

EKSPERIMEN METODE ULTRASONIK UNTUK MENGUKUR KETEBALAN SETIAP LAPISAN TANAH YANG BERBENTUK GRANULAR

EXPERIMENT OF ULTRASONIC METHODS TO MEASURE THE THICKNESS OF EACH GRANULAR SOIL LAYER

Elisabeth Simbolon¹, Dudi Darmawan², Rahmat Awaludin Salam³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹elisabethsimbolon@student.telkomuniversity.ac.id, ²dudidw@telkomuniversity.ac.id,

³awaludinsalam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Ketebalan lapisan tanah yang berbeda-beda di setiap daerah tentunya mempengaruhi klasifikasi penggunaan lahan. Untuk melakukan klasifikasi lahan, diperlukan teknologi yang mampu mengidentifikasi ketebalan lapisan tanah tanpa harus menggali tanah pada lahan tersebut. Metode Ultrasonik (*ultrasonic testing*) merupakan bagian dari pengujian tak merusak (*non-destructive testing*) yang memanfaatkan prinsip pemantulan gelombang. Penelitian ini menggunakan transduser ultrasonik AT200 sebagai sensor, T1 developer's board sebagai pembangkit pulsa dan pengolah sinyal, osiloskop sebagai *display*, dan catu daya DC sebagai sumber tegangan. Gelombang ultrasonik yang ditransmisikan oleh transduser akan menjalar ke dalam partikel objek. Ketika gelombang ultrasonik mengenai perbatasan antar lapisan tanah yang berbeda kerapatan, gelombang ultrasonik akan dipantulkan dan gelombang pantul akan diterima oleh transduser. Gelombang yang diterima transduser ultrasonik akan diteruskan ke T1 developer's board untuk diolah. Pengolahan yang dilakukan adalah superposisi antara gelombang yang ditransmisikan dan gelombang yang dipantulkan. Hasil pengolahan yang berbentuk gelombang stasioner, akan diteruskan ke osiloskop agar dapat dilihat bentuk dan waktu tempuh gelombang. Nilai waktu tempuh gelombang yang diukur akan diolah secara matematis untuk mendapatkan nilai ketebalan tanah. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai pengukuran ketebalan setiap lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik mendekati nilai ketebalan setiap lapisan tanah yang sebenarnya, dengan persentase error tertinggi sebesar 8,62%.

Kata Kunci: Gelombang Ultrasonik, Transduser Ultrasonik, Waktu Tempuh Gelombang, Ketebalan Lapisan Tanah.

Abstract

The difference in the thickness of soil layers in every region certainly affects the classification of land use. To classify the land, technology is needed which is able to identify the thickness of the soil layer without having to break the soil on the land. Ultrasonic testing is one of non-destructive testing that utilizes the principle of wave reflection. This study uses an ultrasonic transducer AT200 as a sensor, T1 developer's board as a signal generator and processor, an oscilloscope as a display, and a DC power supply as a voltage source. Ultrasonic waves transmitted by the transducer will propagate into the object particles. When ultrasonic waves hit the boundaries between soil layers with different densities, the ultrasonic waves will be reflected and the reflected waves will be received by the transducer. The waves received by the ultrasonic transducer will be forwarded to the T1 developer's board for processing. The processing carried out is a superposition between the transmitted wave and the reflected wave. The processing results in the form of stationary waves, will be forwarded to an oscilloscope, so that the waveform and the time of flight can be seen. The measured value of time of flight will be processed mathematically to get the value of the thickness of soil layer. The results obtained from this study shows that the value of measuring the thickness of each soil layer using the ultrasonic testing is close to the actual value of each soil layer, with the highest error percentage being 8.62%.

Keywords: Ultrasonic Wave, Ultrasonic Transducer, Time of Flight, Thickness of Soil Layer.

1. Pendahuluan

Tanah merupakan tempat bagi makhluk hidup untuk tumbuh dan tinggal, dimana kondisi tanah selalu dipengaruhi oleh iklim, vegetasi makhluk hidup, dan waktu [1]. Pertambahan jumlah penduduk yang selalu meningkat setiap waktu mengakibatkan kondisi tanah dan ketersediaan tanah menurun. Sebuah penelitian pada tahun 2013 menyatakan bahwa dari 189,2 juta Ha daratan di Indonesia, sebanyak 71,2 juta Ha daratan sudah digunakan untuk kebutuhan permukiman, pertanian, tambang, dan infrastruktur. Keterbatasan lahan diprediksi

akan menimbulkan persaingan lahan dimasa depan [2]. Untuk mengantisipasi hal tersebut, perlu dilakukan klasifikasi tanah berdasarkan ciri dan sifat tanah untuk mengetahui potensi penggunaan lahan. Salah satu sifat fisis yang perlu diperhatikan dalam klasifikasi tanah adalah ketebalan lapisan tanah, karena ketebalan lapisan tanah berpengaruh pada besarnya penurunan tanah yang berpotensi mengakibatkan tanah longsor [3]. Namun sampai saat ini, pengamatan sifat fisis pada bagian dalam tanah masih dilakukan dengan penggalian lahan. Maka dari itu, diperlukan teknologi yang mampu mengidentifikasi ketebalan lapisan tanah tanpa harus melakukan penggalian lahan.

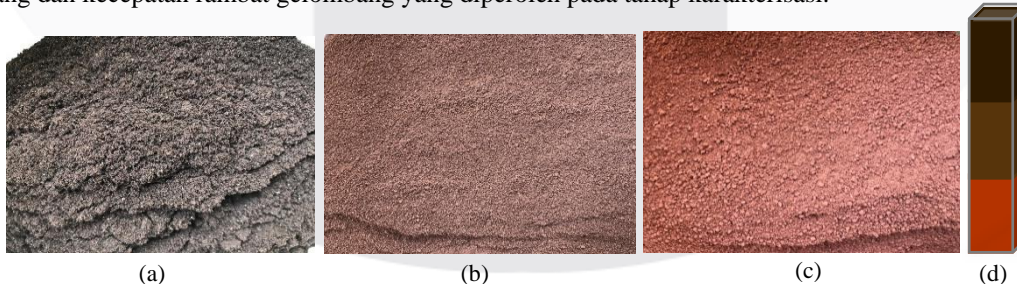
Metode yang dapat mengidentifikasi bagian dalam suatu objek tanpa merusak bentuk dan struktur terluar objek disebut pengujian tak merusak (*non-destructive testing*). Pengujian tak merusak (*non-destructive testing*) biasa digunakan dalam pengujian mutu atau kualitas dari suatu objek atau bahan [4]. Sebuah penelitian pada tahun 2011 melakukan pengukuran ketebalan kombinasi lapisan tanah humus, pasir, dan tanah lempung yang homogen dan basah menggunakan pengujian tak merusak (*non-destructive testing*) dengan metode ultrasonik. Metode ultrasonik (*ultrasonic testing*) merupakan salah satu metode dari pengujian tak merusak (*non-destructive testing*) yang memanfaatkan prinsip pemantulan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi ketebalan objek atau lokasi kerusakan pada bagian dalam objek [5]. Penelitian tersebut berhasil mengukur ketebalan kombinasi lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dan menunjukkan hasil pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik mendekati nilai ketebalan lapisan tanah yang sebenarnya [6]. Oleh karena itu, penulis akan melanjutkan penelitian tersebut pada tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit yang kering. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur ketebalan lapisan tanah granular menggunakan metode ultrasonik. Nilai ketebalan lapisan tanah akan diperoleh dengan mengukur dan menganalisis waktu tempuh gelombang (*time of flight*) yang ditampilkan pada layar osiloskop.

2. Metode Penelitian

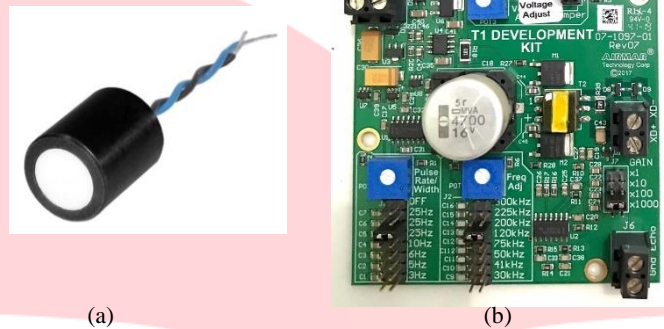
2.1 Sampel dan Alat Pengujian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah humus yang didapatkan dari *Green House* Universitas Telkom, tanah lembang didapatkan dari Lembang, dan tanah laterit didapatkan dari Ciwidey. Masing-masing jenis tanah dipisahkan dari kotoran, dihaluskan, dan diayak agar tidak terdapat anomali di dalamnya. Sampel karakterisasi tanah adalah ketiga jenis tanah yang disusun ke dalam satu wadah dengan masing-masing ketebalan tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit adalah 50 cm. Pengujian ini dilakukan dengan 3 jenis sampel penelitian, yang dibedakan berdasarkan variasi ketebalan masing-masing jenis tanah. Ketebalan untuk masing-masing tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit pada variasi sampel 1 adalah 45 cm, 45 cm, dan 60 cm. Ketebalan tanah pada variasi sampel 2 adalah 35 cm, 31 cm, dan 84 cm. Sedangkan ketebalan untuk variasi sampel 3 adalah 53 cm, 33 cm, dan 64 cm. Masing-masing jenis tanah akan disusun ke dalam satu wadah menyerupai struktur lapisan tanah.

Wadah sampel penelitian ini terbuat dari bahan akrilik bening yang berbentuk balok dengan ukuran 6 x 6 x 150 cm. Penelitian ini menggunakan transduser ultrasonik AT200 sebagai sensor, T1 *developer's board* sebagai pembangkit pulsa dan pengolah sinyal, osiloskop sebagai *display*, dan catu daya DC sebagai sumber tegangan. Frekuensi yang digunakan sebesar 200 kHz, tegangan masukan sebesar 15 volt, dan *gain* sebesar 100 kali penguatan. Ketika tegangan dari catu daya mengalir ke T1 *developer's board*, maka tegangan tersebut akan diteruskan ke transduser ultrasonik AT200. Ketika transduser ultrasonik AT200 dialiri arus listrik, maka lempengan piezoelektrik pada transduser akan bergetar dan getaran tersebut akan dirambatkan pada objek. Getaran yang merambat itu adalah gelombang ultrasonik dengan frekuensi 200 kHz. Ketika gelombang yang merambat mengenai batas tanah yang berbeda kerapatan, maka gelombang tersebut akan dipantulkan. Gelombang pantul tersebut akan diterima oleh transduser ultrasonik AT200 dan diteruskan ke T1 *developer's board* untuk diolah. Pengolahan yang dilakukan adalah superposisi gelombang antara gelombang yang ditransmisikan dan gelombang yang dipantulkan. Hasil superposisi kedua gelombang yang berbentuk gelombang stasioner akan diteruskan ke osiloskop agar terlihat bentuk paket gelombang dan dapat diukur nilai waktu tempuh gelombang (*time of flight*). Berdasarkan data waktu tempuh gelombang, maka nilai kecepatan rambat gelombang pada masing-masing jenis tanah dapat ditentukan dengan perhitungan matematis pada proses karakterisasi tanah. Untuk mengukur nilai ketebalan setiap lapisan tanah juga dapat dilakukan pada tahap pengujian berdasar dengan data waktu tempuh gelombang dan kecepatan rambat gelombang yang diperoleh pada tahap karakterisasi.

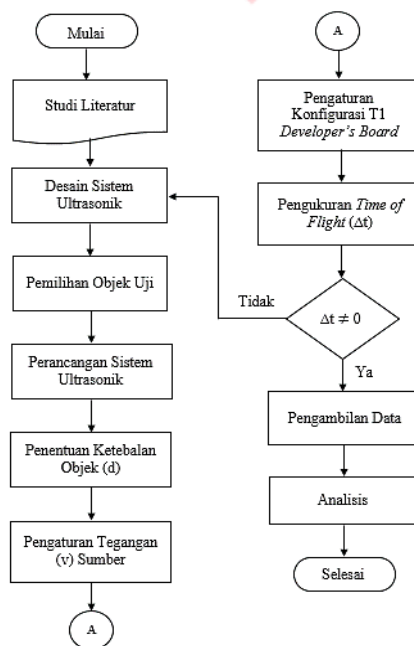


Gambar 2.1 (a) Tanah Humus (b) Tanah Lempung (c) Tanah Pasir (d) Tanah Berpasir (e) Tanah Berlempung (f) Tanah Berhumus (g) Sampel Penelitian



Gambar 2.2 (a) Transduser Ultrasonik AT200 (b) T1 Developer's Board

2.2 Tahapan Penelitian



Gambar 2.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu tahap karakterisasi tanah dan tahap pengujian. Tahap karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan nilai kecepatan rambat gelombang (\bar{v}) pada masing-masing jenis tanah. Tahap pengujian dilakukan untuk mengimplementasikan nilai kecepatan rambat gelombang yang diperoleh dari proses karakterisasi, pada ketiga variasi sampel penelitian, agar diketahui nilai ketebalan lapisan tanah pada masing-masing sampel. Perhitungan kecepatan rambat gelombang dan ketebalan lapisan tanah dapat dilakukan melalui persamaan berikut.

$$\bar{v} = \frac{2 \cdot d}{\Delta t} \tag{1}$$

Ketebalan lapisan tanah (d) pada proses karakterisasi sudah ditentukan, yaitu sebesar 50 cm. Sedangkan nilai waktu tempuh gelombang (Δt) dapat dilihat dari layar osiloskop. Nilai waktu tempuh gelombang diambil sebanyak 20 kali pengulangan, kemudian nilai yang akan dikalkulasikan ke dalam persamaan (1) adalah nilai rata-ratanya ($\bar{\Delta t}$). Pengukuran berulang yang dilakukan dalam penelitian ini akan menghasilkan data yang bervariasi. Maka dari itu, untuk mengetahui penyebaran data dalam pengukuran, dilakukan perhitungan standar deviasi melalui persamaan berikut.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}{N - 1}} \tag{2}$$

Sama halnya seperti pada tahap karakterisasi tanah, dalam tahap pengujian nilai waktu tempuh gelombang (*time of flight*) dapat dilihat pada layar osiloskop. Nilai waktu tempuh gelombang (*time of flight*) diambil sebanyak 5 kali pengulangan, kemudian nilai yang akan dikalkulasikan ke dalam persamaan adalah nilai rata-ratanya (Δt). Sedangkan nilai kecepatan rambat gelombang (\bar{v}) sudah diperoleh dari hasil karakterisasi. Nilai ketebalan lapisan tanah dengan menggunakan metode ultrasonik (d') dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$d' = \frac{\bar{v} \cdot \Delta t}{2} \tag{3}$$

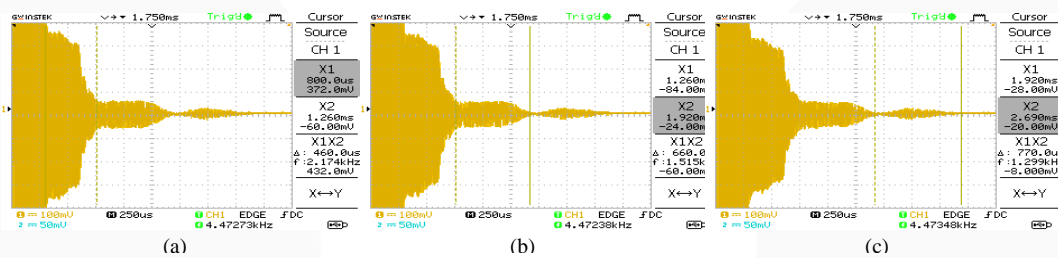
Dalam suatu pengukuran akan selalu terdapat perbedaan antara nilai yang terukur dengan nilai yang sebenarnya. Maka dari itu untuk menghitung nilai *error* dapat dilakukan melalui persamaan berikut.

$$error(\%) = \left(\frac{|d-d'|}{d} \right) \times 100 \tag{4}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Tanah

Proses karakterisasi tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit dilakukan secara bersamaan. Secara teoritis, kecepatan rambat gelombang pada suatu medium akan selalu konstan pada jarak berapapun [7]. Maka dari itu, penentuan ketebalan lapisan tanah untuk tahap karakterisasi ini ditentukan secara acak. Ketiga jenis tanah dengan tebalan 50 cm disusun menyerupai struktur lapisan tanah. Tanah laterit berada pada lapisan paling bawah, tanah lembang berada pada lapisan tengah, dan tanah humus berada pada lapisan paling atas. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data waktu tempuh gelombang (*time of flight*) sebanyak 20 kali pengulangan. Setiap alat dipersiapkan, dirangkai, dan dihubungkan ke sumber listrik. Setiap alat yang akan digunakan untuk mengukur harus di kalibrasi terlebih dahulu. Pengambilan data penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Contoh Pengukuran Waktu Tempuh Gelombang di Osiloskop untuk (a) Tanah Humus (b) Tanah Lembang (c) Tanah Laterit

Tabel 3.1 Hasil Karakterisasi Tanah

No.	d (cm)			Δt (μs)			\bar{v} (m/s)		
	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit
1	50	50	50	430	640	780	2.386,63	1.888,57	1.441,96
2				460	660	770			
3				540	670	790			
4				490	460	900			
5				410	280	730			
6				410	360	1080			
7				400	550	580			
8				390	730	750			
9				350	410	430			
10				360	380	770			
11				340	520	760			
12				460	810	730			
13				410	710	740			
14				530	640	790			
15				310	440	530			
16				420	220	260			
17				380	290	430			
18				440	700	760			
19				460	670	690			

20			390	450	600			
Δt (μs)			419	529,5	693,5			
Standar Deviasi (SD)			59,73	171,97	180,91			

Berdasarkan tabel 3.1 dapat dilihat bahwa nilai kecepatan rambat gelombang pada masing-masing jenis tanah diperoleh. Nilai kecepatan rambat gelombang diperoleh dari hasil perhitungan matematis menggunakan rumus pada persamaan (1). Ketiga jenis tanah melewati proses penghalusan dan pengayakan sebelum dikarakterisasi. Proses tersebut membuat ketiga jenis tanah berbentuk granular atau partikel-partikel kecil. Setiap jenis tanah dipertahankan dalam keadaan kering agar tidak terdapat air yang membatasi pergerakan udara dan partikel penyusun tanah [8].

Data waktu tempuh gelombang (*time of flight*) yang terukur sangat bervariasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan alat saat dalam menangkap gelombang pantul. Keadaan tanah pada bagian dalam tidak dapat dilihat oleh pengamat, sehingga jika ada posisi tanah yang tidak datar atau posisi transduser yang tidak lurus saat mentransmisikan gelombang, maka hal tersebut akan menghasilkan data yang bervariasi. Selain itu, data yang bervariasi juga bisa disebabkan karena keterbatasan pengamat dalam membaca dan mengamati bentuk gelombang yang ditampilkan pada layar osiloskop.

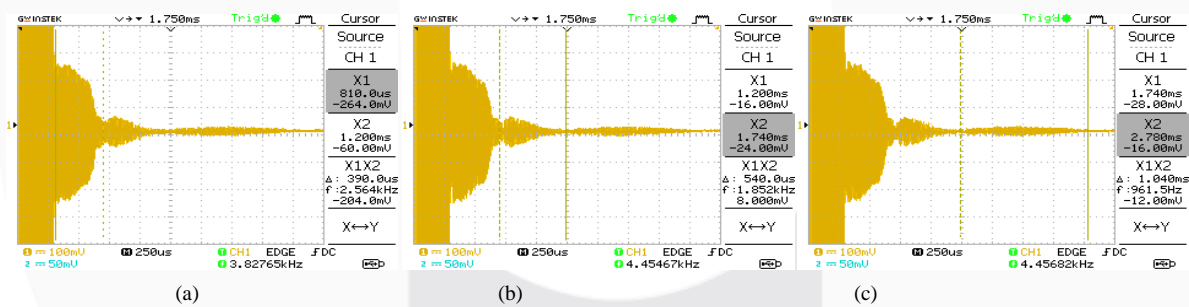


Gambar 3.1 Tampilan Pengambilan Data Penelitian

3.2 Pengujian Metode Ultrasonik

3.2.1 Implementasi Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Pada Variasi Sampel 1

Nilai ketebalan tanah humus sebesar 45 cm, ketebalan tanah lembang sebesar 45 cm, dan ketebalan tanah laterit sebesar 60 cm. Data waktu tempuh gelombang (*time of flight*) yang diambil sebanyak 5 kali pengulangan. Nilai rata-rata waktu tempuh gelombang (*time of flight*) pada variasi 1 akan dikalkulasikan dengan nilai kecepatan rambat gelombang melalui persamaan (3) hingga diperoleh nilai ketebalan lapisan tanah seperti pada tabel berikut.

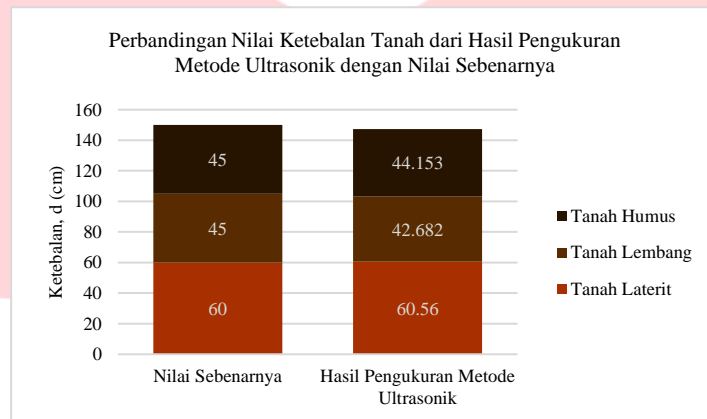


Gambar 3.3 Contoh Pengukuran Waktu Tempuh Gelombang di Osiloskop untuk (a) Tanah Humus (b) Tanah Lembang (c) Tanah Laterit

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Metode Ultrasonik Pada Variasi Sampel 1 Penelitian

No.	\bar{v} (m/s)			Δt (μs)			d' (cm)		
	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit
1	2,386,63	1,888,57	1,441,96	390	540	1040	44,153	42,682	60,56
2				350	490	1050			
3				370	410	830			
4				350	460	640			
5				390	360	640			
Δt (μs)				370	452	840			

Standar Deviasi (SD)	20	69,79	202,61			
Error (%)				1,883	5,152	0,94

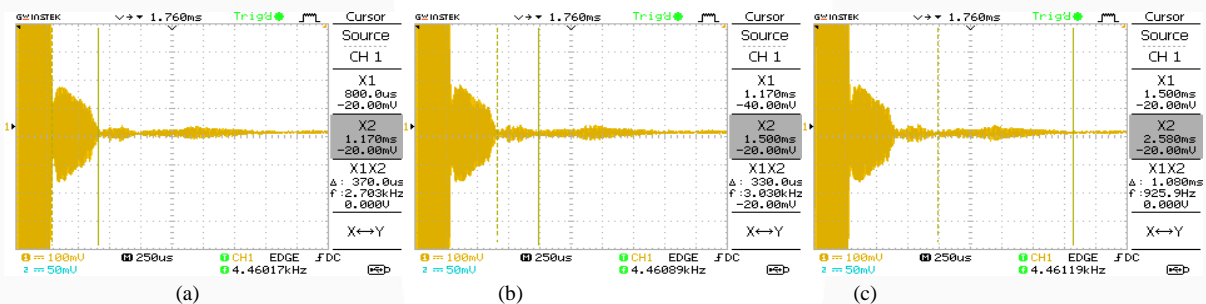


Gambar 3.4 Bagan Perbandingan Nilai Ketebalan Pada Variasi 1 Sampel Penelitian

Berdasarkan tabel 3.2 dapat diketahui bahwa pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dapat menghasilkan nilai yang mendekati nilai ketebalan yang sebenarnya. Perbandingan antara pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dengan ketebalan sebenarnya ditampilkan pada gambar 3.4 dengan persentase *error* pengukuran untuk masing-masing tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit adalah 1.883%, 5.152%, dan 0.94%.

3.2.2 Implementasi Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Pada Variasi Sampel 2

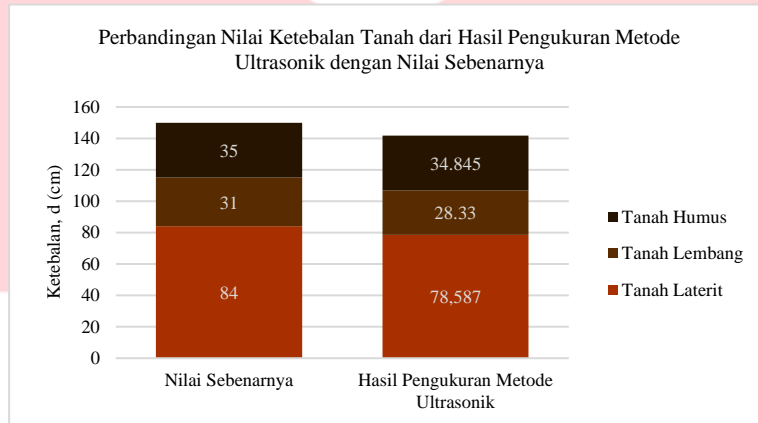
Nilai ketebalan tanah humus sebesar 35 cm, ketebalan tanah lembang sebesar 31 cm, dan ketebalan tanah laterit sebesar 84 cm. Data waktu tempuh gelombang (*time of flight*) yang diambil sebanyak 5 kali pengulangan. Nilai rata-rata waktu tempuh gelombang (*time of flight*) pada variasi 2 akan dikalkulasikan dengan nilai kecepatan rambat gelombang melalui persamaan (3) hingga diperoleh nilai ketebalan lapisan tanah seperti pada tabel berikut.



Gambar 3.5 Contoh Pengukuran Waktu Tempuh Gelombang di Osiloskop untuk (a) Tanah Humus (b) Tanah Lembang (c) Tanah Laterit

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Metode Ultrasonik Pada Variasi Sampel 2

No.	\bar{v} (m/s)			Δt (μs)			d' (cm)		
	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit
1	2,386,63	1,888,57	1,441,96	230	230	1230	34,845	28,33	78,587
2				280	380	950			
3				370	330	1080			
4				300	230	1090			
5				280	330	1100			
Δt (μs)				292	300	1090			
Standar Deviasi (SD)				50,7	67,08	99,25			
Error (%)							0,443	8,62	6,444

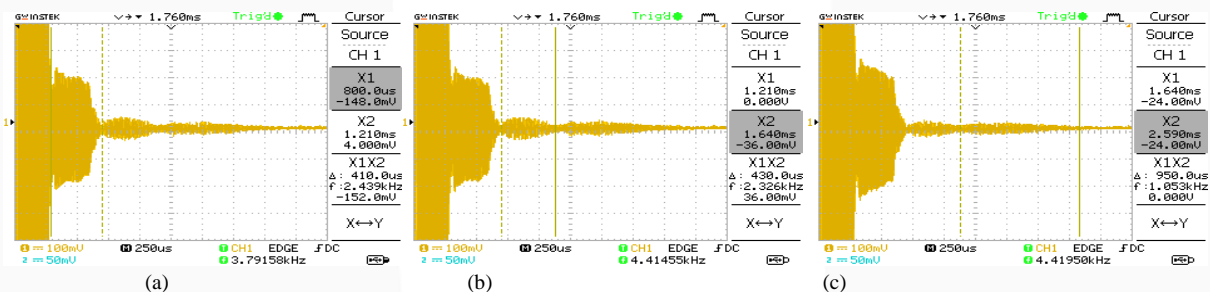


Gambar 3.6 Bagan Perbandingan Nilai Ketebalan Pada Variasi 2 Sampel Penelitian

Berdasarkan tabel 3.3 dapat diketahui bahwa pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dapat menghasilkan nilai yang mendekati nilai ketebalan yang sebenarnya. Perbandingan antara pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dengan ketebalan sebenarnya ditampilkan pada gambar 3.6 dengan persentase *error* pengukuran untuk masing-masing tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit adalah 0.443%, 8.62%, dan 6.444%.

3.2.3 Implementasi Nilai Kecepatan Rambat Gelombang Pada Variasi Sampel 3

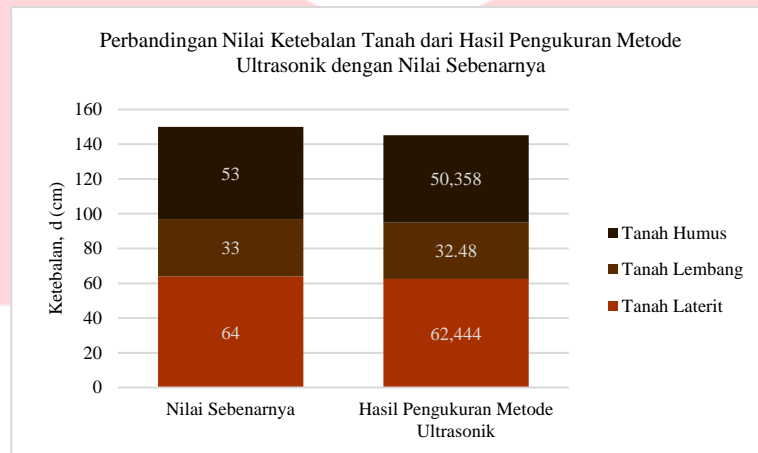
Nilai ketebalan tanah humus sebesar 53 cm, ketebalan tanah lembang sebesar 33 cm, dan ketebalan tanah laterit sebesar 64 cm. Data waktu tempuh gelombang (*time of flight*) yang diambil sebanyak 5 kali pengulangan. Nilai rata-rata waktu tempuh gelombang (*time of flight*) pada variasi 3 akan dikalkulasikan dengan nilai kecepatan rambat gelombang melalui persamaan (3) hingga diperoleh nilai ketebalan lapisan tanah seperti pada tabel berikut.



Gambar 3.7 Contoh Pengukuran Waktu Tempuh Gelombang di Osiloskop untuk (a) Tanah Humus (b) Tanah Lembang (c) Tanah Laterit

Tabel 3.4 Hasil Pengujian Metode Ultrasonik Pada Variasi Sampel 3

No.	\bar{v} (m/s)			Δt (μs)			d' (cm)		
	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit	Humus	Lembang	Laterit
1	2,386,63	1,888,57	1,441,96	410	430	950	50,358	32,48	62,444
2				440	520	780			
3				400	380	840			
4				400	130	930			
5				460	260	830			
Δt (μs)				422	344	866			
Standar Deviasi (SD)				26,83	152,09	71,62			
Error (%)							4,985	1,57	2,442



Gambar 3.8 Bagan Perbandingan Nilai Ketebalan Pada Variasi 3 Sampel Penelitian

Berdasarkan tabel 3.4 dapat diketahui bahwa pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dapat menghasilkan nilai yang mendekati nilai ketebalan yang sebenarnya. Perbandingan antara pengukuran ketebalan lapisan tanah menggunakan metode ultrasonik dengan ketebalan sebenarnya ditampilkan pada gambar 3.8 dengan persentase *error* pengukuran untuk masing-masing tanah humus, tanah lembang, dan tanah laterit adalah 4,985%, 1,57%, dan 2,442%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan analisis data data penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode ultrasonik mampu mengukur ketebalan lapisan tanah granular dengan nilai hasil pengukuran ketebalan setiap lapisan tanah dengan menggunakan metode ultrasonik mendekati nilai ketebalan lapisan tanah yang sebenarnya. Persentase *error* pengukuran pada variasi sampel pertama adalah sebesar 1,883% untuk tanah humus, 5,152% untuk tanah lembang, dan 0,94% untuk tanah laterit. Kemudian pada variasi sampel kedua memiliki persentase *error* pengukuran sebesar 0,443% untuk tanah humus, 8,62% untuk tanah lembang, dan 6,444% untuk tanah laterit. Sedangkan pada variasi sampel ketiga diperoleh persentase *error* pengukuran sebesar 4,985% untuk tanah humus, 1,57% untuk tanah lembang, dan 2,442% untuk tanah laterit.

REFERENSI

- [1] D. Fiantis, *Morfologi dan Klasifikasi Tanah*, Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK), 2018.
- [2] A. Mulyani dan M. Sarwani, "Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan," *Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 7 No. 1*, pp. 50-52, 2013.
- [3] H. Darwis, *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*, Yogyakarta: Pena Indis, 2018.
- [4] F. Nasution, D. Darmawan dan M. Rokhmat, "Studi Eksperimental Penentuan Nilai Parameter Sistem Induksi Multi Receiver," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, p. 3961, 2017.
- [5] C. H. Chen, *Ultrasonic And Advance Methods For Nondestructive Testing And Material Characterization*, Singapura: World Scientific Publishing, 2007.
- [6] H. Wilson, "Penggunaan Gelombang Ultrasonik Untuk Mendeteksi Kombinasi Ketebalan Lapisan Tanah," pp. 2-9, 2011.
- [7] D. Halliday, R. Resnick dan J. Walker, *Fundamentals of Physics*, Hoboken: Wiley, 2018.
- [8] D. Darmawan, A. Ismardi, B. Fortunella dan A. Fudholi, "Magnetic Field Induction Method for Characterization and Determination of Soils Type with Induction Voltage Measurement," *Technology Reports of Kansai University*, vol. 62, no. 10, 2020.