

Mobile Ground Penetrating Radar (GPR) Untuk Pemetaan Kandungan Air Pada Tanah

Mobile Ground Penetrating Radar For Soil Water Content (SWC) Mapping

1st I Putu Angga Abiyoga
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
anggaabiyoga@student.telko
muniversity.ac.id

2nd A Adya Pramudita
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
pramuditaadya@telkomunive
rsity.co.id

3rd Dharu Arseno
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
darseno@telkomuniversity.ac
.id

Abstrak—Pemetaan kandungan air pada tanah (KAT) sangat penting dalam berbagai bidang seperti pada bidang pertanian. Metode gravimetri biasanya merupakan metode yang umum digunakan untuk mengukur KAT. Namun, gravimetri memerlukan pengambilan sampel yang banyak, waktu yang lama dan biaya yang mahal. Salah satu metode yang dapat dijadikan alternatif adalah metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). GPR adalah metode deteksi pada tanah menggunakan gelombang elektromagnetik. Dalam penelitian sebelumnya pemanfaatan GPR hanya berfokus untuk mendeteksi KAT pada satu titik. Penelitian ini, mencoba untuk menggunakan (*Vector Network Analyzer*) VNA yang difungsikan sebagai GPR digabungkan dengan wahana gerak untuk melakukan pemetaan KAT. Sebelum implementasi mobile GPR dilakukan, tentunya dilakukan uji deteksi KAT pada satu titik untuk melihat akurasi dari GPR. Setelah melakukan pengujian deteksi di satu titik, dilakukan implementasi *mobile GPR* untuk melakukan pemetaan KAT pada area luas. Pengolahan data dibantu oleh aplikasi MATLAB dan juga pemrograman *python*. Hasilnya adalah berupa gambar pemetaan KAT pada suatu area. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pengukuran dengan *mobile GPR* dapat mendeteksi KAT bukan hanya pada satu titik saja namun dapat dilakukan pemetaan secara menyeluruh pada suatu area. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan deteksi juga jauh lebih cepat pada pengukuran GPR.

Kata kunci—*ground penetrating radar, kandungan air pada tanah, c-scan, post-processing.*

Abstract—*Mapping of soil water content (SWC) is very important in various fields such as in agriculture. The gravimetric method is usually the method used to measure SWC. However, gravimetry requires a lot of samples, takes a long time and expensive. One method that can be used as an alternative is the Ground Penetrating Radar (GPR) method. GPR is a ground detection method using electromagnetic waves. In previous studies, the use of GPR only focused on detecting SWC at single point. In this research use a Vector Network Analyzer (VNA) that functions as a GPR combined with a remote control to SWC mapping. Before the implementation of mobile GPR is carried out, of course, a SWC detection test is carried out at single point to see the accuracy of GPR. After conducting a detection test at single point, a mobile GPR implementation was carried out to SWC mapping in a large area. Data processing is assisted by MATLAB applications and also python programming. The result is a SWC mapping image in an area. Based on the research that has been done, it can be concluded that measurements with mobile GPR can detect SWC not only at single point, but also a thorough mapping of an area. The time required for detection is also much faster in GPR measurements.*

Keywords—*ground penetrating radar, soil water content, c-scan, post-processing.*

I. PENDAHULUAN

Kandungan air tanah (KTA) merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan tanah itu sendiri. Pengukuran KTA digunakan sebagai dasar untuk berbagai penelitian dibidang pertanian, perkebunan dan kehutanan [1]. Penelitian terkait KTA dilakukan sebab tekstur tanah berbeda-beda dan tidak semua cocok dengan tumbuhan. Tanah berperan sebagai media pengangkut nutrisi ke akar tumbuhan, kandungan air berlebih pada tanah justru dapat membatasi pergerakan udara dalam tanah sehingga menyebabkan tumbuhan mati [2]. Pengukuran KAT dapat menggunakan metode gravimetri, namun cara ini dinilai kurang efektif digunakan pada area yang luas karena membutuhkan waktu penelitian yang lama dan biaya yang mahal [3],[4]. Belakangan ini penelitian menunjukkan bahwa *Ground Penetrating Radar* (GPR) dapat mendeteksi KAT dengan mudah dan cepat.

Kandungan air tanah (KTA) merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan tanah itu sendiri. Pengukuran KTA digunakan sebagai dasar untuk berbagai penelitian dibidang pertanian, perkebunan dan kehutanan [1]. Penelitian terkait KTA dilakukan sebab tekstur tanah berbeda-beda dan tidak semua cocok dengan tumbuhan. Tanah berperan sebagai media pengangkut nutrisi ke akar tumbuhan, kandungan air berlebih pada tanah justru dapat membatasi pergerakan udara dalam tanah sehingga menyebabkan tumbuhan mati [2]. Pengukuran KAT dapat menggunakan metode gravimetri, namun cara ini dinilai kurang efektif digunakan pada area yang luas karena membutuhkan waktu penelitian yang lama dan biaya yang mahal [3],[4]. Belakangan ini penelitian menunjukkan bahwa *Ground Penetrating Radar* (GPR) dapat mendeteksi KAT dengan mudah dan cepat.

II. KAJIAN TEORI

A. Tanah dan Kandungan Air pada Tanah

Kadar air tanah dinyatakan sebagai perbandingan antara massa/berat air yang ada dalam sampel sebelum pengeringan dan massa/berat sampel setelah dikeringkan hingga mencapai massa atau berat yang tetap pada 105°C. Sebagai alternatif, volume air yang ada pada satu unit volume dapat

dijadikan ukuran kandungan air tanah. Oleh karena itu, ukuran kandungan air tanah yang biasa digunakan dalam studi-studi tanah adalah perbandingan tanpa dimensi atau persentase, sehingga membuat definisi gravimetri dan volumetri menjadi tidak sama. Dengan demikian, penting untuk menyatakan kandungan air tanah secara spesifik, berdasarkan perbandingan dua massa (gravimetrik) atau volume (volumetrik) [5].

B. Metode Gravimetri

Metode gravimetri merupakan metode yang paling sederhana secara konseptual dalam menentukan kadar air tanah. Pada prinsipnya mencakup pengukuran kehilangan air dengan menimbang sampel tanah sebelum dan sesudah dikeringkan pada suhu 105-110°C dalam oven. Hasilnya dinyatakan dalam persentase air dalam tanah, yang dapat di ekspresikan dalam persentase terhadap berat kering, berat basah atau terhadap volume. Masing-masing dari persentase berat ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

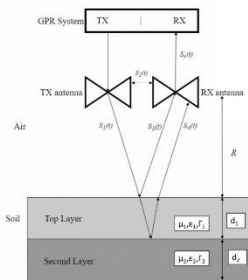
1. % H₂O berat kering = (berat H₂O/ berat tanah kering oven) x 100 %
2. %H₂O berat basah = (berat H₂O/ berat basah tanah) x 100 %
3. % H₂O volume = % H₂O berat kering x BD (bulk density)

C. GPR (*Ground Penetrating Radar*)

GPR adalah metode untuk mendeteksi objek yang terkubur di bawah permukaan tanah dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Berbagai aplikasi GPR telah dikembangkan seperti survei arkeologi, pemeriksaan ketebalan aspal, salju, gletser, mendeteksi ranjau, dan mendeteksi pipa, kabel, bunker, dan kontaminan di tanah serta banyak lainnya. *Ground Penetrating Radar* (GPR) sedang banyak dikembangkan karena merupakan teknik pengukuran yang tidak merusak struktur tanah karena menggunakan gelombang elektromagnetik untuk menemukan target yang terkubur dalam tanah, sehingga tidak memerlukan proses penggalian tanah [6].

Dalam gagasan mengukur KAT dan ketebalan lapisan atas tanah, sinyal yang sampai di antena Rx dimodelkan sebagai penjumlahan jalur propagasi langsung dan jalur gelombang yang dipantulkan seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1 Gelombang langsung dari antena Tx ke antena Rx $S_2(t)$ mewakili kopling level

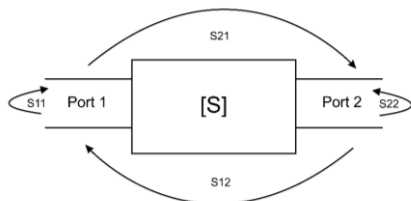
antara antenna Tx dan Rx. Ada dua gelombang pantul yang dipertimbangkan dalam model. Refleksi pertama $S_3(t)$ dari permukaan tanah dan yang kedua adalah $S_4(t)$ dari lapisan kedua tanah. Informasi tentang air kandungan di lapisan atas tanah diharapkan dapat diekstraksi dari refleksi pertama dan ketebalan lapisan atas tanah dapat diekstraksi refleksi kedua. Menurut model pada Gambar 2.1 sinyal yang diterima dinyatakan sebagai hasil penjumlahan $S_2(t)$, $S_3(t)$ dan $S_4(t)$, dengan $S_1(t)$ mentransmisikan gelombang dari antenna Tx yang tiba di permukaan tanah [7].



GAMBAR 2. 1 Model perambatan gelombang GPR

D. S-Parameter

Parameter hamburan atau *S-parameter* merupakan suatu metode pengukuran yang berhubungan dengan adanya gelombang datang dan pantul. S-parameter menggambarkan perilaku kelistrikan jaringan dengan frekuensi tinggi. Banyak sifat listrik dari jaringan komponen (induktor, kapasitor, resistor) dapat diekspresikan menggunakan *S-parameter*, seperti *Gain*, *Return Loss*, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)* dan *reflection coefficient*.



GAMBAR 2. 2 S-parameter 2 port

Parameter S dari 2 port VNA terdiri dari: S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} . S_{11} adalah gelombang pantul dari port satu yang diterima oleh port satu (*return loss*), S_{12} adalah S-parameter dari port dua yang diterima oleh port satu, S_{21} adalah gelombang pantul dari port satu yang diterima oleh port dua, S_{22} adalah gelombang

pantul dari port dua yang diterima oleh port dua (*return loss*).

E. Pemodelan Radar Menggunakan VNA

VNA adalah sub kelas instrumen yang dikenal sebagai penganalisis jaringan. Penganalisis jaringan umum adalah perangkat yang digunakan untuk mengkarakterisasi respons rangkaian khususnya jaringan linier terhadap sinyal dari berbagai frekuensi. Dalam perkembangannya, karena karakteristik yang mendukung VNA dapat dimanfaatkan untuk memodelkan radar. VNA sebagai alat untuk mengukur S-parameter dalam *Radio Frequency (RF)*. Konsep dasar dalam pemodelan radar menggunakan VNA diimplementasikan dengan dua buah port pada VNA dihubungkan dengan antenna dan S_{21} akan mereperentasikan pertukaran antara sinyal terima dengan sinyal yang ditransmisikan. Untuk tahapan pengolahan data dari VNA dilakukan beberapa tahapan pengolahan data dari VNA untuk pemodelan Radar berdasarkan [8] yaitu:

1. Menyusun data S_{21} menjadi vector FFT dalam domain frekuensi.
2. Membangkitkan sinyal transmit S_t lalu diubah menjadi vector diskrit $S_t(n)$ dengan N sampel data S_{21} sebanyak 201 data.
3. Melakukan perhitungan FFT dari $S_t(n)$.
4. Melakukan konvolusi dengan $k=1$ melalui persamaan berikut, yang nantinya $S_r(k)$ akan menjadi input dari IFFT.
 $[S_r(k) = FFT [S_{21}]. FFT [S_t(n)]$
5. Terakhir menentukan sinyal terima dengan IFFT yang dinyatakan dalam persamaan berikut, dan $S_r(n)$ menjadi output dari IFFT
 $[S_r(n)] = IFFT [S_r(k)]$

F. Estimasi Permittivitas Tanah

Nilai permitivitas tanah menjadi suatu ukuran yang dapat menentukan besarnya kemampuan tanah untuk meneruskan medan listrik dalam suatu area tertentu. Pada kasus untuk mengestimasi nilai

permitivitas tanah, perlu terlebih dahulu mendapatkan nilai koefisien pantul (Γ_a). Mengacu pada konsep gelombang elektromagnetik, Γ_a dapat diperoleh dengan mencari rasio antara amplitude gelombang terpantul $E [S_r]$ dengan amplitude gelombang transmit $E [S_t]$.

$$\Gamma_a = \frac{S_r(t)}{S_t(t)} \quad (2.2)$$

Langkah selanjutnya ialah mendapatkan nilai impedansi instrinsik tanah Z_a dari nilai impedansi instrinsik air Z_{air} dan nilai Γ_a yang telah diperoleh melalui persamaan 2.3.

$$Z_a = \frac{Z_{air}(\Gamma_a + 1)}{1 - \Gamma_a} \quad (2.3)$$

Setelah nilai impedansi tanah Z_a diperoleh, langkah selanjutnya ialah mencari nilai permitivitas dari tanah dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$\hat{\epsilon}_v = \frac{\mu}{(Z_a)^2} \quad (2.4)$$

Informasi mengenai $\hat{\epsilon}_v$ yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mencari tingkat kandungan air dalam tanah. Kandungan air dalam tanah diperoleh dengan mencari hubungan antara $\hat{\epsilon}_v$ dengan tingkat kelembaban tanah \hat{m}_v melalui *Topp Equation* seperti pada persamaan 2.5.

G. *Topp Equation* sebagai *Soil Moisture Estimation*

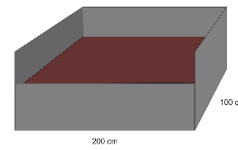
Topp Equation adalah model persamaan yang dikemukakan oleh Topp G., pada penelitian [9]. *Topp equation* membuktikan hubungan dari suatu permitivitas tanah $\hat{\epsilon}_v$ dengan nilai kelembaban tanah \hat{m}_v kedalam bentuk persamaan 2.5. Penerapan rumus ini sudah diimplementasikan kedalam bentuk persamaan lebih sederhana untuk memperoleh nilai estimasi kandungan air pada tanah [10][11].

$$\hat{m}_v = -7.20 \cdot 10^{-2} + 4.93 \cdot 10^{-2} \cdot (\hat{\epsilon}_v) - 3.10 \cdot 10^{-3} \cdot (\hat{\epsilon}_v)^2 + 7.85 \cdot 10^{-5} \cdot (\hat{\epsilon}_v)^3 \quad (2.5)$$

H. Uji Deteksi

Sebelum mengimplementasikan *mobile GPR* tentunya dilakukan pengujian sistem GPR dalam mendeteksi kandungan air pada satu titik. Pengukuran gravimetri dilakukan sebagai variable pembanding dan dianggap sebagai ukuran KAT yang sesungguhnya. Box pasir ukuran 200 x 100

cm dibagi menjadi 6 bagian dan kemudian ditambahkan kandungan air yang berbeda-beda.

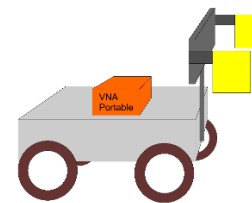


GAMBAR 2. 3 Bak media eksperimen KAT

Ada 6 kondisi tanah yang diuji, antara lain tanpa ada penambahan air, penambahan air 250ml, penambahan air 500ml, penambahan air 1000ml, penambahan air 2000ml dan penambahan air 4000ml. Keenam kondisi tanah ini diuji dengan deteksi GPR dan juga gravimetri untuk kemudian dibandingkan akurasi.

I. Model *Mobile GPR*

Prangkat yang digunakan dalam mendeteksi KAT adalah GPR yang dimodelkan dengan *pocket VNA*. *Mobile GPR* terdiri atas dua buah antena *vivaldi*, *Pocket VNA*, dan *Remote Control (RC)* sebagai wahana gerak. Antena *vivaldi* terhubung dengan port 1 *pocket VNA* berperan sebagai *transmitter* sedangkan antena *vivaldi* yang terhubung dengan port 2 *pocket VNA* berperan sebagai *receiver*. Jarak antara kedua antena adalah 20 cm dengan jarak antara antena dengan tanah adalah 20 cm.



GAMBAR 3. 1 Model *mobile GPR*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menguji Akurasi GPR dalam Deteksi KAT

Dalam melakukan pengujian akurasi membutuhkan metode pembanding yaitu metode gravimetri sebagai pembanding. Ada 6 kondisi tanah yang diuji dalam menentukan akurasi kandungan air pada tanah yaitu tanah tanpa penambahan air, tanah dengan penambahan air 250ml, 500ml, 1000ml, 2000ml dan 4000ml. Tujuan melakukan

pengujian ini adalah untuk menguji sistem deteksi kandungan air pada tanah dengan GPR.

TABEL 3. 1 Uji KAT menggunakan metode gravimetri

Kondisi Tanah	Kandungan Air pada Tanah
Tanpa penambahan air	0.00663
Penambahan air 250 ml	0.0220
Penambahan air 500 ml	0.0360
Penambahan air 1000 ml	0.0741
Penambahan air 2000 ml	0.119
Penambahan air 4000 ml	0.267

TABEL 3. 2 Uji deteksi KAT menggunakan GPR

Kondisi Tanah	Permittivitas ($\hat{\epsilon}_v$)	KAT (\hat{m}_v)
Tanpa penambahan air	1.811	0.00757
Penambahan air 250 ml	2.297	0.0258
Penambahan air 500 ml	2.768	0.0424
Penambahan air 1000 ml	4.121	0.0840
Penambahan air 2000 ml	6.965	0.147
Penambahan air 4000 ml	21.852	0.3441

TABEL 3. 3 Akurasi deteksi KAT dengan GPR

Kondisi Tanah	Pengukuran Gravimetri	Pengukuran GPR	Persentase Akurasi
Tanpa penambahan air	0.00663	0.00757	85,8%
Penambahan air 250ml	0.0220	0.0258	85,3%

Penambahan air 500ml	0.0360	0.0424	84,9%
Penambahan air 1000ml	0.0741	0.0840	86,6%
Penambahan air 2000ml	0.119	0.147	76,76%
Penambahan air 4000ml	0.267	0.3441	71,2%

Nilai persentase menyatakan akurasi deteksi GPR dalam mendeteksi KAT. Dari data yang diperoleh dapat dilihat akurasi dari *mobile* GPR cenderung stabil pada berbagai sampel tanah yang diuji dengan akurasi tertinggi ada pada penambahan air 1000 ml dan yang terendah ada pada sampel penambahan air 4000 ml.

B. Perbandingan Waktu Deteksi

Selain melakukan pencatatan terhadap nilai KAT dan juga akurasi, pencatatan dilakukan juga terkait dengan waktu yang diperlukan untuk memperoleh nilai KAT pada masing-masing metode. Dalam teori sudah sangat jelas metode GPR akan memerlukan waktu yang lebih cepat dibandingkan gravimetri, namun pencatatan perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa signifikan selisih waktu antara kedua metode yang diuji.

TABEL 3. 4 Perbandingan waktu deteksi gravimetri dan GPR

Kondisi Tanah	Waktu Gravimetri	Waktu GPR
Tanpa Penambahan air	8 menit	10 detik
Penambahan air 250 ml	13 menit	10 detik
Penambahan air 500 ml	18 menit	10 detik
Penambahan air 1000 ml	26 menit	10 detik
Penambahan air 2000 ml	34 menit	10 detik
Penambahan air 4000 ml	47 menit	10 detik

Pada table diatas diperoleh bahwa waktu yang dibutuhkan GPR untuk


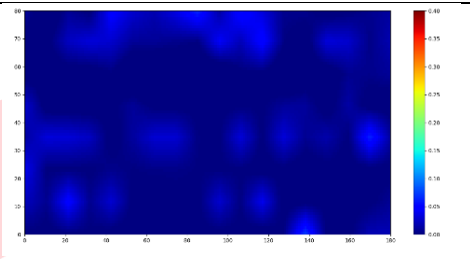

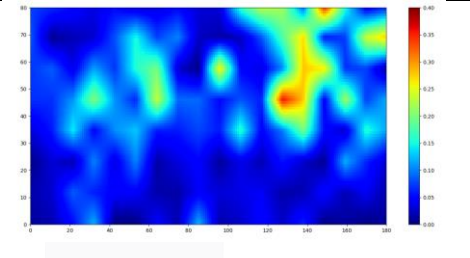

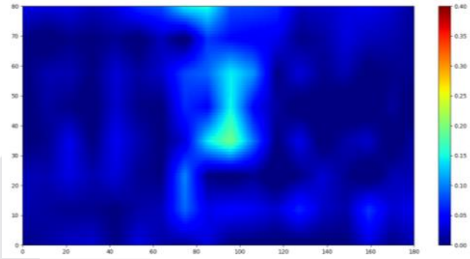
mendapatkan nilai KAT jauh lebih cepat dibandingkan gravimetri. Waktu deteksi metode gravimetri tentunya sangat tergantung pada KAT yang dideteksi dibandingkan dengan GPR yang memiliki waktu sama pada tiap KAT.

200 x 100 cm dengan pengambilan sampel per-titik tiap jarak 10 cm sehingga menghasilkan 144 dataset dari 8 baris dan 18 kolom. Sebelum proses pengambilan data box pasir diberikan kandungan air secara acak dengan kandungan berbeda-beda tiap sisinya. Ada 3 buah kondisi yang diujikan pada penelitian kali ini, antara lain keadaan tanpa penambahan air, keadaan penambahan air acak dan penambahan air pada pusat.

C. Pemetaan Kandungan Air pada Tanah

Seperti yang sudah dijelaskan pada perancangan sistem, dalam pengambilan data sampel dilakukan pada box pasir berukuran

TABEL 3.4 Pemetaan KAT

	Bak Media Eksperimen	Hasil pemetaan KAT
Kondisi Tanpa Penambahan Kandungan Air		
Kondisi Penambahan Kandungan Air Acak		
Kondisi Penambahan Kandungan Air Terpusat		

IV. KESIMPULAN

Pada Tugas Akhir ini dilakukan pemetaan KAT dengan *mobile* GPR, sebuah prangkat GPR yang dimodelkan dengan *pocket* VNA yang ditambahkan wahana gerak. Sebelum melakukan implementasi *mobile* GPR tentunya dilakukan pengujian GPR dalam mendeteksi KAT pada satu titik yang hasilnya dibandingkan dengan metode gravimetri sebagai acuan.

dan konstan dari masing-masing sampel yang diuji pada rentang 71,2%-86,6%. Waktu yang dibutuhkan GPR untuk melakukan deteksi juga jauh lebih cepat dari gravimetri. Dari hasil pengujian tersebut dilakukan implementasi *mobile* GPR untuk melakukan pemetaan pada area luas dan untuk hasilnya sendiri cukup memberikan gambaran terkait dengan kondisi area tanah yang sedang diuji.

Berdasarkan hasil pengolahan data pemetaan KAT dapat disimpulkan bahwa GPR dapat mendeteksi KAT yang ditunjukkan dari pengujian 6 sampel KAT. Hasil dari pengujian sampel tersebut menunjukkan akurasi yang cukup tinggi mencapai 86,6%

REFERENSI

[1] Catriona M.K.Gardner, David Robinson, Ken Blyth, and J. David

- Cooper, "Soil and Environmental Analysis: Physical Methods, Revised, and Expanded - Keith A. Smith," *Marcel Dekker*, pp. 1-74, 2000.
- [2] E. M. Barnes *et al.*, "Remote- and ground-based sensor techniques to map soil properties," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, no. 6. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 619-630, Jun. 01, 2003.
- [3] C. Ozdemir, B. Yilmaz, S. I. Keceli, H. Lezki, and O. Sutcuoglu, "Ultra Wide Band horn antenna design for Ground Penetrating Radar: A feeder practice," 2014.
- [4] K. Yoshino, K. Nyamsambuu, Y. Setiawan, and A. Elwan, "Detecting Soil Characteristics in Arid Land by Using Landsat ETM+ : Case Study of Beni-Swif, Egypt," *Desert Res. J. Japanese Soc.*, vol. 22, no. 1, pp. 291-294, 2012.
- [5] F. Agus, R. D. Yustika, dan, and U. Haryati, "Penetapan Berat Volume Tanah.," *Buku Petunjuk Tek. Anal. Fis. Tanah*, no. Analisa Fisika Tanah, pp. 1-261, 2006.
- [6] D. J. Daniels, "Ground Penetrating Radar," in *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [7] A. A. Pramudita and L. Sari, "Extraction model of Soil Water Content Information based on Least Square Method for GPR," *2016 Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. ISPACS 2016*, pp. 0-4, 2017.
- [8] A. A. Pramudita, T. O. Praktika, and S. Jannah, "Radar modeling experiment using vector network analyzer," *2020 Int. Symp. Antennas Propagation, ISAP 2020*, pp. 99-100, 2021.
- [9] G. C. Topp, J. L. Davis, and P. Annann, "Electromagnetic determination of soil water content : Measurements in coaxial transmission lines," vol. 16, pp. 574-582, 1980.
- [10] D. L. Corwin and S. M. Lesch, "Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 46, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 11-43, 2005.
- [11] S. Lambot, E. Slob, D. Chavarro, M. Lubczynski, and H. Vereecken, "Measuring soil surface water content in irrigated areas of southern Tunisia using Full-waveform inversion of proximal GPR data," *Near Surf. Geophys.*, vol. 6, no. 6, pp. 403-410, 2008.