebut. Antena *ultra wideband* yang biasa digunakan pada GPR adalah antena dipole setengah lamda. Antena dipole yang memiliki resistor yang dipasang tergulung di ujungnya disebut dengan antena *rolled dipole* atau *spiral dipole*.

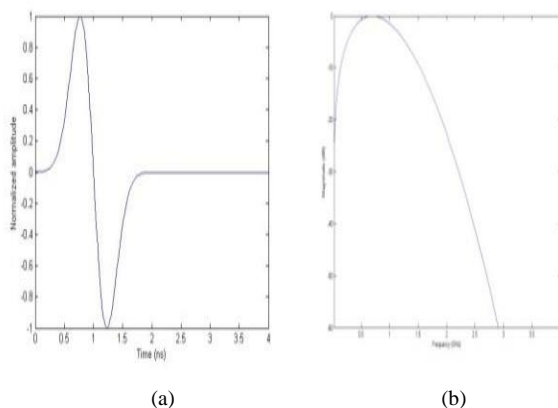
Semakin tinggi frekuensi maka semakin tinggi juga pelemahan sinyal dalam perambatannya sehingga jarak jangkauan dari GPR akan semakin dangkal [3]. Tetapi di sisi lain resolusi frekuensinya yang selanjutnya akan mempengaruhi dari kualitas pencitraan akan semakin baik. Sehingga ada *tradeoff* antara kedalaman penetrasi dengan kualitas dari pencitraan. Dengan pertimbangan tersebut, antena yang digunakan didesain untuk eksitasi dengan kualitas dari pencitraan. Dengan pertimbangan tersebut, antena yang digunakan didesain untuk eksitasi pulsa *monocycle* dengan durasi 1,6 ns (frekuensi pusat 600 MHz). Frekuensi tersebut cocok untuk aplikasi GPR resolusi menengah, yang digunakan untuk mendeteksi target yang kedalamannya kurang dari 1 meter (contohnya ranjau, pipa, dan kabel).

Untuk menganalisa kinerja antena, digunakan pemodelan numerik dengan metode *Finite-Difference Time-Domain* (FDTD) dengan menggunakan software FDTD3D. Pemilihan metode ini karena keunggulan yang dimilikinya, diantaranya: FDTD bekerja pada domain waktu di mana untuk rentang frekuensi yang lebar dapat diselesaikan hanya dengan sekali simulasi sehingga efektif jika digunakan pada sistem yang menggunakan pulsa *monocycle* sebagai sumber eksitasi. Kemudian FDTD memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan sifat material pada semua titik di dalam domain simulasi, sehingga antena yang di desain lebih nyata atau realistis [4].

II. DESAIN ANTENA

A. Pulsa yang Dibangkitkan

Pulsa yang dibangkitkan pada antena GPR yang diusulkan ini adalah pulsa *monocycle* dengan durasi 1.6 ns seperti terlihat pada Gambar 1 (a). Gambar 1 (b) merupakan spektrum dari pulsa. Terlihat bahwa pulsa tersebut memiliki frekuensi tengah 600 MHz.

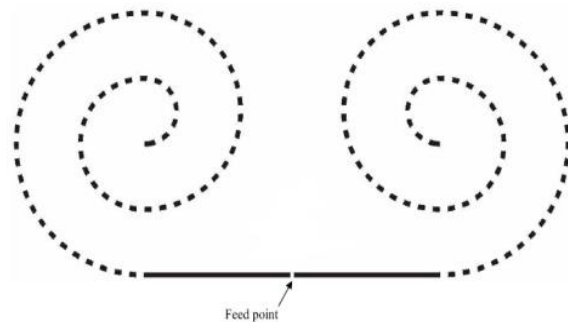


Gambar 1. Pulsa Yang Dibangkitkan oleh Antena : Pulsa 1,6 ns *Monocycle* Dengan Frekuensi Tengah 600 MHz, (a) Bentuk Gelombang, (b) Spektrum.

B. Geometri Antena

Dalam penelitian ini, antena GPR yang diusulkan yaitu antena *spiral-dipole* dengan pembebanan resistif. Penggunaan dipole tak lain adalah karena dipole merupakan antena yang sering digunakan untuk aplikasi GPR terutama dikarenakan kesederhanaannya. Permasalahan utama antena dipole untuk aplikasi ini adalah sifat dasarnya yang *narrowband*, padahal untuk aplikasi GPR dibutuhkan antena dengan karakteristik *ultra wideband*. Untuk mengatasi hal ini, pada lengan antena dilakukan pembebanan resistif (lengan beban) dengan profil Wu-King untuk mengurangi *late-Time ringing* akibat *multiple reflection* antara ujung antena dan *feedpoint*.

Penambahan lengan beban mengakibatkan dimensi antena yang semakin panjang. Untuk mengurangi dimensi panjang dari antena, maka lengan beban di gulung melingkar (*spiral*) ke bagian atas lengan yang tidak dilakukan pembebanan resistif hingga membentuk seperti *spiral*, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Garis putus-putus menggambarkan lengan beban, sedangkan celah yang memisahkan garis merupakan tempat pembebanan resistif dengan menyisipkan elemen *lumped resistor* sesuai dengan profil Wu-King. Dengan menggulung antena, dimensi panjang antena dapat berkurang dengan faktor pengurangan sekitar 4. Sehingga dari sisi ruang, jelas antena yang dirancang menjadi lebih efisien.

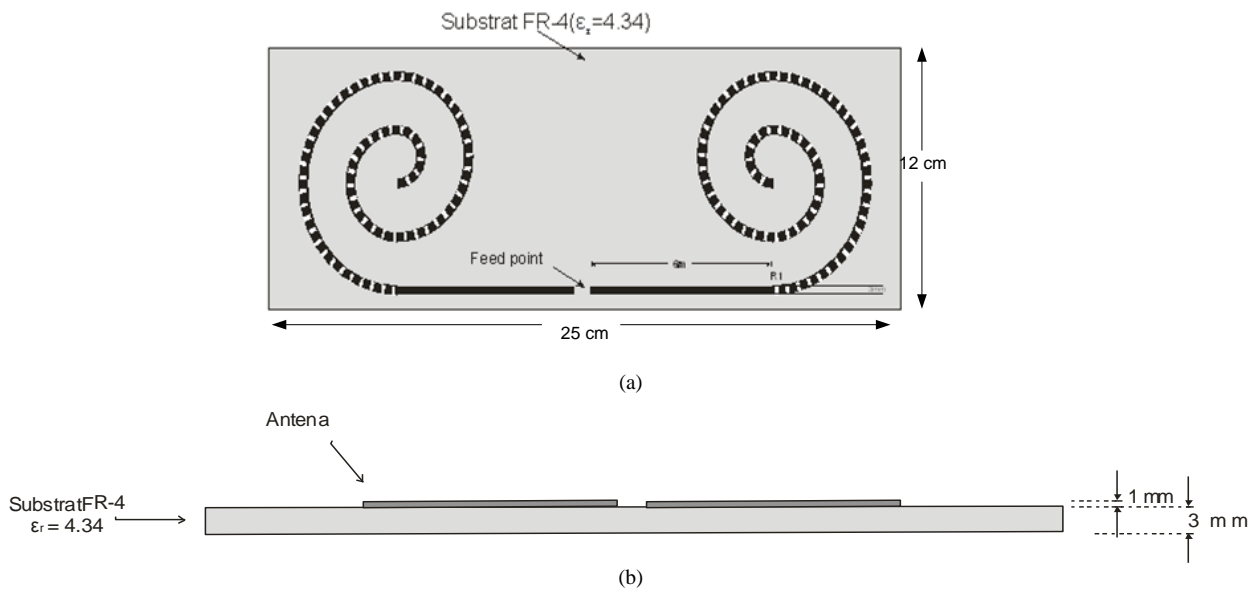


Gambar 2. Geometri Antena *Spiral-Dipole*. Celah yang memisahkan garis merupakan tempat diletakkannya resistor.

Pada resistor pertama (resistor yang paling dekat dengan *feedpoint*) terjadi diskontinuitas pada permukaan antena sehingga menyebabkan sumber radiasi kedua. Karena antena diharapkan mentransmisikan pulsa dengan efisiensi yang tinggi (dalam artian bahwa nilai pucak dari bentuk gelombang yang dikirim setinggi mungkin), maka harus ditentukan jarak antara *feedpoint* dengan resistor pertama sehingga radiasi dari resistor pertama saling menguatkan dengan radiasi dari *feedpoint* pada arah *broadside* antena. arah *broadside* antena dapat dicapai dengan membuat jarak antara *feedpoint* dengan resistor pertama (l) sekitar $\lambda_c/4$, dimana λ_c merupakan panjang gelombang dalam substrat pada frekuensi tengah pulsa. Secara matematis dapat dituliskan,

$$2l = \frac{c_{subt}}{2f_c} \quad (1)$$

di mana f_c merupakan frekuensi tengah dari pulsa yang dibangkitkan yang memiliki nilai amplitudo tertinggi



Gambar 3. Desain Geometri Antena Spiral-Dipole, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Bawah.

dalam spektrum pulsa, dan c_{subt} merupakan cepat rambat gelombang dalam substrat. Pada kasus *printed antenna* diatas substrat dielektrik, nilai c_{subt} berbanding terbalik dengan permitivitas relatif dari bahan substrat. Jika permitivitas relatif substrat ϵ_r dan cepat rambat gelombang di udara bebas adalah c , maka c_{subt} dapat dicari dengan persamaan,

$$c_{subt} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{2}$$

Dengan mensubstitusi Persamaan 1 dengan Persamaan 2, maka didapat jarak antara *feedpoint* dengan resistor pertama (l) yaitu:

$$l = \frac{c}{4\sqrt{\epsilon_r} f_c} \tag{3}$$

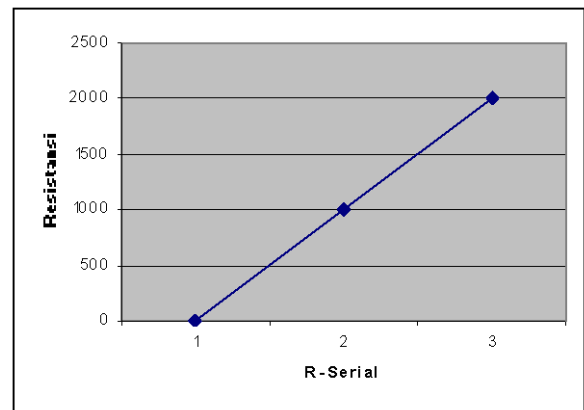
Dengan memasukkan nilai $c=3 \times 10^8$ m/s, $f_c=600$ MHz, dan $\epsilon_r=4,34$ (dengan asumsi bahan substrat menggunakan FR-4). Maka didapat nilai l sekitar 6 cm. Gambar desain antena lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.

Selanjutnya dibuat 3 buah antena dengan kerapatan *spiral* yang berbeda-beda sesuai dengan 3 buah parameter k yang ditentukan. Penggunaan 3 antena ditujukan untuk mendapatkan *late-time ringing* yang lebih baik. Ide dasar dari penelitian ini ialah kerapatan *spiral* yang berbeda akan menghasilkan *late-time ringing* yang berbeda.

C. Pembebanan Antena

Pembebanan resistif untuk menekan *ringing* diaplikasikan disepanjang lengan beban yang berbentuk seperti *spiral*. Pada penelitian ini, digunakan resistor sejumlah 25 buah yang dipasang secara seri dengan nilai resistansi yang semakin meningkat dengan profile resistor di perlihatkan pada gambar 4. Pemilihan jumlah ini dikarenakan keterbatasan dari *numerical tool* FDTD yang digunakan (*software* FDTD3D) untuk

mendefinisikan materi di dalam domain komputasi. Jika jumlah resistor ditambah sehingga pendefinisian materi melebihi seribu baris, maka *software* ini akan *error*. Jumlah ini cukup memadai untuk menekan *ringing* sekaligus mempertahankan amplitudo pulsa utama. Pada prinsipnya, semakin banyak jumlah resistor, semakin efektif pula antena tersebut dapat menekan *ringing*. Tetapi hal ini dapat menurunkan efisiensi radiasi. Sehingga ada *trade off* antara level *ringing* yang ingin ditekan dengan efisiensi radiasi yang dihasilkan.



Gambar 4. Profil Resistor.

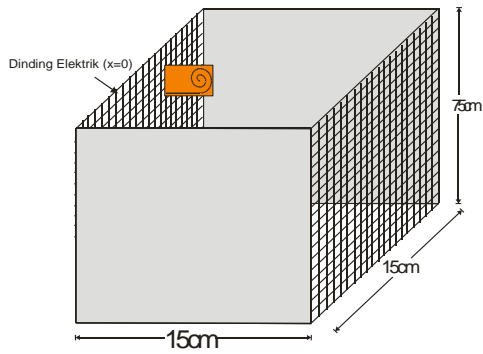
III. SIMULASI DAN ANALISIS FDTD3D

Untuk mengamati parameter-parameter seperti VSWR, impedansi input, dan level *ringing* yang berubah-ubah berdasarkan kerapatan *spiral* antena, maka perlu dilakukan tahap simulasi. Simulasi dilakukan untuk membuktikan antena yang dirancang bekerja dengan baik setelah dilakukan tahap realisasi.

Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode FDTD sebagai alat untuk analisis secara teoritis. Pada aplikasinya *software* FDTD3D yang merupakan paket *three dimensional finite-difference time-domain* untuk menghitung medan elektromagnetik, yang ditulis dengan menggunakan bahasa C++.

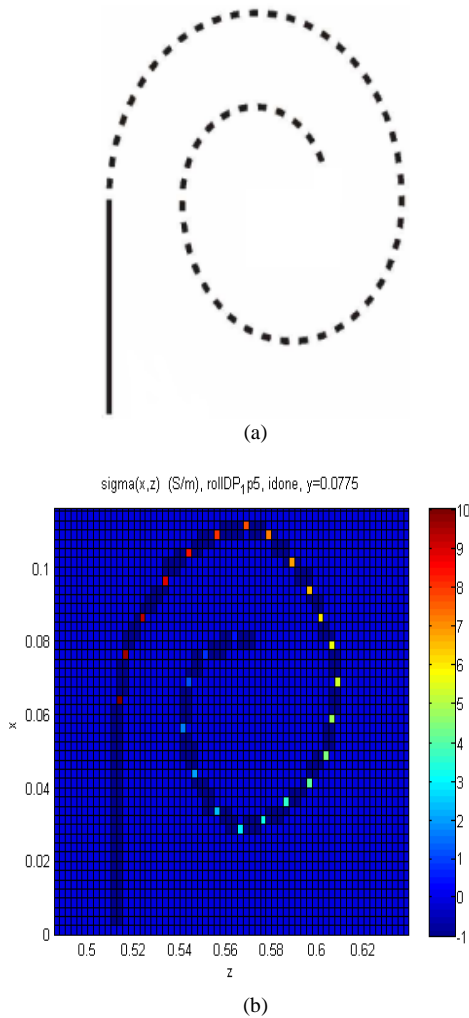
A. Simulasi dengan FDTD3D

Simulasi software FDTD3D dengan pengaturan $\Delta x, \Delta y, \Delta z = 2,5 \text{ mm}$, $n_x = 61 \text{ sel Yee}$ $n_y = 61 \text{ sel Yee}$ $n_z = 301 \text{ sel Yee}$, diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Domain Komputasi Antena yang Disimulasikan Dengan FDTD.

Geometri Antena dari hasil simulasi yang diharapkan dan pendekatan geometri antena pada software FDTD3D diperlihatkan pada Gambar 6.

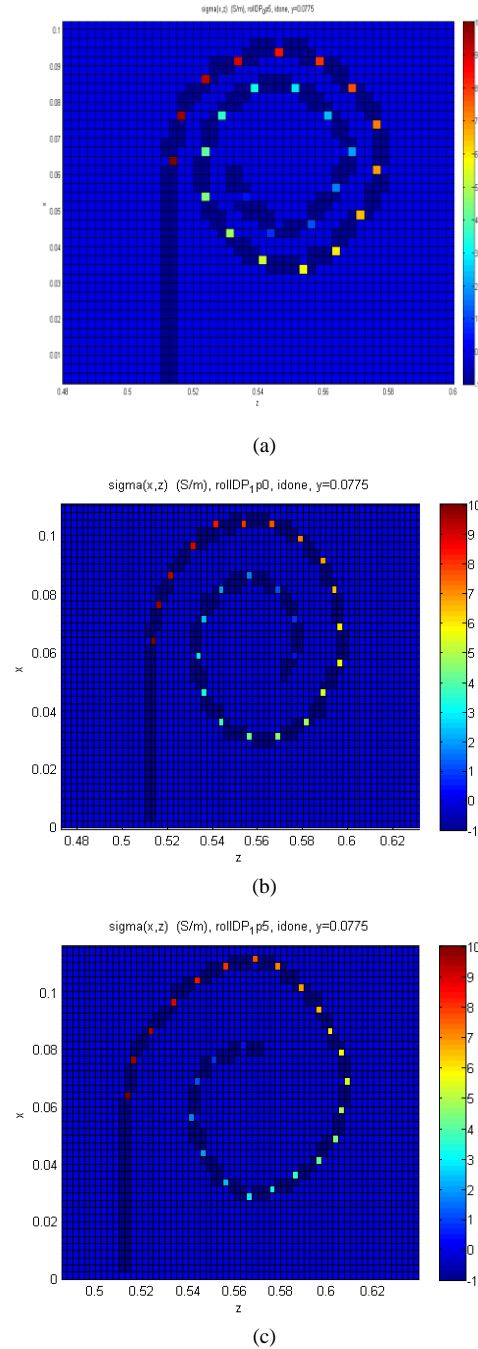


Gambar 6. (a) Geometri Antena yang Diharapkan, (b) Pendekatan Geometri Antena pada FDTD3D.

B. Hasil Simulasi

1) *Geometri Antena Hasil Simulasi*

Pada bagian ini diperlihatkan geometri antena yang digunakan.

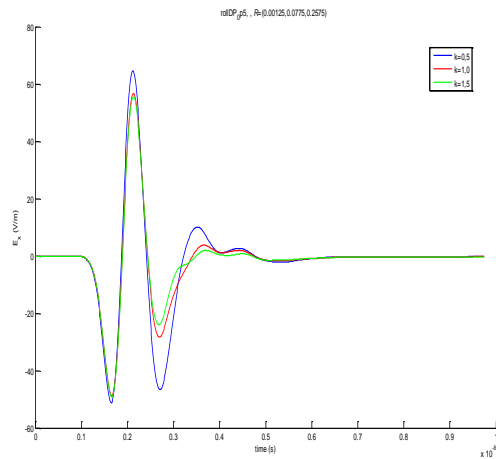


Gambar 7. Geometri Antena, (a) Dalam $k=0,5$, (b) Dalam $k=1$, (c) Dalam $k=1,5$.

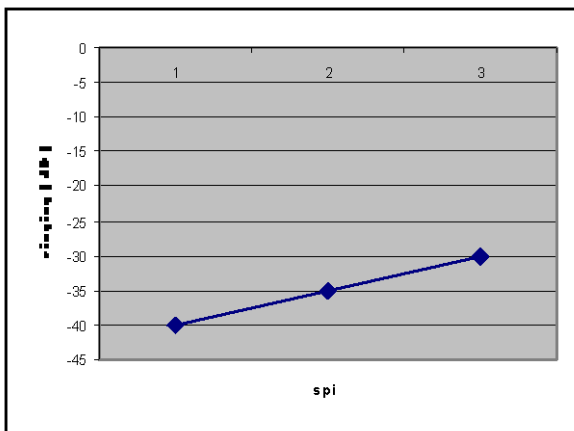
Geometri antena seperti yang terlihat di atas sudah mendekati perancangan. Walaupun terlihat patah-patah karena *staircasing*.

2) *Hasil Simulasi Gelombang yang Ditransmisikan dan Ringing Antena Spiral-dipole pada Titik Pengamatan 25 cm*

Dilakukan simulasi gelombang yang ditransmisikan dan pada *ringing* antena *spiral-dipole* pada titik pengamatan dengan jarak 25 cm, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



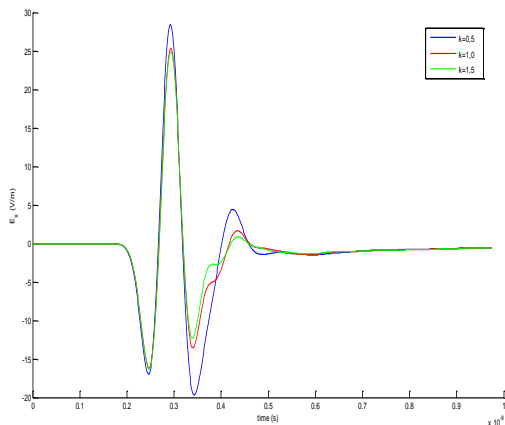
Gambar 8. Bentuk Gelombang yang Ditransmisikan oleh Antena *Spiral-dipole* Dengan Nilai $k=0,5; 1; 1,5$ pada Titik Pengamatan 25 cm.



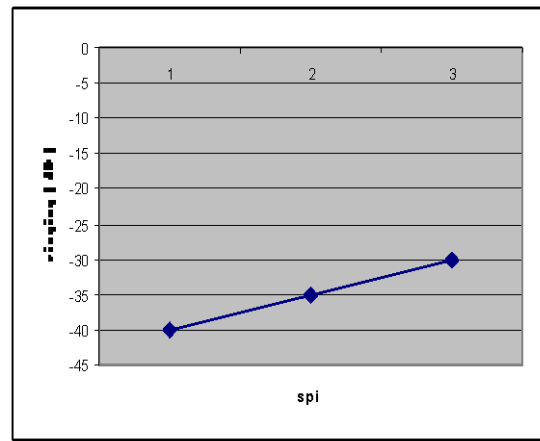
Gambar 9. Karakteristik *Ringing* Terhadap Nilai k pada Titik Pengamatan 25 cm di Bawah Antena.

3) Hasil Simulasi Gelombang yang Ditransmisikan dan Ringing Antena *Spiral-dipole* pada Titik Pengamatan 50 cm

Dilakukan simulasi gelombang yang ditransmisikan dan pada *ringing* antena *spiral-dipole* pada titik pengamatan dengan jarak 50 cm, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



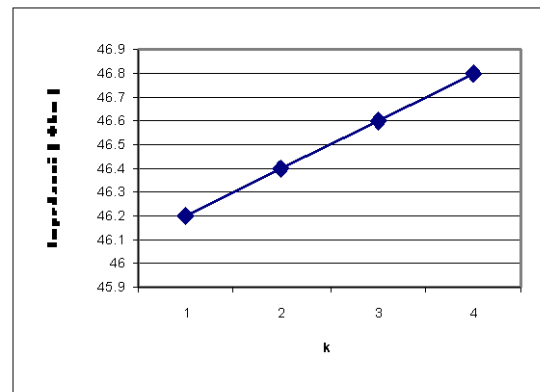
Gambar 10. Bentuk Gelombang yang Ditransmisikan oleh Antena *Spiral-dipole* Dengan Nilai $k=0,5; 1; 1,5$ pada Titik Pengamatan 50 cm.



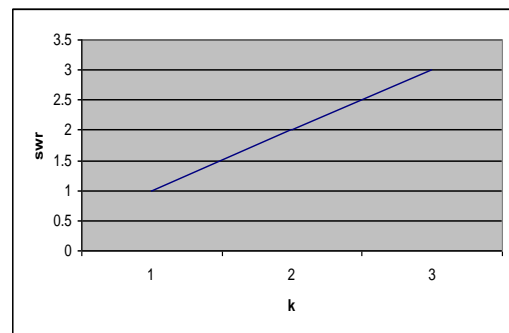
Gambar 11. Karakteristik *Ringing* Terhadap Nilai k pada Titik Pengamatan 50 cm di Bawah Antena.

4) Hasil Simulasi Impedansi Input dan VSWR Antena *Spiral-dipole*.

Karakteristik hasil simulasi untuk impedansi dan VSWR antena *spiral* terhadap nilai k diperlihatkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Karakteristik Impedansi Antena Terhadap Nilai k .



Gambar 13. Karakteristik VSWR Antena Terhadap Nilai k .

IV. PENGUKURAN DAN ANALISIS

A. Realisasi Antena

Untuk keperluan pengukuran guna mendapatkan data yang memadai terhadap kondisi sebenarnya di lapangan dari antena yang dirancang, telah dibuat realisasi dari antena yang telah dirancang sebelumnya dengan beberapa penyesuaian. Penyesuaian tersebut dilakukan terutama terhadap nilai-nilai komponen yang digunakan dalam perealisasi antena karena ketidaktersediaan beberapa komponen tersebut di pasaran. Dalam perealisasi antena ini nilai-nilai

komponen yang disesuaikan adalah nilai resistansi yang digunakan sebagai pembeban di sepanjang antenna (*resistive loading*) dan nilai permitivitas relatif dari dielektrik yang digunakan sebagai bahan antenna, sedangkan geometri antenna sesuai dengan yang telah dideskripsikan pada bagian perancangan antenna. Untuk pembebanan resistif digunakan *thick film chip resistor* yang dalam realisasinya disolder disepanjang lengan antenna. Nilai-nilai resistansi di atas merupakan pendekatan dari nilai-nilai resistansi secara teoretis yang digunakan dalam perancangan antenna.



Gambar 14. Realisasi Antena untuk $k=0,5$.

Sedangkan sebagai bahan antenna digunakan *printer circuit board* (PCB) FR-4 dengan tembaga sebagai lapisan logamnya dan permitivitas relatif dielektrik 4,1. Secara teoretis, penyesuaian nilai permitivitas dielektrik pada substrat yang digunakan dalam realisasi antenna ini akan berpengaruh terhadap nilai *peak-to-peak* amplitudo maksimum pulsa yang ditransmisikan, akan tetapi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap bentuk gelombang yang ditransmisikan. Hal ini terjadi karena panjang antenna yang optimum yang dioptimasi terhadap durasi pulsa berbanding terbalik dengan akar dari permitivitas bahan antenna yang digunakan. Proses pabrikan antenna harus memiliki ketelitian dan keakuratan yang sangat tinggi, karena penyimpangan dalam orde antenna cukup mempengaruhi karakteristik antenna secara umum.

Kemudian untuk *feedpoint*. Sebenarnya mekanisme perancangan yang baik untuk *feedpoint* dalam hal ini antenna *spiral-dipole* adalah semakin pendek atau semakin dekat. Agar transmisi elektrik dari kabel semi rigid (TSR = *Twin Semi Rigid*) dapat maksimum menuju antenna dengan sedikit yang hilang. Penggunaan jarak antar dua wire tersebut atau *feedpoint* dibuat 3 mm adalah karena faktor keamanan dan kemudahan. Penggunaan *feedpoint* yang semakin dekat, memungkinkan terjadinya konsleting pada TSR. Selain itu penggunaan *feedpoint* yang semakin dekat menyulitkan dalam hal penyolderan dengan TSR. Dalam simulasi terlihat bahwa penggunaan *feedpoint* 3 mm cukup memberikan kontribusi yang cukup maksimum dalam pentransmisi elektrik.

Selain itu, penggunaan kabel semi rigid atau TSR (*Twin Semi Rigid*) ditujukan untuk menghindari penggunaan balun UWB yang harganya mahal dan sulit untuk diproduksi. Selain itu, TSR memiliki keunggulan dalam hal kemudahan setup ke antenna yaitu tinggal disolder saja, harganya yang cukup murah dibandingkan dengan penyepadan antenna seperti balun UWB, dan mudah dicari.

B. Analisis Hasil Pengukuran

Gelombang yang datang pada suatu antenna akan terdapat dua perlakuan yang berbeda yaitu gelombang akan ditransmisikan ke antenna, dan gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke sumber. Gelombang pantul ini disebabkan karena ketidaksepadanan antara impedansi saluran dengan antenanya.

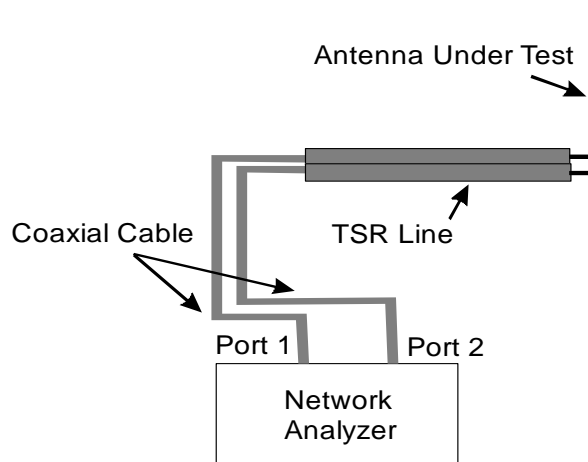
Pengukuran koefisien pantul ditujukan untuk mengetahui perbandingan antara gelombang pantul dengan gelombang datang. Superposisi antara gelombang pantul dengan gelombang datang akan membentuk suatu gelombang berdiri yang akan menghasilkan SWR yang merupakan perbandingan tegangan minimum dan tegangan maksimum pada gelombang berdiri.

Bandwidth antenna merupakan range frekuensi kerja dimana performansi antenna, yang bergantung pada beberapa karakteristik, berada pada standar tertentu. *Bandwidth* antenna terletak antara frekuensi atas dan frekuensi bawah yang dibatasi oleh nilai VSWR tertentu. Batas VSWR semakin kecil, maka bandwidth antenna akan semakin lebar.

Pada pengukuran karakteristik ini menggunakan *network analyzer* dengan spesifikasi range frekuensi dari (300 kHz - 20 GHz). Antenna yang akan dibuat dalam penelitian ini, bisa menggunakan alat ini karena antenna yang akan dibuat memiliki frekuensi kerja 600 MHz.

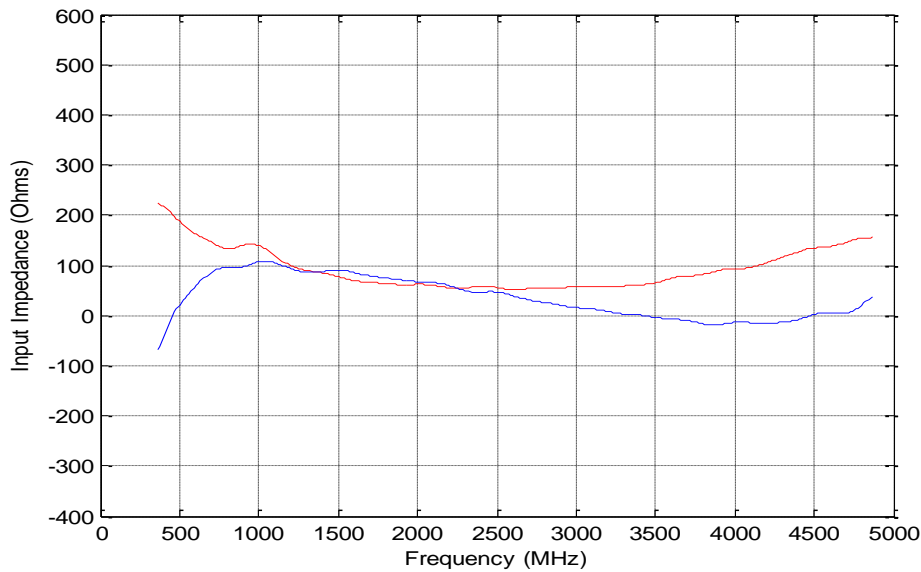
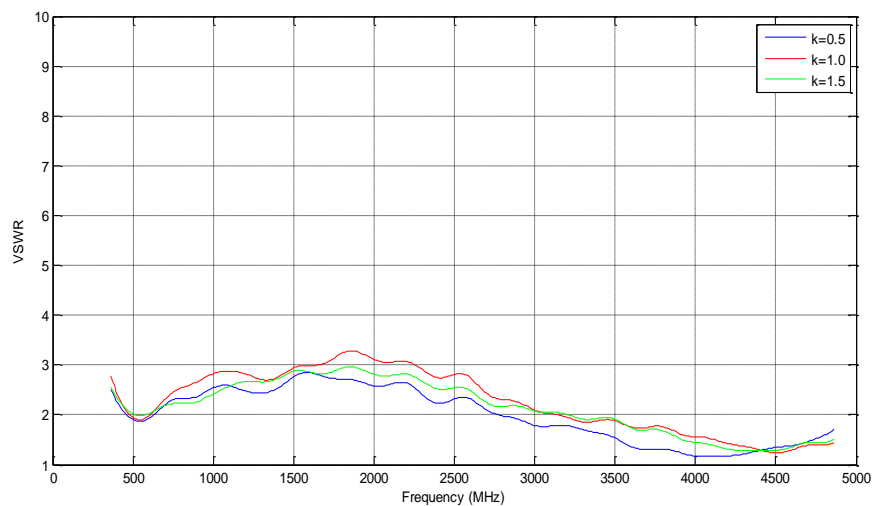
1) Pengukuran VSWR dan Impedansi Input

Pengukuran VSWR dilakukan di LIPI dengan menggunakan *network analyzer* (NA) sebagai alat ukur dengan range frekuensi yang dapat diukur, yaitu (300 KHz - 20 GHz) dan Kabel TSR sebagai penghubung. Setup pengukuran impedansi input diilustrasikan pada Gambar 15, metoda pengukuran tersebut telah diperkenalkan oleh Lestari [5]. Salah satu ujung TSR line dihubungkan ke AUT sedangkan ujung lainnya dihubungkan dengan kabel koaksial 50 Ohm ke *port 1* dan *port 2 network analyzer* (dikalibrasi pada konektor SMA) seperti yang terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Setup Pengukuran Impedansi Input Antena pada Domain Waktu.

Network analyzer memberikan hasil pengukuran S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} dalam bentuk kompleks (*real* dan *imaginer*) sebanyak 401 data untuk masing-masing frekuensi dengan rentang antara 50 MHz sampai dengan 5 GHz. Selanjutnya data ini diolah melalui *software*

Gambar 16. Hasil pengukuran impedansi input untuk (a) $k=0,5$.Gambar 17. Hasil pengukuran VSWR untuk $k=0,5$; 1,0; dan 1,5.

post processing sehingga didapat harga impedansi input rata-rata dan VSWR antenna. Hasil pengukuran di tunjukkan pada gambar 16 dan gambar 17.

C. Ringkasan Pengukuran Antena Spiral-dipole

1) Impedansi Input dan VSWR Antena Spiral-dipole

TABEL I
HASIL PENGUKURAN IMPEDANSI INPUT DAN VSWR ANTENA

		Simulasi FDTD		Pengukuran	
		Zin	VSWR	Zin	VSWR
Perubahan Kerapatan Spiral	$k=0,5$	46,471	1,14	172,63	1,94
	$k=1,0$	46,481	1,47	180,46	1,99
	$k=1,5$	46,631	1,59	188,47	2,03

Tabel 1 menunjukkan rangkuman hasil pengukuran impedansi *input*, dan VSWR antenna *spiral-dipole* baik hasil pengukuran maupun hasil simulasi FDTD. Hasil pengukuran impedansi *input* dalam perealisasi antenna yang ditunjukkan pada Tabel 1 berkisar antara 172,63 ohm sampai 188,47 ohm atau VSWR dari 1,94 sampai

2,03. Hasil pengukuran impedansi input ini berbeda dengan terminasi yang biasa dipakai dalam GPR dengan *feed line* TSR 100 ohm. Penggunaan kabel semi rigid atau TSR (*Twin Semi Rigid*) ditujukan untuk menghindari penggunaan balun UWB yang harganya mahal dan sulit untuk diproduksi. Selain itu, TSR memiliki keunggulan dalam hal kemudahan *setup* ke antenna yaitu tinggal disolder saja, harganya yang cukup murah dibandingkan dengan penyepadanan antenna seperti balun UWB, dan mudah dicari. Sementara itu hasil pengukuran VSWR perealisasi antenna menunjukkan nilai lebih besar dari hasil simulasi FDTD. Hal ini disebabkan perbedaan impedansi *input* antenna dengan nilai impedansi *output* (TSR 100 ohm).

Oleh karena itu hasil dalam perealisasi antenna di atas tidak baik untuk diambil sebagai acuan penelitian, tetapi hanya karakteristik antenna yang layak diambil sebagai acuan penelitian. Karakteristik antenna pada simulasi FDTD dan perealisasi memiliki kesamaan. Sehingga bisa disimpulkan untuk menentukan nilai VSWR antenna yang baik atau yang mendekati hasil

simulasi, maka harus digunakan Impedansi *Output* yang *matching* dengan Impedansi *Input* antenna.

2) *Perubahan Level Sinyal Utama dan Level Late Time Ringing Antena Spiral-dipole*

TABEL II
HASIL PENGUKURAN LEVEL SINYAL UTAMA
DAN LATE TIME RINGING ANTENA

Kerapatan Spiral	Titik Pengamatan 25 cm			Titik Pengamatan 50cm		
	Vpp Pulsa Utama (V/m)	Vpp Ringing (V/m)	Level Ringing (dB)	Vpp Pulsa Utama (V/m)	Vpp Ringing (V/m)	Level Ringing (dB)
$k=0,5$	3433	176	-25,803	2037,1	139,99	-23,258
$k=1,0$	2981	147	-26,141	1725	111	-23,829
$k=1,5$	2658	122,99	-26,694	1655	103	-24,119

Tabel 2 menunjukkan rangkuman hasil pengukuran Level sinyal utama dan Level *Late Time Ringing* antena *spiral-dipole*. Hasil pengukuran *Late Time Ringing* dalam perealisasi antena yang ditunjukkan pada Tabel 2 menunjukkan suatu karakteristik yang sama dengan simulasi FDTD, yaitu semakin besar nilai k (semakin renggang) maka semakin kecil ringing yang dihasilkan antena *spiral-dipole*. Jadi untuk merancang sebuah antena *spiral-dipole* yang baik, maka diperlukan perancangan yang benar yaitu semakin renggang kerapatan *spiral* pada antena akan menghasilkan *ringing* yang semakin kecil pula.

KESIMPULAN

Setelah melakukan semua proses perancangan, simulasi, realisasi, dan pengukuran antena GPR *spiral-dipole* dengan kerapatan gulungan spiral sesuai parameter k (*Archimedean Spiral*) yang dioptimasi terhadap pulsa 1,6 ns dapat disimpulkan bahwa,

- a. Antena *spiral-dipole* dapat memperkecil dimensi dengan penggunaan elemen resistor yang dipasang tergulung,

- b. Panjang antena optimum yang dapat digunakan untuk menghasilkan radiasi maksimum bergantung pada substrat bahan dielektrik dan frekuensi *center* dari pulsa yang ditransmisikan,
- c. Bentuk gulungan spiral yang dapat menghasilkan *late time ringing* yang kecil pada antena *spiral-dipole* adalah antena dengan nilai k yang lebih besar atau lebih renggang (dalam penelitian ini diperoleh pada antena dengan $k=1.5$),
- d. Nilai VSWR dan Impedansi *Input* antena berbanding lurus dengan besar nilai k , semakin besar nilai k maka nilai VSWR akan semakin besar (semakin buruk) dan nilai Impedansi *Input* antena juga semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada PPET yang telah memfasilitasi peralatan ukur dan kepada staff subbid. Sarana Telekomunikasi yg telah banyak membantu.

DAFTAR REFERENSI

- [1] B. Allen, M. Dohler, E. Okon, W. Malik, A. Brown, and D. Edwards, *Ultra Wideband Antena and Propagation for Communication, Radar and Imaging*, West Sussuex, England: John Willey and Sons, 2007.
- [2] H. M. Jol, *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science & Technology, 2009.
- [3] J. G. Maloney and G. S. Smith, "A study of transient radiation from the Wu-King resistif monopole-FDTD analysis and experimental measurement", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 41, no. 5, pp. 668-679, May 1993.
- [4] D. J. Daniels, *Ground-Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2004.
- [5] A. A. Lestari, "Antennas for Improved Ground Penetrating Radar: Modeling, Tools, Analysis and Design", Ph.D. Dissertation, Delft University of Technology, The Netherlands, 2003.