

APLIKASI ULTRASONIK DALAM PENENTUAN KONTUR LAPISAN SUBUR TANAH

ULTRASONIC APPLICATIONS IN DETERMINING SOIL FERTILIZER CONTOUR

Thresia Margaretha¹, Dudi Darmawan², Rahmat Awaludin Salam³

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

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

³awaludinsalam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Ultrasonic testing merupakan salah satu metode NDT (*Non-Destructive Testing*) yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi ketebalan suatu objek yang akan diuji. Metode *ultrasonic testing* ini dapat digunakan untuk penentuan kontur lapisan subur tanah dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik melalui transduser ke atas permukaan objek uji. Respon gelombang pantul yang terlihat pada osiloskop kemudian dianalisis untuk melihat waktu tempuh yang dibutuhkan gelombang pada saat ditransmisikan sampai diterima kembali. Dalam penelitian ini digunakan transduser AT200 dengan frekuensi kerja sebesar 200 kHz. Sebelum melakukan eksperimen pengukuran, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi objek uji untuk menentukan kecepatan rambat gelombang pada setiap objek diuji. Berdasarkan nilai waktu tempuh dan kecepatan rambat gelombang dapat ditentukan ketebalan lapisan subur tanah yang berfungsi sebagai data dalam pembuatan kontur lapisan subur tanah. Untuk menampilkan kontur lapisan subur tanah secara tiga dimensi, sumbu x dan sumbu y akan diasumsikan sebagai koordinat titik pengukuran dan sumbu z diasumsikan sebagai ketebalan tanah humus. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai pengukuran ketebalan lapisan tanah yang terdeteksi mempunyai rata-rata tingkat kesalahan sebesar 1,009% pada tanah humus dan 0,878% pada tanah laterit. Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan bahwa metode *ultrasonic testing* dapat diaplikasikan sebagai penentuan kontur lapisan subur tanah.

Kata kunci: kontur lapisan subur tanah, NDT(*Non-Destructive Testing*), *ultrasonic testing*.

Abstract

Ultrasonic testing is a method of NDT (*Non-Destructive Testing*) that utilizes ultrasonic waves to detect the thickness of an object. Ultrasonic testing method can use to determine the contours of the fertile soil layer by emitting ultrasonic waves through the transducer to the surface of the test object. The reflected wave response that seen at the oscilloscope is analyzed to see how long time the wave transmitted until received. In this research, be used a single transducer AT200 that has a working frequency of 200kHz. Before experimenting, previously do characterize of the test object to determine the velocity of wave propagation in each object. Based on the time and velocity of ultrasonic waves, the thickness of the fertile soil layer can be determined which serves as data in making the contour of the fertile soil layer. To display the contours of the fertile soil layer in three dimensions, the x-axis and y-axis will be assumed to be the coordinates of the measurement point and the z-axis is assumed to be the thickness of the humus soil. From the experiment that has been carried out, it is found that the measurement of the thickness of the soil layer detected has an average error rate of 1.009% in humus soil and 0.878% in laterite soil. Based on these results, it is concluded that the ultrasonic testing method can be applied to determine the contours of the fertile soil layer.

Keywords: the contour fertile layer of soil, NDT (*Non-Destructive Testing*), ultrasonic testing method.

1. Pendahuluan

Berdasarkan data BPS pada tahun 2020, pekerjaan utama penduduk Indonesia terbesar berada di sektor pertanian [1]. Hal ini membuat kualitas kesuburan tanah sangat berperan penting bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Tanah yang memiliki kualitas kesuburan yang baik adalah tanah yang memiliki ketebalan lapisan subur tanah yang tebal. Ketebalan lapisan subur tanah ini merupakan faktor penting yang mempengaruhi produktivitas pertanian. Untuk meningkatkan produktivitas pertanian maka kualitas kesuburan tanah pada lahan pertanian haruslah tinggi. Tetapi berdasarkan data BPS tahun 2018, Indonesia memiliki lahan kritis dengan luas yang mencapai 14

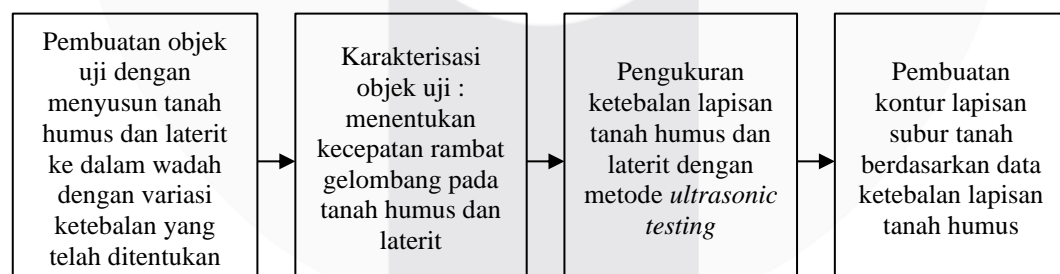
juta Ha [2]. Dengan adanya lahan kritis ini, ketebalan lapisan subur tanah menjadi sangat tipis sehingga peluang petani untuk mengalami kegagalan akan semakin meningkat. Selain itu dilihat dari permasalahan yang sering terjadi, petani biasanya tidak mengetahui kualitas lahan yang mereka gunakan. Mereka cenderung langsung menggunakan lahan tersebut untuk dijadikan lahan pertanian, padahal untuk memilih produk pertanian yang akan ditanam diperlukan pengetahuan mengenai kontur dari lapisan subur tanah berdasarkan fungsi ketebalan lapisan subur tanah. Sehingga para petani dapat menyesuaikan tanaman yang akan digunakan untuk meningkatkan keberhasilan dan produktivitas tanaman. Dalam pengukuran lapangan, telah banyak diterapkan pengujian tak merusak (*Non-Destructive Testing*) dengan menggunakan objek uji tanah [3-7]. Termasuk melakukan penelitian dengan metode *ultrasonic testing* pada objek uji tanah [3-5]. Pada tahun 2019 telah dilakukan penelitian oleh Lusiana mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) untuk melakukan pengukuran *speed* dan impedansi akustik pada tanah liat dengan memanfaatkan sinyal *echo* ultrasonik [3]. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan 2 buah sensor ultrasonik 40kHz untuk mentransmisikan gelombang ultrasonik ke dalam tanah liat. Karakterisasi material ini akan direpresentasikan oleh sinyal pantul dari material (*echo*). Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa *ultrasonic testing* dapat digunakan untuk menentukan kecepatan dan impedansi akustik tanah liat. Berdasarkan penelitian sebelumnya diperlukan pengembangan objek uji dan pengaplikasian metode ultrasonik. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan penentuan kontur lapisan subur tanah dengan menggunakan metode *ultrasonic testing*. Pengujian akan dilakukan dengan mentransmisikan gelombang ultrasonik oleh transduser AT200 ke lapisan tanah humus dan laterit yang disusun dalam sebuah wadah dan diberikan variasi ketebalan. Pantulan gelombang ultrasonik yang diterima oleh transduser akan dianalisis untuk mendapatkan nilai waktu tempuh gelombang pada tanah humus dan laterit. Berdasarkan nilai waktu tempuh dan kecepatan rambat gelombang, dapat ditentukan nilai ketebalan lapisan subur tanah yang akan digunakan sebagai data untuk menampilkan kontur lapisan subur tanah.

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Material dan Alat

Terdapat dua jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tanah humus dan tanah laterit. Tanah humus yang digunakan diperoleh dari area *green house* Universitas Telkom, Jawa Barat dan tanah laterit yang digunakan sebagai objek uji diperoleh dari area Ciwidey, Jawa Barat. Sebelum dibuat menjadi objek uji, sampel tanah terlebih dahulu diayak untuk menghilangkan anomali di dalam tanah sehingga kedua objek uji tersebut bersifat homogen. Dalam tahapan karakterisasi dan pengujian dibutuhkan beberapa alat dan perangkat yaitu transduser ultrasonik dengan tipe AT200, T1 *Development* dan DC *Power Supply*. Sampel tanah humus dan laterit disusun ke dalam wadah yang terbuat dari akrilik dengan ukuran $18 \times 12 \times 50$ cm dan telah dibagi menjadi enam segmen yang berukuran $6 \times 6 \times 50$ cm setiap segmennya. Variasi ketebalan tanah humus dan laterit yang akan disusun pada setiap segmen masing-masing, yaitu 0,30:0,20 m, 0,27:0,23 m, 0,29:0,21 m, 0,28:0,22 m, 0,24:0,26 m, dan 0,27:0,23 m.

2.2 Metode Penelitian



Gambar 1. Tahapan penelitian

Berdasarkan Gambar 1, objek uji yang terdiri atas tanah humus dan laterit disusun ke dalam wadah pengujian dengan ketebalan masing-masing jenis tanah sebesar 0,25 m untuk proses karakterisasi, dan variasi ketebalan masing-masing jenis tanah pada setiap segmennya sebesar 0,30:0,20 m, 0,27:0,23 m, 0,29:0,21 m, 0,28:0,22 m, 0,24:0,26 m, dan 0,27:0,23 m untuk eksperimen pengukuran. Pengujian ketebalan dengan menggunakan metode *ultrasonic testing* dapat dilakukan apabila kecepatan rambat gelombang ultrasonik pada objek uji diketahui [8]. Oleh karena itu

sebelum dilakukan eksperimen pengukuran, objek uji terlebih dahulu dikarakterisasi untuk mengetahui kecepatan rambat gelombang pada masing-masing jenis tanah. Proses karakterisasi objek uji ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Karakterisasi objek uji

Karakterisasi dilakukan dengan menganalisis waktu tempuh yang didapatkan ketika gelombang ditransmisikan dan diterima kembali oleh transduser. Nilai waktu tempuh ini akan digunakan untuk menentukan nilai kecepatan rambat gelombang masing-masing jenis tanah. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan rambat gelombang pada setiap jenis tanah sebagai berikut.

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

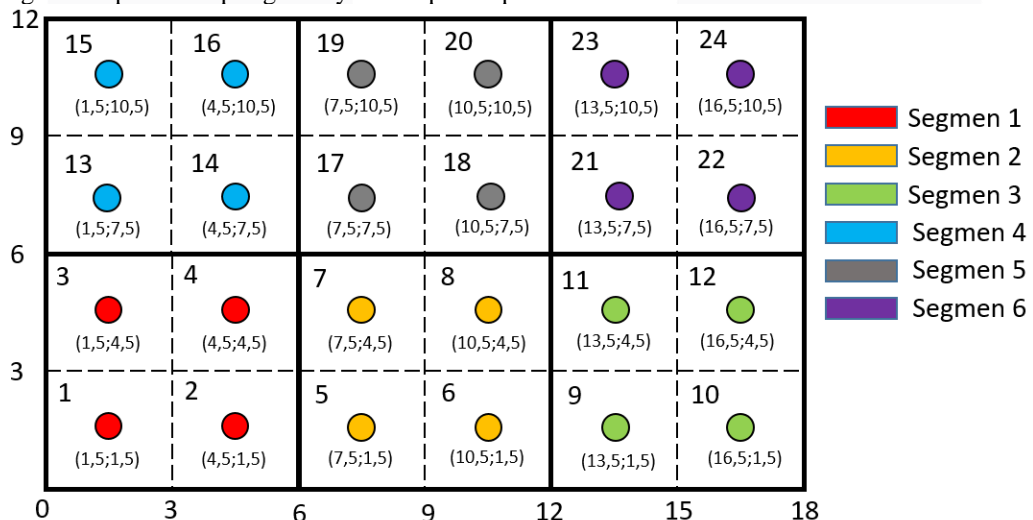
Dimana :

v = kecepatan rambat gelombang (m/s)

d = ketebalan objek uji (m)

Δt = waktu tempuh gelombang (s)

Setelah dilakukan karakterisasi objek uji, pengukuran ketebalan lapisan tanah dapat dilakukan. Pengukuran ini dilakukan dengan mendeteksi ketebalan setiap lapisan tanah yang disusun pada ke enam segmen wadah akrilik. Pada setiap segmen akan dilakukan pengukuran di 4 titik dengan pengambilan data berulang pada setiap titiknya sebanyak 5 kali pengukuran. Ilustrasi titik pengukuran pada setiap segmennya ditampilkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Ilustrasi titik pengukuran

Eksperimen pengukuran dilakukan dengan mentransmisikan gelombang ultrasonik ke dalam lapisan tanah yang telah disusun dengan variasi ketebalan yang dibuat sebelumnya. Ketika gelombang ultrasonik merambat pada objek uji dan mengenai medium lain yang memiliki kerapatan medium yang berbeda, sebagian dari gelombang ultrasonik akan dipantulkan dan sebagian lainnya

akan diteruskan ke lapisan tanah yang lain [9]. Pantulan gelombang yang terjadi karena adanya perbedaan kerapatan medium pada setiap lapisan tanah akan diterima kembali oleh transduser dan gelombang akan ditampilkan pada layar osiloskop. Berdasarkan analisis pada osiloskop, waktu tempuh gelombang dapat diketahui. Nilai waktu tempuh dan kecepatan rambat gelombang yang didapatkan pada proses karakterisasi akan digunakan untuk menentukan nilai ketebalan setiap lapisan tanah. Setelah didapatkan data ketebalan setiap lapisan tanah, data ketebalan lapisan tanah humus diplotkan menjadi grafik 3D yang menampilkan kontur lapisan subur tanah. Perhitungan nilai ketebalan lapisan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) berikut.

$$d = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (2)$$

Dimana :

d = ketebalan objek uji (m)

v = kecepatan rambat gelombang (m/s)

Δt = waktu tempuh gelombang (s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi objek uji

Karakterisasi ini dilakukan pada tanah humus dan laterit untuk mengetahui nilai kecepatan rambat gelombang pada tanah humus dan laterit. Hasil pengukuran karakterisasi tanah humus ditampilkan pada Tabel 1, dan hasil karakterisasi tanah laterit ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data karakterisasi tanah humus

No.	d (m)	Δt (s)
1	0,25	0,00022
2	0,25	0,00021
3	0,25	0,00023
4	0,25	0,00023
5	0,25	0,00023
6	0,25	0,00021
7	0,25	0,00023
8	0,25	0,00023
9	0,25	0,00022
10	0,25	0,00024
Rata-rata		0,000225
Standar deviasi		0,00000972

Tabel 2. Data karakterisasi tanah laterit

No.	d (m)	Δt (s)
1	0,25	0,00024
2	0,25	0,00026
3	0,25	0,00025
4	0,25	0,00027
5	0,25	0,00027
6	0,25	0,00025
7	0,25	0,00025
8	0,25	0,00028
9	0,25	0,00024
10	0,25	0,00028
Rata-rata		0,000259

Standar deviasi	0,0000152
-----------------	-----------

Berdasarkan data pengukuran karakterisasi tanah humus dan laterit didapatkan nilai standar deviasi (SD) untuk melihat besarnya penyimpangan data tersebut dengan nilai rata-ratanya. Didapatkan standar deviasi pada tanah humus sebesar $9,72 \times 10^{-6}$ dan nilai standar deviasi pada tanah laterit sebesar $1,52 \times 10^{-5}$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai standar deviasi pada setiap jenis tanah jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata data pengukuran sehingga nilai rata-rata data pengukuran dapat digunakan sebagai representasi dari keseluruhan data. Semakin kecil nilai standar deviasi maka semakin kecil penyimpangan data tersebut dengan nilai rata-ratanya. Oleh karena itu, nilai rata-rata waktu tempuh gelombang ini akan digunakan untuk menentukan nilai kecepatan rambat gelombang pada setiap jenis tanah dengan menggunakan persamaan (1). Berdasarkan data rata-rata waktu tempuh gelombang pada tanah humus dan laterit serta ketebalan masing-masing jenis tanah yang dibuat sebesar 0,25 m. Didapatkan kecepatan rambat gelombang pada tanah humus sebesar 2222,22 m/s sedangkan kecepatan rambat gelombang tanah laterit sebesar 1930,502 m/s.

3.2 Eksperimen pengukuran

Eksperimen pengukuran ketebalan lapisan tanah dilakukan pada enam segmen seperti yang dijelaskan pada Gambar 3 dan objek uji dibuat dengan variasi ketebalan pada setiap lapisannya. Pengambilan data pengukuran dilakukan dengan mengamati nilai waktu tempuh gelombang ultrasonik yang ditransmisikan ke dalam lapisan tanah pada empat titik di setiap segmennya. Berdasarkan nilai kecepatan rambat gelombang yang didapatkan pada pengukuran karakterisasi objek uji dan waktu tempuh gelombang yang didapatkan pada eksperimen pengukuran, maka ketebalan lapisan setiap jenis tanah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2). Data eksperimen pengukuran ketebalan lapisan tanah pada setiap titik ditampilkan pada Tabel 3.

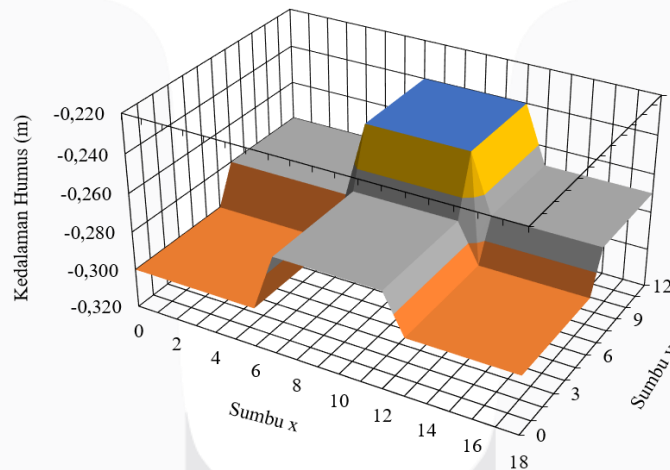
Tabel 3. Data eksperimen pengukuran ketebalan lapisan tanah

No	Rata-rata waktu tempuh (s)		Ketebalan sebenarnya (m)		Ketebalan pengukuran (m)		Error (%)	
	Humus	Laterit	Humus	Laterit	Humus	Laterit	Humus	Laterit
1	0,000271	0,000208	0,30	0,20	0,301	0,2012	0,296	0,579
	0,000273	0,000206			0,303	0,1985	1,037	0,772
	0,000275	0,000213			0,306	0,2054	1,926	2,703
	0,000274	0,000209			0,304	0,2015	1,333	0,772
2	0,000244	0,000242	0,27	0,23	0,271	0,2332	0,412	1,393
	0,000244	0,000241			0,271	0,2324	0,412	1,058
	0,000246	0,000238			0,274	0,2301	1,399	0,050
	0,000245	0,000238			0,272	0,2293	0,741	0,285
3	0,000262	0,000219	0,29	0,21	0,291	0,2116	0,230	0,754
	0,000262	0,000218			0,291	0,2100	0,230	0,018
	0,000262	0,000218			0,291	0,2100	0,230	0,018
	0,000262	0,000222			0,291	0,2139	0,230	1,857
4	0,000253	0,000227	0,28	0,22	0,281	0,2193	0,476	0,316
	0,000256	0,000226			0,284	0,2178	1,429	1,018
	0,000254	0,000228			0,282	0,2201	0,635	0,035
	0,000256	0,000223			0,284	0,2154	1,587	2,071

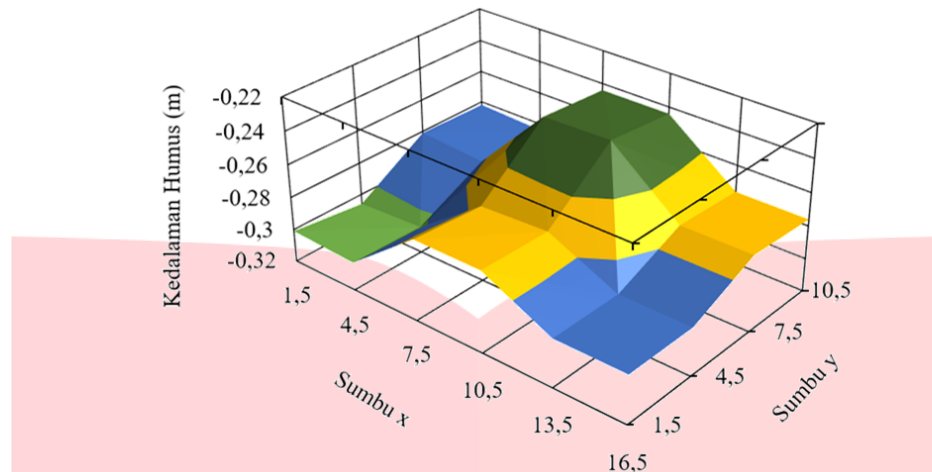
5	0,000217	0,000272	0,24	0,26	0,241	0,2625	0,370	0,980
	0,000216	0,000274			0,240	0,2641	0,000	1,574
	0,000220	0,000273			0,244	0,2633	1,852	1,277
	0,000219	0,000274			0,244	0,2649	1,481	1,871
6	0,000246	0,000237	0,27	0,23	0,274	0,2286	1,399	0,621
	0,000249	0,000239			0,276	0,2309	2,387	0,386
	0,000249	0,000237			0,276	0,2286	2,387	0,621
	0,000247	0,000238			0,275	0,2301	1,728	0,050
Rata-rata error pengukuran							1,009	0,878

Pada Tabel 3 ditampilkan bahwa rata-rata waktu tempuh di setiap segmen berbeda. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan ketebalan lapisan tanah yang akan mempengaruhi waktu tempuh gelombang. Ketebalan objek uji akan berbanding lurus dengan waktu tempuh gelombang sehingga semakin tebal objek uji yang diukur maka waktu tempuh gelombang akan semakin besar [10].

Setelah didapatkan data ketebalan lapisan tanah pada setiap titik pengukuran di setiap segmen yang ditampilkan pada Tabel 3. Data ketebalan tanah humus dipolatkan menjadi grafik 3D yang menampilkan kontur lapisan subur tanah. Grafik kontur ketebalan lapisan subur tanah ditampilkan dalam beberapa grafik yaitu grafik kontur dengan nilai ketebalan sebenarnya dan grafik kontur dengan nilai ketebalan hasil pengukuran. Grafik kontur lapisan subur tanah ditampilkan pada Gambar 4(a) dan Gambar 4(b) dibawah ini.



Gambar 4(a). Grafik kontur lapisan subur tanah dengan nilai ketebalan sebenarnya



Gambar 4(b). Grafik kontur lapisan subur tanah dengan nilai ketebalan hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar grafik kontur 4(a) dan 4(b) yang ditampilkan, sumbu x dan sumbu z diasumsikan sebagai koordinat titik pengukuran, dan sumbu y diasumsikan sebagai nilai ketebalan tanah humus. Nilai ketebalan lapisan tanah humus yang ditampilkan pada grafik kontur dibuat dengan nilai negatif untuk mempresentasikan nilai kedalaman tanah humus yang berada di bawah permukaan. Grafik kontur nilai sebenarnya dengan nilai pengukuran yang ditampilkan memiliki bentuk grafik yang sedikit berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai ketebalan yang didapatkan pada setiap titik pengukuran dalam segmen yang sama. Dimana seharusnya nilai ketebalan pada setiap titik pengukuran dalam segmen yang sama tidak memiliki perbedaan. Perbedaan hasil nilai ketebalan pada setiap titik pengukuran di segmen yang sama dapat terjadi karena adanya keterbatasan pengamat dalam membuat ketebalan yang presisi di setiap titik pengukuran. Sehingga permukaan pada setiap lapisan tanah tidak sepenuhnya rata dan menyebabkan adanya perbedaan nilai ketebalan lapisan tanah pada setiap titik pengukuran di setiap segmen yang sama. Dengan adanya perbedaan nilai ketebalan di setiap segmen pengukuran mengakibatkan adanya nilai error pengukuran. Pada Tabel 3 ditampilkan nilai error terbesar pada lapisan tanah humus sebesar 2,387%.

Selain itu, grafik kontur yang ditampilkan pada Gambar 4(a) memiliki daerah batas ketebalan yang lebih tegas daripada daerah batasan yang ditampilkan pada Gambar 4(b), hal ini dikarenakan nilai ketebalan tanah humus yang diplotkan menjadi grafik kontur pada Gambar 4(b) didapatkan dari nilai pendekatan dengan hasil pengukuran ketebalan tanah humus pada keenam segmen dimana setiap segmennya dilakukan pengukuran pada empat titik seperti yang dijelaskan pada Gambar 3. Sehingga nilai pengukuran ketebalan pada empat titik di setiap segmen tersebut digunakan untuk mewakili nilai ketebalan tanah humus pada setiap segmennya. Dengan menggunakan nilai pengukuran ketebalan di empat titik di setiap segmennya ini kemudian nilai ketebalan tanah humus diinterpolasikan untuk menampilkan grafik kontur seperti pada Gambar 4(b). Sehingga daerah batas ketebalan pada Gambar 4(b) tidak tegas karena antara nilai pengukuran di dua titik yang saling berdekatan dalam dua segmen yang berbeda dilakukan interpolasi data nilai ketebalan sehingga batas-batas nilai ketebalan di setiap segmen yang berdekatan menjadi lebih landai.

4. Kesimpulan

Metode *ultrasonic testing* dapat digunakan untuk pemetaan kontur lapisan subur tanah dari dua jenis tanah yang berbeda. Hal ini dibuktikan ketika gelombang ultrasonik dapat merambat ke dalam setiap lapisan tanah dan waktu tempuh gelombang ultrasonik pada lapisan tanah humus dan tanah laterit dapat terdeteksi. Pemetaan kontur lapisan subur tanah didasari oleh data ketebalan lapisan subur tanah. Nilai ketebalan lapisan subur tanah pada setiap titik pengukuran di setiap segmennya akan diplotkan kedalam grafik 3D yang akan menampilkan kontur lapisan subur tanah tersebut. Hasil pengukuran ketebalan pada setiap lapisan tanah mendekati dengan nilai aslinya hal ini dibuktikan dengan rata-rata error setiap pengukuran sebesar 1,009% pada tanah humus dan 0,878% pada tanah laterit.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Penduduk 15 Tahun Ke Atas yang Bekerja menurut Lapangan Pekerjaan Utama 1986 - 2020," 27 November 2020. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/statistictable/2009/04/16/970/penduduk-15-tahun-ke-atas-yang-bekerja-menurut-lapangan-pekerjaan-utama-1986---2018.html>. [Accessed 2020 November 28].
- [2] Badan Pusat Statistik, "Luas Lahan Kritis Menurut Provinsi dan Tingkat Kekritisannya Lahan Tahun 2006, 2011, 2013, 2018 (Ha)," 2018. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1231>. [Accessed 5 Oktober 2020].
- [3] L. A. I. Gunawan and B. S. B. Dewantara, "Pengukuran Speed dan Impedansi Akustik pada Tanah Liat dengan Memanfaatkan Sinyal Echo Ultrasonik," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 15, no. 2, pp. 145-156, Agustus 2019.
- [4] A. N. Wakhid Setya Budi, P. S. Wardana and A. H. Alasiry, "Prototype Alat Pemetaan Kontur Tanah Pada Tahap Open Hole," *e-Proceeding of Engineering*, pp. 1-6, May 2013.
- [5] H. Wilson, "Penggunaan Gelombang Ultrasonik untuk Mendeteksi Kombinasi Ketebalan Lapisan Tanah (Tanah Humus, Pasir dan Lempung)," *Thesis*, 2011.
- [6] D. Darmawan, A. Ismardi, B. Fortunella and A. Fudholi, "Magnetic Field Induction Method for Characterization and Determination of Soil Type with Induction Voltage Measurement," *Technology Reports of Kansai University*, vol. 62, no. 10, pp. 5961-5968, 2020.
- [7] J. Pramesti, D. Darmawan and A. Ismardi, "Identifikasi Distribusi Serbuk Logam Dalam Tanah Dengan Metoda Induksi Medan Magnet," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 5659-5666, 2018.
- [8] International Atomic Energy Agency, "Ultrasonic Testing," in *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*, Vienna, IAEA, 2002, pp. 100-127.
- [9] A. Syafrudin, S. and J. E. Suseno, "Rancang Bangun Generator Pulsa Gelombang Ultrasonik dan Implementasinya untuk Pengukuran Jarak Antara Dua Obyek," *Berkala Fisika*, vol. 11, no. 2, pp. 29-37, April 2008.
- [10] T. Hidayat, *Desain Prototipe Sonic Log Menggunakan Sensor Ultrasonik untuk Mengetahui Waktu Penjalaran Gelombang Suara pada Medium Padat*, Jakarta: UIN, 2011.