

## **RANCANG BANGUN RADAR PENDETEKSI SALURAN KABEL LISTRIK DI BAWAH TANAH**

**Amir D<sup>1</sup> dan Indrawati<sup>2</sup>**

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

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

Jalan Medan Banda Aceh Km. 275,5 Lhokseumawe, 24375

Amir\_pnl@yahoo.com

### **ABSTRAK**

Radar pendeteksi saluran kabel bawah tanah adalah sebuah peralatan yang berfungsi mendeteksi objek benda di bawah permukaan tanah pada jarak tertentu menggunakan gelombang radio. Prototipe Radar terdiri atas 3 elemen penting, yaitu; Antena, pemancar dan penerima. Radar dirancang untuk keperluan dapat mendeteksi objek kabel listrik yang tertanam pada berbagai karakteristik elektrik medium tanah dan bekerja pada frekuensi 500 MHz dan amplitude 17 dBm. Metode yang digunakan untuk mengobservasi saluran kabel listrik menggunakan gelombang radio RF yang dipancarkan oleh antena ke dalam tanah. Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan sangat kecil. Jika sinyal menabrak suatu inhomogenitas di dalam tanah, maka sinyal yang dipantulkan ke antena penerima levelnya besar. Sinyal ini kemudian diproses untuk mengetahui jarak objek saluran kabel listrik dalam tanah. Elemen radar disusun dari sub-sistem antena Tx dan Rx yang memiliki impedansi input sebesar 49 dan 48  $\Omega$ , VSWR Tx dan RX 1,18 dan 1,58 beamwidth Tx dan Rx 30<sup>0</sup>, gain 3,1 dan 3,4 dBi serta bandwidth antena Tx \ dan Rx adalah 28 dan 18 MHz. sub-sistem pemancar dapat memancar sinyal dengan daya maksimum 17 dBm. Sub-sistem penerima terdiri dari Low Noise Amplifier yang bekerja pada frekuensi RF 20-500 MHz dengan daya 1-5 watt. Filter berfungsi melewatkan sinyal yang bekerja pada frekuensi 16 MHz. Sub-sistem pemroses dibangun dari ATmega 328 Arduino. ATmega 328 memiliki 32 KB, 0,5 KB diduduki oleh bootloader. Ia juga memiliki 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM. terhubung ke pin yang sesuai dari ATmega 8U2 USB-to-TTL Serial Chip. PWM : 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Memberikan 8-bit PWM output dengan analogWrite () fungsi. Tampilan display LCD digunakan sebagai alat untuk indikator pembacaan jarak benda didalam tanah. Berdasarkan hasil pengujian pada media pasir kering, radar dapat mendeteksi kabel listrik pada kedalaman 2 meter dengan standar deviasi sebesar 1,19. Pada media pasir basah, radar mendeteksi keberadaan kabel listrik pada jarak 160 cm dengan standar deviasi sebesar 1,20. Pada media lempung kering diketahui bahwa radar dapat mendeteksi kabel listrik pada kedalaman 160 cm dengan deviasi pengukuran sebesar 1,40. Deteksi pengukuran menyimpang pada arah negatif dengan simpangan terbesar sebesar 4 cm lebih kecil dari kondisinya sebenarnya. Pada tanah lempung basah jarak deteksi lebih pendek dengan yang lainnya, yaitu sebesar 140 cm dengan standar deviasi 1,11. Pada pengukuran ini diketahui bahwa jarak penetrasi gelombang kedalam tanah, mengalami penurunan pada tanah yang memiliki permetifitas dielektrik yang lebih besar.

***Kata Kunci: Dielektrik tanah, Gelombang radio, Kabel listrik, Radar, Penetrating***

### **ABSTRACT**

Abstract-Radar detection of underground electrical cable is an equipment that serves to detect objects electrical cable underground at a certain distance using radio waves. Radar is designed for the detection electrical cable in a variety of electrical characteristics of the soil medium and works at a frequency of 500 MHz and amplitude of 17 dBm. The method used to detect underground electrical cables is RF waves emitted by the transmitter antenna into the ground. If the soil is homogeneous, then the reflected signal will be very small. If the signal crashed into a inhomogenitas in the ground, then there will be the reflected signal to the receiving antenna. This signal is then processed to determine the distance of objects in the ground electrical cable. channels. Arrangement radar elements consists of subsystem Tx and Rx antenna has an input impedance of 49 and 48, VSWR Tx and RX 1.18 and 1.58 beam width Tx and Rx 300, 3.1 and 3.4 dBi gain and bandwidth of the antenna Tx \ and Rx are 28 and 18 MHz sub-system of the transmitter can radiate signals with a maximum power range 17 dBm. Receiver sub-system consists of a Low Noise Amplifier which works at a frequency of 20-500 MHz and RF power 1-5 watt. Filter is function passes the signal that work on frequency 16 MHz Processor-subsystem consist of a AT mega 328 built from Arduino. AT mega 328 has 32 KB, 0.5 KB occupied by the boot loader. It also has 2 KB of SRAM and 1 KB EEPROM that can be read and written with the EEPROM library connected to the corresponding pin of AT mega 8U2 USB-to-TTL Serial chip. PWM : 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with analog Write () function. Display LCD display is used as a tool for object distance indicator readings in the soil. Based on test results on dry sand media, the radar can detect the electrical cable

at a depth of 2 meters with a standard deviation of 1.19. In the wet sand media, radar detecting the presence of electrical cable at a distance of 130 cm with a standard deviation of 1.20. On the dry clay media is known that the radar can detect the electrical cable at a depth of 160 cm with measurement deviation of 1.40. Detection measurements deviate in a negative direction with the greatest deviation of 4 cm smaller than the actual condition. In the wet clay soil detection distance shorter with each other, that is equal to 140 cm with a standard deviation of 1.11. This measurements it is known that the distance the wave penetration into the soil, decline in soil that has a greater dielectric permittivity.

**Keywords:** Dielectric soil, radio wave, electric line, radar, penetrating

## I. PENDAHULUAN

Pada program pemeliharaan jaringan kabel listrik bawah tanah, keberadaan kabel listrik bawah tanah dilakukan melalui petunjuk peta yang tersedia, namun demikian adakalanya peta lokasi tidak tersedia, sehingga pencarian dilakukan dengan cara memprediksi lokasi dari objek di bawah tanah tersebut, dengan demikian keberadaan objek yang ingin ditelusuri, lokasinya tidak dapat diketahui dengan tepat, sehingga lokasi pencarian dan penggalian salah sasaran dan mengakibatkan kerusakan infrastruktur jalan, bangunan atau merusak kondisi permukaan tanah akibat penggalian yang tidak tepat tersebut.

Beberapa penelitian pernah dilakukan untuk mendeteksi keberadaan objek di bawah permukaan tanah [1][2][3]. Penelitian yang sama juga dilakukan dengan menggunakan Ground Penetrating Radar (GPR), menemukan bahwa lokasi capaiannya Radar yang spesifik dan antenna GPR secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu. Jadi apabila GPR bekerja dengan impuls yang berbeda memerlukan antenna yang berbeda [4].

Aplikasi alat deteksi kabel listrik bawah tanah dipasaran masih relatif sedikit dan juga harganya cukup mahal. Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik melakukan penelitian terapan dengan judul "Rancang Bangun Radar Untuk Mendeteksi Kabel Listrik Bawah Tanah". Radar didesain terdiri dari 3 elemen, yaitu; sub-sistem antenna, sub-sistem pemancar dan sub-sistem penerima. Radar bekerja pada frekuensi 500 MHz dan daya pancar 17 dBm. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Radio dan Frekuensi Tinggi Program Studi Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Lhokseumawe.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Kajian Pustaka

Beberapa penelitian tentang radar untuk mendeteksi objek dibawah permukaan tanah telah dilakukan. Radar kepanjangan dari Radio Detection and Ranging [1]. Salah satu jenis radar untuk mendeteksi objek bawah tanah adalah Ground Penetrating Radar. Radar ini menggunakan metode geofisika yang menggunakan gelombang pulsa untuk mengamati citra bawah permukaan.

Radar lainnya menggunakan metode non-destruktif, yaitu radar yang menggunakan gelombang elektromagnetik di band microwave ( UHF/ VHF frekuensi ) dari

spektrum radio dan mendeteksi struktur bawah permukaan [5]. GPR dapat digunakan dalam berbagai media, termasuk batuan, tanah, es, air bersih, trotoar dan struktur.

Kemampuan GPR berpenetrasi pada kedalaman dipengaruhi oleh frekuensi sumber sinyal GPR, efisiensi radiasi, antenna GPR, sifat elektrik material di bawah permukaan tanah [6]. Untuk frekuensi 900 MHz kedalam penetrasi gelombang mencapai 1,5 m, frekuensi 200 MHz mencapai kedalaman 9 m dan penggunaan frekuensi 80 MHz sampai 16 MHz mencapai kedalaman 10 m hingga 30 m [5]. Kelemahan pada sistem ini, terletak pada rentang frekuensi yang di gunakan serta sistem antenna yang harus disesuaikan, untuk mendapatkan jarak jangkauan terhadap objek yang dapat dideteksi [7].

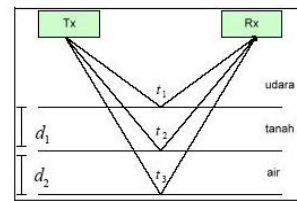
### Estimasi Lokasi Objek

Pada beberapa penelitian sebelumnya, radar untuk aplikasi deteksi kabel bawah tanah menggunakan beberapa elemen dengan perangkat berikut:

1. Gelombang berbentuk Impuls.
2. Pemancar membangkitkan frekuensi 200 MHz.
3. Antena Tx dan Rx menggunakan antenna directional dengan polarisasi vertikal.
4. Cross polarisasi antenna sama dengan nol.

Radar terdiri atas transmitter Tx dan receiver Rx, yaitu antenna yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa), pengaturan timing circuit, penerima (receiver) yang terdiri dari antenna yang terhubung ke LNA dan ADC dan dihubungkan ke unit pengolahan atau data processing serta display sebagai tampilan outputnya [6].

Pulsa ini akan dipancarkan oleh antenna ke dalam tanah. Pulsa ini akan mengalami atenuasi dan cacat sinyal lainnya selama perambatannya di tanah. Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan akan sangat kecil. Jika pulsa menabrak suatu inhomogenitas di dalam tanah, maka akan ada sinyal yang dipantulkan ke antenna penerima. Sinyal ini kemudian diproses oleh rangkaian penerima seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja radar tanah (GPR)

Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancaran dan penerimaan pulsa [8]. Dalam selang waktu ini, pulsa akan bolak balik dari antena pemancar ke objek dan kembali lagi ke antena penerima. Jika selang waktu dinyatakan dalam  $t$  (detik), dan kecepatan propagasi gelombang elektromagnetik dalam tanah  $v$  (m/dtk), maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam  $h$  (meter) dan dapat dihitung seperti pada (1).

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

Kecepatan perambatan  $v$  dapat dihitung seperti (2). Kecepatan tersebut tergantung kepada kecepatan cahaya di udara  $c$ , konstanta dielektrik relatif medium perambatan  $\epsilon_r$ ,

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2)$$

Ketebalan beberapa medium di dalam tanah dinyatakan dalam  $d$  ( meter) seperti pada (3) dan (4), yaitu:

$$d = \frac{(t_2 - t_1)c}{2\sqrt{\epsilon_{r1}}} \dots\dots\dots (3)$$

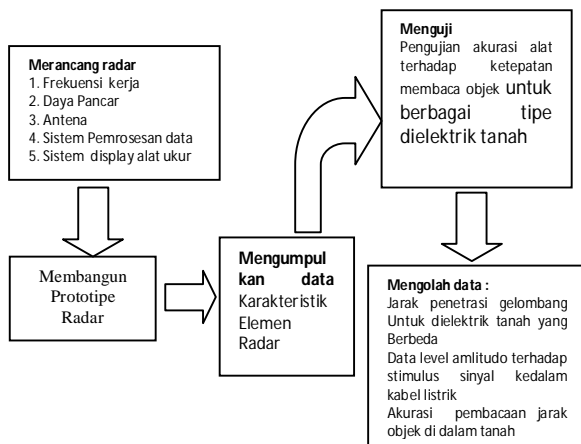
dan

$$d = \frac{(t_3 - t_2)c}{2\sqrt{\epsilon_{r2}}} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana  $t_1$ ,  $t_2$  dan  $t_3$  adalah proses kedatangan sinyal dan pemantulan sinyal pada suatu objek dan kembali ke penerima. Jika konstanta dielektrik medium semakin besar, maka kecepatan gelombang elektromagnetik yang dirambatkan akan semakin kecil. Pulse Repetition Frequency (prf) merupakan nilai yang menyatakan seberapa seringnya pulsa radar diradiasikan ke dalam tanah. Semakin dalam objek, maka prf juga semakin kecil karena waktu tunggu semakin lama.

**III. METODE PENELITIAN**

**Diagram Alir Tahapan Penelitian**



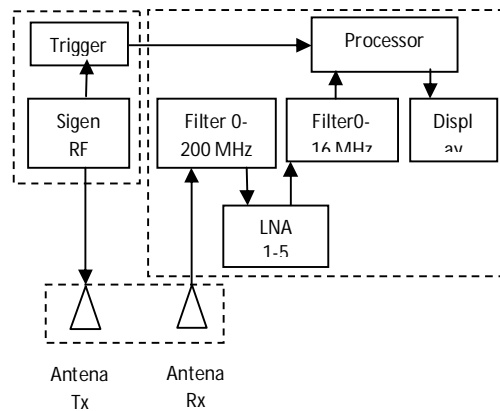
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan penelitian, yang dimulai dari perancangan dan membangun elemen radar, menguji karakteristik radar, pengujian akurasi alat, analisa hasil pengujian dan kesimpulan. Lebih rinci dapat dilihat pada gambar 2 di atas ini.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Rancangan Radar**

Radar pendeteksi kabel listrik bawah tanah dibangun atas 3 elemen, yaitu; sub-sistem antena, sub-sistem peman-car dan sub-sistem penerima. Lebih jelasnya diperlihatkan pada gambar 3 berikut.



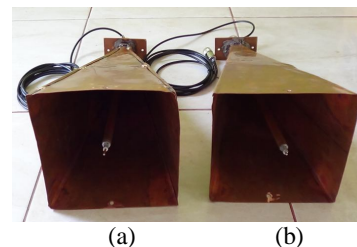
Gambar 3. Diagram radar hasil rancangan

**Sub-sistem Pemancar**

Sub-sistem pemancar adalah elemen radar yang didesain untuk membangkitkan sinyal yang bekerja pada frekuensi 500 MHz, daya pancar sebesar 17 dBm. Pemancar dibangun dari sebuah *signal generator RF*. Yang memiliki impedansi output 50  $\Omega$ .

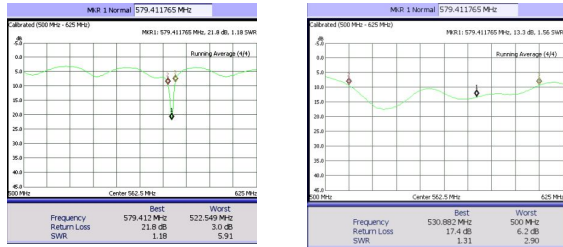
**Sub-sistem Antena**

Untuk memancarkan dan menerima gelombang yang berpenetrasi ke dan dari dalam tanah, maka digunakan se-buah antena coaxial dipole reflector pyramida atau reflektor yang berbentuk Horn. Adapun bentuk antena ada 2 buah, yaitu antena pemancar (Tx) dan antena penerima (Rx) seperti terlihat pada gambar 4 (a) dan 4(b).



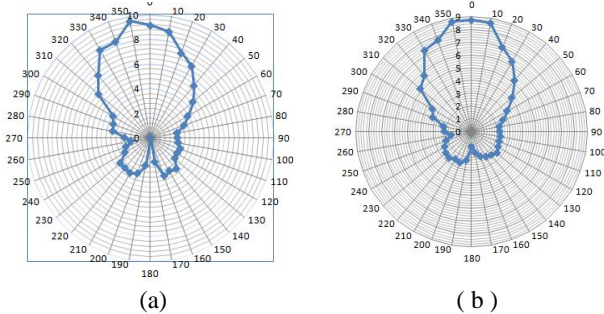
Gambar 4. Antena (a) Pemancar, (b) Penerima

Bandwidth antenna Tx dan Rx sebesar 28 MHz dan 18 MHz, VSWR 1,18 dan 1,58, beamwidth 30°, Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5(a) dan 5(b) serta gambar 6(a) dan 6(b) dan tabel 1.



(a) (b)

Gambar 5. Bandwidth (a) antenna Tx, (b) antenna Rx



(a) (b)

Gambar 6. Beamwidth antenna (a) Pemancar, (b) Penerima

Tabel 1. Spesifikasi Antena

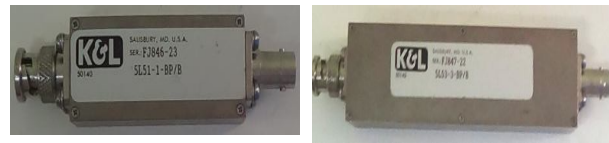
Antena	Karakteristik Antena				
	VSWR	Zin (Ω)	Gain (dB)	Band Width (MHz)	Beam width (θ°)
Tx	1.18	49	3.1	28	30
Rx	1,56	48,44	3.4	18	30

**Sub-sistem Penerima**

**a. Filter**

Filter pada sisi penerima didesain untuk tujuan menyaring sinyal gelombang RF yang berasal dari antenna penerima dan menurunkannya agar sesuai sistem penerima. Filter yang pertama digunakan untuk menyaring frekuensi RF dari pemancar dari 500 MHz menjadi 200 MHz agar sesuai dengan frekuensi kerja LNA yang bekerja pada frekuensi 200 MHz. Filter yang digunakan adalah LPF. Filter yang kedua adalah filter yang digunakan untuk menyaring frekuensi output dari LNA dan menyesuaikan dengan frekuensi kerja dari sistem processor. Filter ini bekerja untuk menurunkan frekuensi 200 MHz ke 16

MHz agar sesuai dengan frekuensi klok dari sistem processor. Bentuk Filter yang digunakan seperti terlihat pada gambar 7.



(a) (b)

Gambar7. Filter BPF

**b. Elemen Low Noise Amplifier**

Low Noise Amplifier (LNA) adalah komponen elektro-nik yang ditempatkan di front-end pada rangkaian penerima radio. LNA berfungsi memperkuat sinyal yang diterima oleh antenna Rx. LNA ditempatkan berada diantara antenna Rx dengan rangkaian processor. Hal ini dibuat untuk mengurangi kerugian di feedline, sehingga sinyal gelombang elektromagnetik yang sampai pada penerima tidak mengalami degradasi pada saat dilakukan konversi atau pembacaan pada alat ukur. Adapun Spesifikasi dan bentuk Low noise amplifier yang digunakan pada sistem radar ini dapat diperlihatkan pada tabel 2 dan gambar 8.

Tabel 2. Spesifikasi LNA

Type	Frekuensi (MHz)	Daya (watt)	Channel
Ham-radio	20 samai 50	1 sampai 5	HF-VHF-UHF-FM Transmitter



Gambar 8. Komponen Low Noise Amplifier

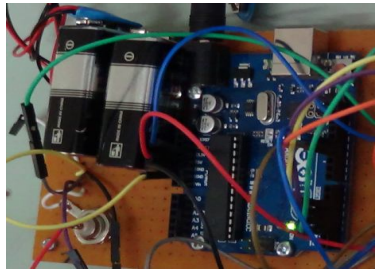
**c. Sistem Pemrosesan data**

**Tabel 3. Spesifikasi mikrokontroler**

Tegangan operasi	5 volt
Tegangan input yang direkomendasi	7-12 volt
Batas Tegangan input	6-20 volt
Dital I/O Pins	14 ( Output yang diberikan PWM)
Arus DC per I/O Pin	40 mA
Arus DC untuk 3,3 V Pin	50
Memori flash	32 KB (AT Mega 323) digunakan bootloader
SRAM	2 KB ATmega 328
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz.

Untuk melakukan proses deteksi terhadap posisi jarak kabel listrik yang berada dalam permukaan tanah, maka sinyal yang telah diperkuat melalui komponen LNA selanjutnya diinputkan pada rangkaian mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Mikrokontroler ATmega Arduino dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 3

Alat pemroses ini dioperasikan untuk mendeteksi dan memproses pembacaan jarak yang berasal dari gelombang pantul dan terdeteksi dipenerima. Bentuk fisik dari alat tersebut diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Alat pemroses sinyal

#### Sistem Display Alat Ukur

Untuk menampilkan hasil pengukuran digunakan Liquid Crystal Display (LCD). Alat ini berfungsi untuk menampilkan indikator jarak hasil deteksi kabel listrik dari dalam tanah. Tampilan LCD berukuran 4 x 16 cm. Lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Bentuk tampilan LCD

Sistem display LCD fungsinya dapat digantikan oleh notebook, sehingga tampilan pembacaan hasil pengukuran bisa dibaca melalui notebook. Berikut prototype radar yang dihasilkan diberikan pada gambar 11.



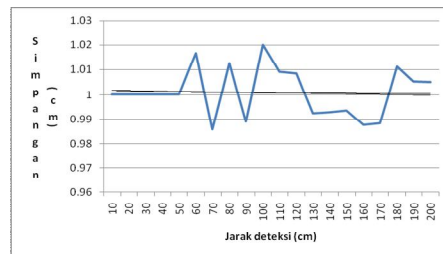
Gambar 11. Prototype radar pendeteksi kabel bawah tanah

#### Pengujian Akurasi Alat

Pengujian akurasi alat dilakukan pada 5 jenis material tanah yang berbeda, yaitu pasir kering, pasir basah, lempung kering, lempung basah. Hasil penelitian baru menyelesaikan 3 jenis pengujian, Pada artikel ini akan dijelaskan hasil pengujian akurasi pembacaan jarak deteksi kabel pada tanah pasir kering dan pasir basah. Kabel listrik yang diuji diletakkan pada jarak yang bervariasi dari permukaan tanah mulai dari 10 cm sampai dengan 200 cm dengan kenaikan kelipatan 10 cm. Sampel kabel listrik yang menjadi objek deteksi adalah XLPE ukuran 3x1x240 mm<sup>2</sup>.

##### a. Pengujian Pada Pasir Kering

Pasir kering adalah pasir yang mengandung kadar air yang rendah. Pasir ini memiliki permittivitas dielektrik antara 4 sampai 6. Pasir ditempatkan pada suatu wadah dimana didalamnya diletakkan kabel listrik dengan setting jarak 10 cm sampai 200 cm dengan kenaikan setiap 10 cm. Dari data hasil pengujian diketahui bahwa jarak penetrasi gelombang dapat mendeteksi kabel listrik yang tertanam pada pasir kering akurasi bervariasi. Pada jarak 10 cm sampai 30 cm, radar dapat mendeteksi dengan tepat, pada jarak 40 cm hingga 200 cm, hasil pembacaan menyimpang antara 1 sampai 2 cm dari kondisi sebenarnya. Standar deviasi hasil pembacaan pada jarak tersebut sebesar 1,19. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Pengukuran pada tanah pasir kering

##### b. Pengujian Pada Pasir Basah

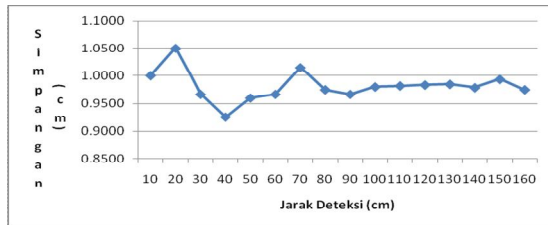
Pada kondisi yang sama, juga dilakukan pengujian pada pasir basah. Pasir ini memiliki permittivitas dielektrik sebesar 30. Pada pasir basah, diketahui bahwa radar dapat mendeteksi kabel listrik dengan pembacaan akurasi yang tepat pada jarak 20 cm, pada jarak lebih besar dari itu pembacaan radar menyimpang sebesar 1 dan 2 cm ke arah negatif dan positif. Deteksi kabel listrik optimum dicapai pada jarak 130 cm dibawah permukaan tanah. Standar deviasi hasil pengukuran sebesar 1,2. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Pengukuran pada pasir basah

**c. Pengujian Pada Lempung Kering**

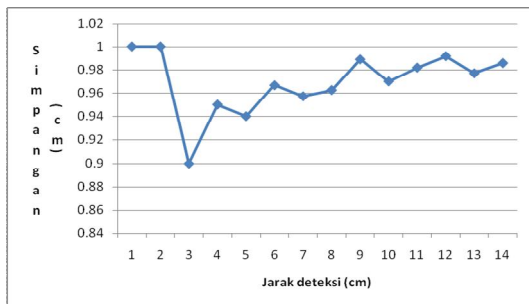
Tanah lempung kering adalah tanah liat, Tanah ini memiliki sifat permealititas dielektrik sebesar 3. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa radar dapat mendeteksi kabel listrik pada kedalaman 160 cm dengan deviasi pengukuran sebesar 1,40. Deteksi pengukuran menyimpang pada arah negatif dengan simpangan terbesar sebesar 4 cm lebih kecil dari kondisi sebenarnya. Lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Pengukuran pada pasir lempung basah

**d. Lempung Basah**

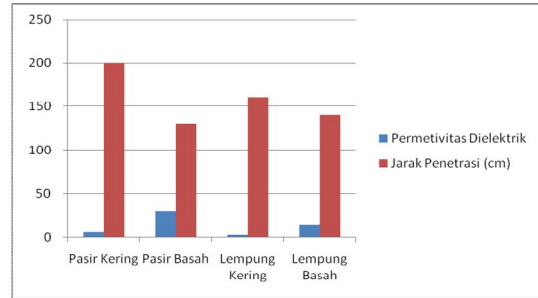
Tanah lempung basah adalah tanah liat yang, Tanah ini memiliki sifat permealititas dielektrik sebesar 8 sampai 15. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa radar dapat mendeteksi kabel listrik pada kedalaman 140 cm dengan deviasi pengukuran sebesar 1,40. Deteksi pengukuran menyimpang pada arah negatif dengan simpangan terbesar sebesar 3 cm lebih kecil dari kondisi sebenarnya. Lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 15. Pada pengukuran ini jarak deteksui lebih pendek dengan yang lainnya, yaitu sebesar 140 cm dengan standar deviasi 1,11



Gambar 14. Pengukuran pada tanah lempung basah

**Karakteristik Penetrasi Pada Beberapa Jenis Tanah**

Pada sub-bab ini, diperlihatkan hasil penetrasi gelombang saat mendeteksi kabel listrik dalam tanah, hasilnya diperlihatkan pada gambar 15 dan tabel tabel 4.



Gambar 15. Karakteristi jarak penetrasi gelombang terhadap jenis tanah

**Tabel 4. Hasil pengukuran jarak penetrasi gelombang**

Jenis Tanah	Permetivitas Dielektrik	Jarak Penetrasi (cm)
Pasir Kering	4-6	200
Pasir Basah	30	130
Lempung Kering	3	160
Lempung Basah	8-15	140

Dari kurva dan tabel hasil pengukuran tersebut diketahui bahwa, jarak penetrasi gelombang radio kedalam tanah dipengaruhi oleh konduktifitas tanah yang diwakili oleh sifat permealititas dielektrik tanah. Untuk tanah yang memiliki permealititas dielektrik yang lebih besar, maka penjaralan gelombang kedalam tanah penetrasi menurun

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa radar dioperasikan bekerja pada frekuensi 500 MHz, antena Tx dan Rx memiliki karakteristik beamwidth 30°, VSWR 1.18 dan 1,56, gain 3.1 dan 3,4, bandwidth 28 dan 18 Mhz. Daya pancar Tx sebesar 17 dBm. Dengan karakteristik radar yang demikian, maka pada media pasir kering, radar dapat mendeteksi kabel listrik pada kedalaman 2 meter dengan standar deviasi sebesar 1,19. Pada media pasir basah, radar mendeteksi keberadaan kabel listrik pada jarak 130 cm dengan standar deviasi sebesar 1,20, sedangkan pada tanah lempung kering radar dapat mendeteksi kabel listrik bawah tanah pada jarak 160 cm dengan standar deviasi pengukuran 1.40, sedangkan pada pada lempung basah jarak penetrasi lebih pendek yaitu 140 cm dengan standar deviasi pengukuran 1,11. Dari pengukuran ini diketahui bahwa jarak penetrasi gelombang kedalam tanah, untuk tanah yang memiliki permealititas dielektrik yang lebih besar, maka penjaralan gelombang kedalam tanah penetrasi menurun

Bagi peminat yang ingin meneruskan penelitian ini, agar jarak penetrasi gelombang semakin jauh, maka perlu dilakukan kajian pada penggunaan daya pancar Tx, frekuensi operasi pemancar serta penggunaan antena yang sesuai dengan karakteristik medan bumi.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hülsmeier, 1904, *Telemobiloscope*, Bremen Jerman.
- [2] Hülsenbeck, 2011, *Ground Penetrating Radar: Application Case and Histories*”, John Wiley Sons.
- [3] Agus Dwi Prasetyo, 2009, *Deteksi Dan Estimasi Dimensi Dan Lokasi Objek Bawah Tanah Pada Aplikasi Ground Penetrating Radar (Gpr) Berbasis Pengolahan Sinyal C-Scan*, ittelkom.
- [4] Folin Oktafani, 2011, **Ground Penetrating Radar untuk Mendeteksi Benda-benda di Bawah Permukaan Tanah**, *P2 Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI*.
- [5] Daniels, D.J., 2004, *Ground-Penetrating Radar*, 2nd Edition. IEE Radar, Sonar, Navigation And Avionic Series 15.
- [6] Benson, A. K., 1995, *Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazards: examples of ground water contamination, faults, cavities*. *J. of Applied Geophysics*, 33 (1-3), 177-193.
- [7] Buder, R., 1996, *The Invention That Changed the World*, Simon & Schuster.
- [8] D. J. Daniel, 1996, *Surface Penetrating Radar*, The Institution of Electrical Engineers.