

## PEMODELAN SISTEM RADAR UNTUK MENDETEKSI SALURAN KABEL LISTRIK DI BAWAH TANAH

Amir D<sup>1</sup>, Indrawati<sup>2</sup>, Akhyar<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Informatika Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: amir\_pnl@yahoo.com, windra96@yahoo.com, akhyar\_1966@yahoo.com

**Abstrak** – Pemodelan sistem radar untuk mendeteksi kabel listrik di bawah permukaan tanah adalah sebuah deskripsi yang menjelaskan simulasi bagaimana sebuah gelombang radar berpenetrasi ke dalam tanah, hingga terjadinya pantulan akibat gelombang menemui suatu objek kabel listrik. Waktu tempuh dan panjang lintasan yang dilalui pada saat gelombang merambat di dalam tanah selanjutnya diterjemahkan kedalam besaran jarak, untuk mengetahui keberadaan kabel pada jarak berapa dari permukaan tanah. Dalam pemodelan ini akan diambil 4 jenis tanah, yaitu pasir kering, pasir basah, lempung kering dan lempung basah. Pemodelan sistem radar ini merupakan sebuah bentuk pendekatan untuk melihat perilaku perambatan gelombang ke dalam tanah dan mekanisme pemantulannya, sehingga tingkah laku gelombang di dalam tanah dapat terlihat secara visualisasi melalui simulasi. Simulasi tersebut menggunakan beberapa model matematik yang digunakan untuk membangun aplikasi. Aplikasi dibangun dari penampilan bentuk grafis dan perhitungan yang meliputi waktu tempuh gelombang, kecepatan gelombang merambat dalam medium tanah dan estimasi jarak kabel listrik dari permukaan tanah. Berdasarkan hasil pengujian model simulasi sistem radar pada ke-4 jenis tanah secara umum memiliki akurasi minimum sebesar 99,68 % dan maksimum sebesar 100 % untuk setting Tx-Rx 1 meter, sementara untuk jarak Tx dan Rx 2 meter, model sistem radar memiliki akurasi minimum sebesar 98,84 % dan maksimum sebesar 100 %. Akurasi rata-rata pada jarak Tx-Rx 1 meter sebesar 99,71% dan 99,72% pada jarak Tx-Rx 2 meter. Deteksi jarak kabel listrik di bawah permukaan tanah dalam simulasi memiliki deviasi pengukuran yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,29 % pada ke-4 jenis tanah yang diobservasi untuk jarak Tx-Rx sebesar 1 meter dan 0,28 % pada jarak Tx dan Rx sebesar 2 meter.

**Kata Kunci:** gelombang, pemodelan, simulasi, radar

### I. PENDAHULUAN

Permasalahan yang dihadapi dalam memahami dan menganalisa bagaimana memvisualisasi sebuah gelombang pada radar menjalar ke dalam tanah dan selanjutnya memantul jika menemui keberadaan kabel listrik serta bagaimana mengkonversi waktu yang dibutuhkan gelombang saat merambat pada lintasan yang dilalui gelombang tersebut kedalam besaran jarak, sehingga keberadaan kabel listrik di bawah permukaan tanah dapat diketahui. Penelitian-penelitian yang membahas tentang visualisasi sistem radar bawah tanah masih kurang. Pemahaman tentang perilaku gelombang bawah tanah dan bagaimana kemampuan penetrasinya pada beberapa sifat dielektrik tanah akan diuraikan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini juga akan dijelaskan serta dideskripsikan melalui simulasi bagaimana gelombang merambat dan memantul jika mendapatkan objek kabel di dalam tanah sehingga tanah tidak bersifat homogen.

Dalam pemodelan ini akan diambil 4 jenis tanah yang berbeda, yaitu; pasir kering, pasir basah, lempung kering dan lempung basah. Pemodelan sistem radar ini merupakan sebuah bentuk pendekatan visualisasi untuk melihat perilaku perambatan gelombang ke dalam tanah dan mekanisme pemantulannya, sehingga tingkah laku gelombang di dalam tanah seperti waktu yang dibutuhkan gelombang merambat didalam tanah serta

seberapa cepat gelombang tersebut berpenetrasi pada keempat karakteristik tanah akan divisualisasikan pada penelitian ini[1][2][3].

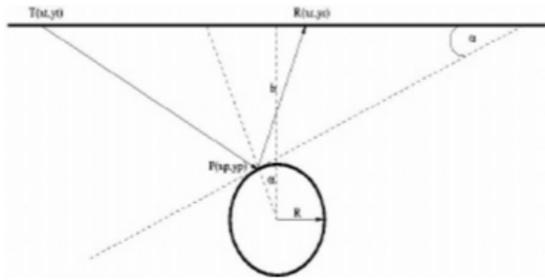
Pada penelitian ini, pemodelan akan mendeskripsikan 4 jenis tanah yang berbeda, yaitu pasir kering, pasir basah, lempung kering dan lempung basah. Pemodelan sistem radar ini merupakan sebuah bentuk pendekatan untuk melihat perilaku perambatan gelombang ke dalam tanah dan mekanisme pemantulan, penyerapan gelombang dalam tanah serta cara menterjemahkan jarak. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jaringan Komputer Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe.

### II. TINJAUAN PUSTAKA

Pemodelan adalah rencana, representasi, atau deskripsi yang menjelaskan suatu objek, sistem, atau konsep, yang seringkali berupa penyederhanaan atau idealisasi. Bentuknya dapat berupa model fisik bisa berupa maket, bentuk prototipe, model citra seperti gambar, komputerisasi, grafis, atau rumusan matematis.

Sistem adalah suatu kesatuan yang terdiri dari komponen atau elemen yang dihubungkan bersama untuk memudahkan aliran informasi, materi atau tanah, seperti pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat dimodelkan sebuah garis yang merupakan lintasan sinyal impuls atau S (meter) dari antenna pemancar Tx di

koordinat (xt, yt), bertumbu pada sisi kabel di titik P koordinat (xp, yp) dan memantul ke antena penerima R di titik (xr, yr).



Gbr. 1 Posisi Kabel Listrik dengan Penampang Melintang

Beberapa karakteristik dari pada pemodelan sistem dapat dijelaskan secara singkat dalam uraian berikut:

1. dibuat dalam bentuk grafis dan tambahan keterangan secara tekstual,
2. dapat diamati dengan pola *top-down* dan *partitioned*,
3. memenuhi persyaratan minimal *redundancy*, dan
4. dapat mempresentasikan tingkah laku sistem dengan cara yang transparan[4].

Menurut Rumbaugh et.al (2004), prinsip dari pemodelan adalah:

1. memilih model apa yang digunakan, bagaimana masalahnya dan bagaimana juga dengan solusinya,
2. setiap model dapat dinyatakan dalam tingkatan yang berbeda,
3. model yang terbaik adalah yang berhubungan dengan realitas, dan
4. tidak pernah ada model tunggal yang cukup baik, setiap sistem yang baik memiliki serangkaian model kecil yang independen[5].

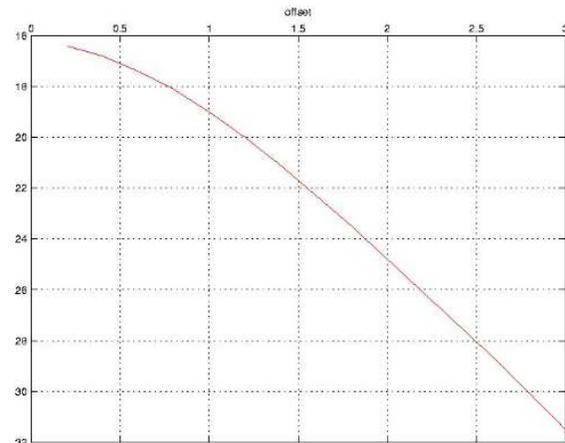
Dalam kasus pemodelan sistem radar untuk mendeteksi kabel listrik bawah tanah, maka objek yang akan menjadi target penalaan dengan radar adalah kabel listrik. Cara penalaannya harus melintang dari arah kabelnya, dan hanya dengan cara begini penalaan dilakukan. Apabila dibuat penampang melintang dari posisi kabel di bawah tanah, seperti pada Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat dimodelkan sebuah garis yang merupakan lintasan sinyal impuls atau S (meter) dari antena pemancar Tx di koordinat (xt, yt), bertumbu pada sisi kabel di titik P koordinat (xp, yp) dan memantul ke antena penerima R di titik (xr, yr).

a adalah sudut bidang pantul, dan R di tengah-tengah kabel adalah jari-jari kabel. b adalah derajat kedalaman kabel dari permukaan tanah.

$$S = \sqrt{R^2 + b^2 + 2.R.b.\cos\alpha + \sqrt{R^2 - 2R(x_r.\sin\alpha + b\cos\alpha). + x_r^2 + b^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Sumbu horizontal menggambarkan nilai x atau  $x_r$  atau sampling dari GPR ditunjukkan oleh Gambar 2. Sumbu vertikal menggambarkan waktu tempuh lintasan

S, dari impuls yang dipancarkan antena Tx dan diterima antena Rx.



Gbr. 2 Simulasi Rumus Lintasan S

Sumbu vertikal ini bisa diartikan sebagai kedalaman, dengan menggunakan Persamaan (2), sedangkan waktu atau t yang dibutuhkan gelombang yang menjalar dalam mediaum tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$t = \frac{S(X_r, \alpha)}{V} \dots\dots\dots (2)$$

dimana V adalah kecepatan rambat tanah rata-rata yang nilainya ditentukan menurut standar nilai tertentu. jari-jari kabel yang sudah ditentukan. Kedalaman dibuat menurut jenjang yang linier, sementara jari-jari kabel disesuaikan dengan sejumlah kabel listrik yang standar ada di lapangan, dan jumlahnya hanya sedikit[6].

Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancaran dan penerimaan pulsa. Dalam selang waktu ini, pulsa akan bolak balik dari antena pemancar ke objek dan kembali lagi ke antena penerima. Jika selang waktu dinyatakan dalam t, dan kecepatan propagasi gelombang elektromagnetik dalam tanah v, maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam h dan dapat dihitung dengan model Persamaan (3).

$$h = \frac{1}{2}.t.v \text{ (m)} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk mengetahui kedalaman objek yang dideteksi, kecepatan perambatan dari gelombang elektromagnetik haruslah diketahui. Kecepatan perambatan v (m/dtk) tersebut tergantung kepada kecepatan cahaya di udara c (m/dtk), konstanta dielektrik relative medium perambatan  $\epsilon_r$ . Nilai dari konstanta dielektrik relative bergantung pada material tanah[4].

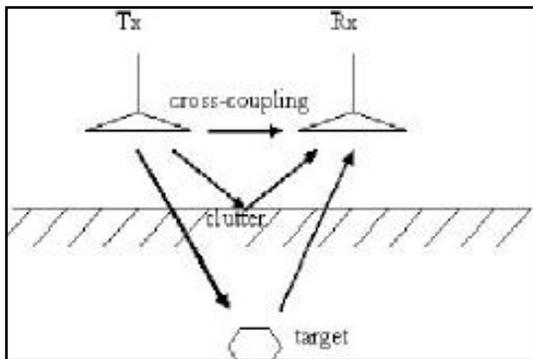
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (4)$$

Konstanta dielektrik relative atau permittivitas dielektrik dapat ditentukan melalui pengujian atau dari Tabel 1 di bawah ini.

Tabel I  
Permeativitas Dielektrik Relative Material

Material	Konduktivitas (mho per meter)	Relative Dielectric Permeativitas
Udara	0	1
Air Murni	10 <sup>-4</sup> sampai 10 <sup>-2</sup>	81
Air Laut	4	81
Es air tawar	10 <sup>-4</sup>	4
Pasir kering	10 <sup>-7</sup> sampai 10 <sup>-4</sup>	4 sampai 6
Pasir jenuh	10 <sup>-4</sup> sampai 10 <sup>-2</sup>	30
Lumpur Jenuh	10 <sup>-3</sup> sampai 10 <sup>-2</sup>	10
Tanah liat (lempung) jenuh	10 <sup>-1</sup> sampai 1	8 sampai 12
Batu pasir basah	4.10 <sup>-2</sup>	6
Shale basah	10 <sup>-1</sup>	7
Kapur kering	10 <sup>-4</sup>	7
Kapur basah	2,5.10 <sup>-2</sup>	8
Basalt basah	10 <sup>-2</sup>	8
Granit kering	10 <sup>-4</sup>	5
Granit basah	10 <sup>-3</sup>	7

Pada konfigurasi antenna yang terpisah, tentunya akan menimbulkan kondisi *cross coupling*. Kondisi *cross-coupling* merupakan sinyal yang dikirimkan secara langsung oleh antenna pengirim ke antenna penerima seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gbr. 3 Cross Coupling [6]

Untuk memaksimalkan pada target yang dideteksi, maka antara antenna pengirim dan penerima harus dipisahkan dengan jarak berdasarkan rumus berikut ini:

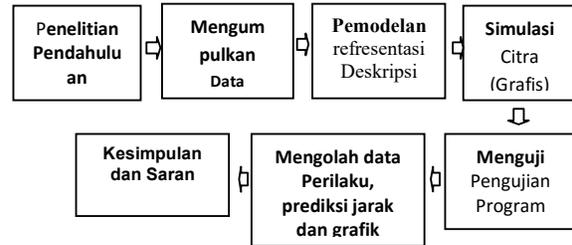
$$S = \frac{2depth}{\sqrt{K - 1}} \dots\dots\dots (5)$$

dimana S adalah jarak antara antenna pemancar dan penerima (m), K adalah konstantanta propagasi ( $\epsilon_r$ ), depth kedalaman penetrasi antenna atau jarak antenna dengan tanah.

**III. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan, yang dimulai dari persiapan, penelitian

pendahuluan, pemodelan, pembuatan program (aplikasi atau membuat simulasi), pengujian software, mengolah data dan kesimpulan. Lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gbr. 4 Diagram Alir Penelitian

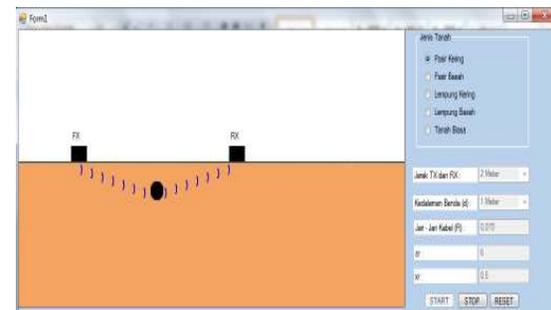
Pada tahap ini, kegiatan penelitian dilakukan untuk merancang model simulasi yang merepresentasikan keadaan nyata dalam penetrasi gelombang radar yang menjalar pada medium dalam tanah dan dapat menghitung sifat-sifat gelombang seperti waktu yang dibutuhkan gelombang merambat dalam medium tanah, kecepatan gelombang merambat, panjang lintasan gelombang merambat dalam tanah dan menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk grafik waktu fungsi jarak prediksi kabel listrik dalam tanah.

Untuk keperluan pemodelan tersebut, maka diperlukan data-data hasil penelusuran literatur dan model persamaan matematik sebagai acuan untuk membangun model si-mulasi tersebut. Diharapkan hasil penelitian ini, akan memberikan penguatan teoritis terhadap penelitian sebelumnya.

**IV. HASIL DAN ANALISA**

**A. Pemodelan**

Pemodelan sistem radar untuk mendeteksi kabel listrik di bawah tanah dirancang dengan mengacu pada Gambar 1 dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 5. Pemodelan sistem radar tersebut merupakan deskripsi dari representasi persamaan (1) – (5).



Gbr. 5 Model Aplikasi Sistem Radar untuk Mendeteksi Kabel Listrik Bawah Tanah

Ada 4 komponen utama yang menjadi parameter untuk dihitung pada pemodelan ini untuk memperoleh data pada simulasi sistem pemodelan radar untuk deteksi kabel listrik bawah tanah, antara lain jarak kabel listrik dari permukaan tanah (h) dalam cm, kecepatan

gelombang berpenetrasi di dalam tanah yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah ( $v$ ), jarak lintasan gelombang merambat ke dalam tanah ( $m$ ), waktu yang dibutuhkan gelombang menjalar dari pemancar Tx menuju kabel listrik, selanjutnya dari kabel listrik menuju ke penerima Rx (detik), dan jarak pemancar dan penerima yang diatur untuk menghindari terjadinya *cross coupling*.

**B. Diameter Objek Kabel Listrik Sebagai Objek Penalaan**

Objek yang menjadi target penalaan radar adalah kabel listrik bawah tanah yang ditampilkan dalam bentuk citra grafis. Pada gambar tersebut diperlihatkan sebuah model dalam bentuk sebuah garis yang merupakan lintasan sinyal impuls dari antena Tx ( $X_t, Y_t$ ) bertumbu pada sisi kabel di titik P kordinat ( $X_p, Y_p$ ) dan memantul ke antena penerima R di titik ( $X_r, Y_r$ ) dengan sudut pantul  $\alpha$ , jari-jari tengah kabel R dan b adalah kedalaman kabel.

**C. Jarak Antara Antenna Tx dan Rx (s)**

Jarak antara Tx dan Rx diatur dengan tujuan untuk menghindari terjadi *cross coupling* antara Tx dan Rx. *Cross coupling* dipengaruhi oleh jarak kedalaman kabel dari permukaan tanah b dan besarnya konstanta propagasi yang menjalar di dalam tanah. Adapun jarak tersebut diatur pada jarak 1 meter dan 2 meter.

**D. Jarak Lintasan Gelombang**

Kedalaman kabel diatur pada 5 variasi, yaitu 100 cm, 200, cm, 300 cm, 400 cm dan 500 cm. Panjang lintasan gelombang merambat pada ke-4 media tanah bergantung pada kedalaman kabel listrik dan jarak antara Tx dan Rx. Dengan mengacu pada Gambar 1 dan Gambar 3 serta dengan menggunakan persamaan (1), maka hasil perhitungan panjang lintasan gelombang berdasarkan pemodelan simulasi diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel II  
Panjang lintasan Ggelombang Merambat Fungsi Jarak Kabel dari Permukaan Tanah

Kedalaman Kabel h (cm)	Panjang Lintasan Gelombang (cm)
100	223,61
200	412,31
300	608,28
400	806,23
500	1004,99

Panjang lintasan gelombang merambat untuk semua jenis tanah sama pada kedalaman kabel h dari permukaan tanah adalah sama. 100 cm adalah 233,6 cm, 200 cm adalah 412,31 cm, 300 cm adalah 608,28 cm, 400 cm adalah 806,23 cm, dan 500 cm adalah 1004,99 cm.

**E. Perilaku Gelombang dalam Media Tanah**

Observasi perilaku gelombang menjalar dalam media tanah diamati pada 4 jenis tanah yang berbeda,

yaitu pasir kering, pasir basah, lempung kering dan lempung basah. Perilaku tersebut meliputi waktu yang dibutuhkan gelombang merambat di dalam tanah ( $t$ ), kecepatan rambat gelombang ( $v$ ), kedalaman kabel listrik dalam tanah ( $h$ ).

**F. Waktu yang dibutuhkan Gelombang Merambat di dalam Tanah (t)**

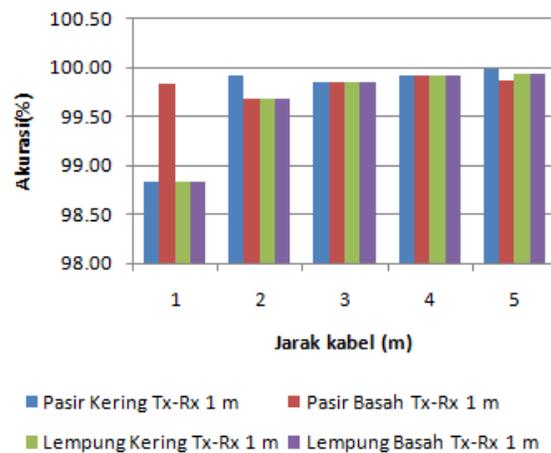
Waktu merambat gelombang dalam media tanah bergantung pada jenis tanah. Waktu rambat gelombang berpenetrasi ke dalam tanah dipengaruhi oleh jarak lintasan gelombang saat merambat pada medium tanah dan kecepatan rambat gelombang tersebut berpenetrasi sepanjang lintasannya.

**G. Akurasi**

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 serta Gambar 6 diperlihatkan perbandingan akurasi pada ke-4 jenis tanah yang diset pada 5 variasi jarak. Secara umum dapat dijelaskan bahwa pemodelan sistem radar memiliki akurasi minimum sebesar 99,68 % dan akurasi maksimum sebesar 99,99 % untuk setting Tx-Rz 1 meter, sementara untuk jarak Tx dan Rx 2 meter model sistem radar memiliki akurasi minimum sebesar 98,84% dan maksimum sebesar 99,99 %.

Tabel III  
Variasi Akurasi Hasil Pengukuran pada 4 Jenis Tanah pada Jarak Tx-Rx 1 m

Pasir Kering Tx-Rx 1 m (%)	Pasir Basah Tx-Rx 1 m (%)	Lempung Kering Tx-Rx 1 m (%)	Lempung Basah Tx-Rx 1 m (%)
98,84	99,84	98,84	98,84
99,92	99,68	99,68	99,68
99,85	99,85	99,85	99,85
99,92	99,92	99,92	99,92
100	99,88	99,95	99,95



Gbr. 6 Kurva Hasil Perhitungan Akurasi Pengukuran Jarak Kabel pada Tx-Rx 1m

## V. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa pemodelan sistem radar memiliki akurasi minimum sebesar 99,68 % dan akurasi maksimum sebesar 99,99 % untuk setting Tx-Rx 1 meter, sementara untuk jarak Tx dan Rx 2 meter model sistem radar memiliki akurasi minimum sebesar 98,84% dan maksimum sebesar 99,99 %.

## REFERENSI

- [1] Alindra, R., Wijanto, H. and Usman, K., 2017. **Deteksi Bentuk Objek Bawah Tanah Menggunakan Pengolahan Citra B-Scan pada Ground Penetrating Radar (GPR).** *TELKA-Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 3(1), pp.73-83.
- [2] Prasetyo, A.D., 2009. **Deteksi dan Estimasi Dimensi dan Lokasi Objek Bawah Tanah pada Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR) Berbasis Pengolahan Sinyal C-Scan.**
- [3] Amir D., dkk. **Rancang Bangun Radar untuk Mendeteksi Saluran Kabel Listrik di Bawah Tanah.** Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2015. pp.108-115
- [4] Beres, M. and Haeni, F.P., 1991. **Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologie Studies.** *Groundwater*, 29(3), pp.375-386
- [5] Rumbaugh, J., Jacobson, I. and Booch, G., 2004. *Unified modeling language reference manual, the.* Pearson Higher Education
- [6] Muhyi Yumarsono 2008. **Deteksi Kabel Listrik Bawah Tanah dengan Otomata.** <https://www.researchgate.net/publication/319122377>. diakses 12 Nopember 2017