

KORELASI ANTARA BERAT VOLUME DAN IMPEDENSI LISTRIK PADA TANAH PODSOLIK: I. PERCOBAAN DI LABORATORIUM

CORRELATION BETWEEN BULK DENSITY AND ELECTRICAL IMPEDANCE ON PODSOLIC SOIL: I. EXPERIMENT IN LABORATORY

Bandi Hermawan

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

ABSTRACT

An experiment to correlate bulk density (ρ_b) and electrical impedance (Z) was conducted on a loamy Podsolik in Bengkulu City taken from the 0 – 10 cm depth. The sample was air dried, sieved to get 0 – 2 mm aggregates, and then poured into a cylinder (with 8.20 cm in diameter and height, respectively) that has been equipped with a couple of sensors. Values of ρ_b and water content were measured, electrical current with 5 kHz frequency was injected to the sample, and potential difference at the two sensors was measured using oscilloscope. The value of potential difference was the converted into impedance Z . Soil inside the cylinder was then compacted; ρ_b and potential difference were measured as before. The above steps were repeated for other samples with different water content, therefore Z can be correlated with various ρ_b values, while water content was used as a correcting factor for the relation. Bulk density has close relationships with Z (R ranges from 0.81 to 0.99) by following the exponential decay law. The logarithm of ρ_b decreases at the rates of 0.002 to 0.2 Mg m^{-3} per ohm increase of Z , depending on soil water content at the time of measurement. The results suggest that easily measured Z may be used to estimate ρ_b , hence other soil properties related to it.

Key Words: bulk density, electrical impedance, water content

ABSTRAK

Percobaan tentang korelasi antara berat volume (BV) dan impedensi listrik (Z) dilaksanakan pada tanah Podsolik berlempung di Kota Bengkulu yang diambil dari kedalaman 0 – 10 cm. Contoh tanah dikering anginkan, dihaluskan menjadi agregat berukuran 0 – 2 mm, lalu dimasukkan ke dalam silinder (diameter dan tinggi masing-masing 8,20 cm) yang telah dilengkapi dengan sepasang sensor. Nilai BV dan kadar air tanah diukur, arus listrik AC dengan frekuensi 5 kHz dialirkan melalui contoh tanah, dan beda potensial yang terjadi di kedua sensor diukur dengan oscilloscope. Nilai beda potensial yang terukur lalu dikonversi menjadi nilai impedensi Z . Tanah di dalam silinder kemudian dipadatkan kembali, nilai BV dan beda potensial selanjutnya diukur seperti langkah sebelumnya. Langkah-langkah di atas diulangi untuk contoh tanah yang memiliki kadar air yang berbeda, sehingga diperoleh berbagai nilai Z untuk kombinasi BV dan kadar air yang berbeda. Nilai BV hasil pengukuran selanjutnya dikorelasikan dengan nilai Z , sementara kadar air dijadikan salah satu faktor yang mempengaruhi keeratan hubungan dari kedua variabel tersebut. Berat volume memiliki korelasi yang sangat erat dengan Z (r berkisar antara 0.81 dan 0.99) sementara bentuk hubungan tersebut mengikuti hukum eksponensial. Logaritma dari BV menurun sebesar 0,002 sampai 0,2 Mg m^{-3} untuk setiap ohm peningkatan dari Z , tergantung pada kadar air tanah pada saat pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Z dapat digunakan untuk menduga nilai BV dan sifat-sifat lain yang berhubungan dengannya.

Kata-kata kunci: Berat volume, impedensi listrik, kadar air.

PENDAHULUAN

Berat volume tanah dapat ditetapkan secara langsung dengan menggunakan contoh tanah utuh (Blake and Hartge, 1986) dan secara tidak langsung atau pendugaan melalui pengukuran sifat-sifat tanah yang berhubungan dengannya.. Pengukuran secara tidak langsung biasanya lebih disenangi karena pengukuran langsung kadang-kadang tidak efisien dari segi waktu, biaya dan

tenaga. Namun demikian, pertanyaan yang mungkin muncul adalah tentang keakuratan dari nilai-nilai dugaan yang diperoleh dari pengukuran tidak langsung bila dibandingkan dengan nilai-nilai dari hasil pengukuran langsung. Pertanyaan ini sebagian dapat dijawab dengan meng-hubungkan beberapa sifat tanah yang mudah diukur dengan sifat-sifat yang akan diduga, lalu mengevaluasi keeratan dari hubungan tersebut.

Pendugaan berat volume dari sifat-sifat fisik tanah yang lain telah dilakukan oleh Busscher dan Sojka (1987) dengan menggunakan penetrometer. Mereka mengembangkan sebuah model yang menghubungkan berat volume dengan resistensi penetrasi tanah yang diukur di lapangan. Namun metode ini membutuhkan sejumlah pengukuran lain seperti kandungan bahan organik, tekstur dan kadar air tanah. Oleh sebab itu, para ahli mencari suatu model pendugaan yang membutuhkan sedikit variabel bebas. Salah satu variabel bebas yang dipertimbangkan adalah sifat dielektrik tanah karena hubungannya dengan tipe dan komposisi tanah sebagai medium transpor bagi listrik (Kettel, 1991). Keberadaan ruang pori di dalam tanah menghasilkan frekuensi resonansi (F), sementara proporsi dari partikel-partikel padat menentukan impedensi (Z) dan resistensi (R) ketika listrik dialirkan ke dalam tanah.

Penggunaan sifat-sifat dielektrik dalam penetapan sifat-sifat fisik tanah telah dilakukan oleh banyak peneliti. Banton *et al.* (1997), misalnya, menggunakan nilai R untuk menduga dan memetakan sifat-sifat fisik tanah seperti distribusi ukuran partikel, porositas, konduktivitas hidrolika, berat volume dan kandungan bahan organik. Mereka menemukan bahwa R memiliki hubungan yang bagus dengan distribusi ukuran partikel dan kandungan bahan organik (r^2 berkisar dari 0.45 sampai 0.65), tetapi R tidak berhubungan dengan tiga sifat yang lain (r^2 adalah 0.04 sampai 0.14). Sementara Nadler *et al.* (1991) serta Cook dan Walker (1992) baru dapat menemukan korelasi dielektrik dengan kadar air dan garam di dalam tanah. Pendugaan porositas dan berat volume dengan menggunakan sifat dielektrik tanah baru dapat dibuktikan secara teoritik tetapi belum secara eksperimen oleh Friedman (1997).

Penelitian kami terdahulu pada tanah Podsolik menunjukkan bahwa F dan Z memiliki hubungan yang lebih baik dengan berat volume

dan porositas dibandingkan R (Hermawan *et al.*, 1998). Namun nilai r^2 dari hubungan tersebut sangat beragam, yaitu dari 0.04 sampai 0.99, tergantung pada keragaman dari sifat-sifat fisik tanah yang lain seperti tekstur, kadar air dan komposisi kimia. Keeratan hubungan tersebut diperbaiki pada penelitian berikutnya dengan menggunakan pasir (Hermawan *et al.*, 2000). Penelitian yang terakhir ini menghasilkan pola hubungan eksponensial antara berat volume (BV) dan Z. Penelitian yang dilaporkan ini bertujuan untuk menindak lanjuti hasil penelitian tersebut dengan menggunakan jenis tanah Podsolik berlempung yang terdapat di Kota Bengkulu, serta melakukan modifikasi terhadap konstanta model bila diperlukan.

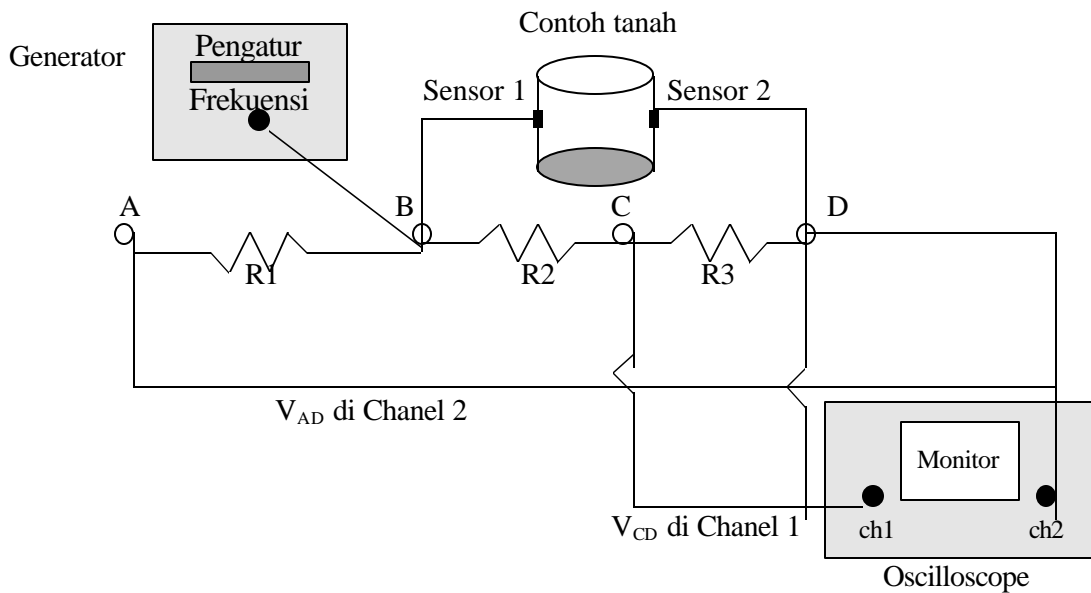
METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dari bulan Agustus 1999 sampai Maret 2000 di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah Podsolik yang ada di Kota Bengkulu dan diambil dari kedalaman 0 – 10 cm. Sifat-sifat dasar dari tanah yang diteliti dianalisa terlebih dahulu dan hasilnya disajikan dalam Tabel 1.

Bahan dan alat yang dibutuhkan adalah sensor yang terbuat dari perak murni, silinder yang terbuat dari paralon (diameter 8,2 cm dan tinggi 8,2 cm), kabel listrik, tiga buah tahanan, Catoda Ray Oscilloscope (CRO, merk Kenwood tipe CS-4125), generator untuk menginjeksikan arus, timbangan analitis dan alat penekan mekanik untuk mengatur kepadatan tanah di dalam silinder. Bahan-bahan dan alat-alat di atas selanjutnya disusun dalam suatu rangkaian sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Dua buah sensor ditempelkan sedemikian rupa pada silinder sehingga permukaannya menempel pada bagian dalam silinder lalu dihubungkan dengan rangkaian alat.

Tabel 1. Sifat-sifat fisik dan kimia tanah yang digunakan dalam penelitian.

Parameter	Ulangan			
	1	2	3	4
Persen pasir	26,09	26,12	26,50	26,79
Persen debu	64,84	64,87	64,26	63,77
Persen liat	9,07	9,01	9,24	9,44
Berat partikel ($Mg\ m^{-3}$)	2,62	-	-	-
Karbon organik (%)	1,66	1,59	1,54	1,69
Daya hantar listrik (μs)	113	110	114	114
Kejenuhan basa (%)	25,00	26,88	28,75	26,25
Ca (me $100\ g^{-1}$)	0,52	0,52	0,48	0,59
Mg (me $100\ g^{-1}$)	0,50	0,48	0,50	0,50
Na (me $100\ g^{-1}$)	0,29	0,25	0,25	0,25
Cu (ppm)	3,00	1,50	2,00	2,00
Zn (ppm)	6,67	7,24	6,86	7,05
Mn (ppm)	8,00	8,40	8,80	9,20
Fe (ppm)	50,29	50,18	45,71	49,09



Gambar 1. Rangkaian alat pengukur sifat dielektrik tanah yang digunakan dalam percobaan. Monitor pada Oscilloscope menampilkan data frekuensi, beda tegangan pada Chanel 2 (V_{AD}) dan beda tegangan pada Chanel 1 (V_{CD}).

Silinder yang telah dilengkapi dengan sensor ditutup di bagian bawahnya dengan paralon yang berbentuk datar agar sampel yang dimasukkan tidak jatuh selama pengukuran berlangsung.

Contoh tanah dikering anginkan, diayak dengan ayakan bermata saring 2 mm, lalu diberi perlakuan kadar air mulai dari kering angin sampai mendekati jenuh. Silinder kosong yang telah diketahui berat dan volumenya mula-mula diisi dengan contoh tanah yang telah diketahui kadar airnya (dalam satuan $g\ g^{-1}$), lalu ditimbang dan dihitung nilai BV-nya (Blake dan Hartge, 1986). Silinder berisi tanah tersebut selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian alat melalui kedua sensor yang telah dipasang. Generator dan Oscilloscope dihidupkan secara serentak, frekuensi F diset menjadi 5 kHz, lalu dilakukan pembacaan terhadap nilai F yang sebenarnya (sebagai koreksi terhadap nilai F yang dibaca dari generator), beda tegangan antara titik A dan D (V_{AD}), dan beda tegangan antara titik C dan D (V_{CD}) melalui grafik pada Oscilloscope.

Setelah pembacaan pada tingkat kepadatan pertama selesai, silinder dilepas dari rangkaian, lalu kepadatan tanah yang ada di dalamnya ditingkatkan melalui penekanan secara bertahap dengan alat penekan mekanik. Berat volume sampel yang baru dihitung, lalu dihubungkan kembali dengan rangkaian untuk pembacaan nilai F, V_{AD} dan V_{CD} berikutnya. Langkah kombinasi antara pemadatan dan pengukuran sifat dielektrik diulangi sampai peningkatan kepadatan tanah secara teknis mencapai maksimum (yaitu dimana alat yang ada tidak mampu lagi memadatkan tanah). Contoh tanah dikeluarkan dari silinder dan diganti dengan contoh tanah lain yang memiliki kadar air yang berbeda. Selanjutnya langkah-langkah kombinasi antara pemadatan dan pengukuran sifat dielektrik yang diuraikan di atas diulangi kembali.

Nilai V_{AD} dan V_{CD} yang terbaca oleh oscilloscope dikonversi menjadi nilai impedensi Z dengan menggunakan persamaan:

$$Z = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_3 \left(\frac{V_{AD}}{V_{CD}} \right) - (\Sigma R)} \quad (1)$$

dimana R_1 , R_2 dan R_3 merupakan besarnya tahanan yang digunakan sebagai perlakuan dalam komponen peralatan (Gambar 1). Data BV dan Z pada setiap tingkatan kadar air dianalisis secara statistik dengan menggunakan persamaan regresi (Snedecor dan Cochran, 1980). Evaluasi dilakukan terhadap nilai-nilai konstanta, serta hubungannya dengan kadar air tanah yang diukur. Tahapan penelitian ini menghasilkan model dasar dalam pendugaan nilai BV melalui pengukuran sifat dielektrik tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi BV dan Z

Hubungan antara nilai-nilai BV dan Z pada berbagai kadar air disajikan dalam Gambar 2. Nilai BV menurun secara eks-ponensial dengan meningkatnya nilai Z, dimana laju penurunan tersebut semakin kecil bila nilai Z menjadi semakin besar. Selain itu, kurva BV-Z pada kada air yang berbeda cenderung menumpuk di satu titik bila nilai Z sangat rendah (kurang dari 5 ohm). Hal ini kemungkinan disebabkan karena nilai-nilai Z pada kisaran tersebut lebih dipengaruhi oleh nilai Z untuk air (yaitu sekitar 4 ohm), sehingga keeratan korelasinya dengan BV semakin berkurang.

Penemuan paling penting yang dihasilkan dari penelitian ini adalah lahirnya suatu model yang menggambarkan korelasi yang erat antara BV dan Z. Pembangunan model ini dilakukan dengan mengevaluasi pola hubungan yang disajikan dalam Gambar 2. Berdasarkan bentuk kurva pada Gambar 2 tersebut lalu ditentukan model persamaan regresinya, yaitu dalam bentuk regresi non-linier sebagai berikut (Snedecor dan Cochran, 1980):

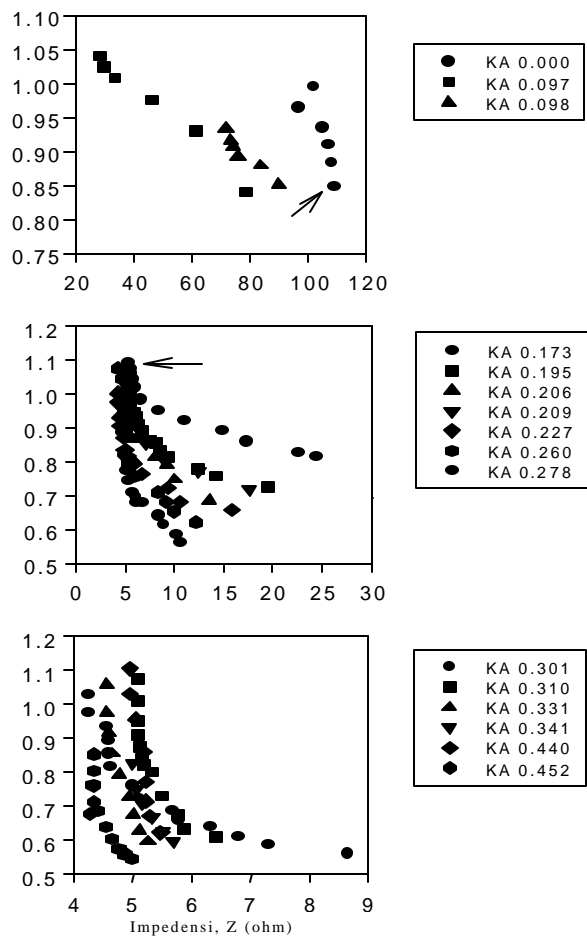
$$BV = A(e^{BZ}) \quad (2)$$

dimana A dan B adalah konstanta yang dihasilkan dari persamaan di atas. Persamaan 2 di atas selanjutnya digunakan untuk menganalisis konstanta A dan B dari masing-masing contoh tanah serta koefisien korelasi antara BV dan Z yang hasilnya disajikan dalam Tabel 2. Secara

keseluruhan, nilai A relatif berdekatan bila kadar air tanah berkisar antara 0,097 dan 0,301 g g⁻¹, yaitu sekitar 1,096, sedangkan nilai B cenderung menurun dengan meningkatnya kadar air (ϕ) menurut persamaan $B = 0,045 - 0,372ϕ$. Koefisien korelasi (r) pada kisaran kadar air tersebut juga menunjukkan angka yang sangat tinggi (semuanya di atas 0,92), yang berarti⁻¹. Keeratan korelasi yang optimum antara BV dan Z diperoleh pada kadar air tanah 0,1 sampai 0,3 g g

nilai Z dan hasilnya disajikan dalam Gambar 3. Persamaan 2 secara langsung dapat digunakan untuk menduga nilai BV tanah yang termasuk dalam kisaran kadar air yang diamati. Namun kedekatan antara nilai BV hasil pendugaan dan hasil pengukuran bervariasi menurut kadar air tanah. Model yang dikembangkan bekerja sangat baik pada tanah yang memiliki kadar air kurang dari 0,3 g g⁻¹ (Gambar 3a sampai 3d), meskipun bentuk kurva dari hasil pendugaan

Persamaan 2 selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai BV dugaan pada setiap



Gambar 2. Hubungan antara BV dan Z dengan berbagai kadar air pada saat dilakukan pengukuran

tidak sama persis dengan kurva dari hasil pengukuran. Perbedaan tersebut umumnya ditemui pada nilai-nilai Z yang rendah (sekitar 4 sampai 5 ohm). Hal ini disebabkan karena Persamaan 2 tetap melakukan penghitungan nilai BV

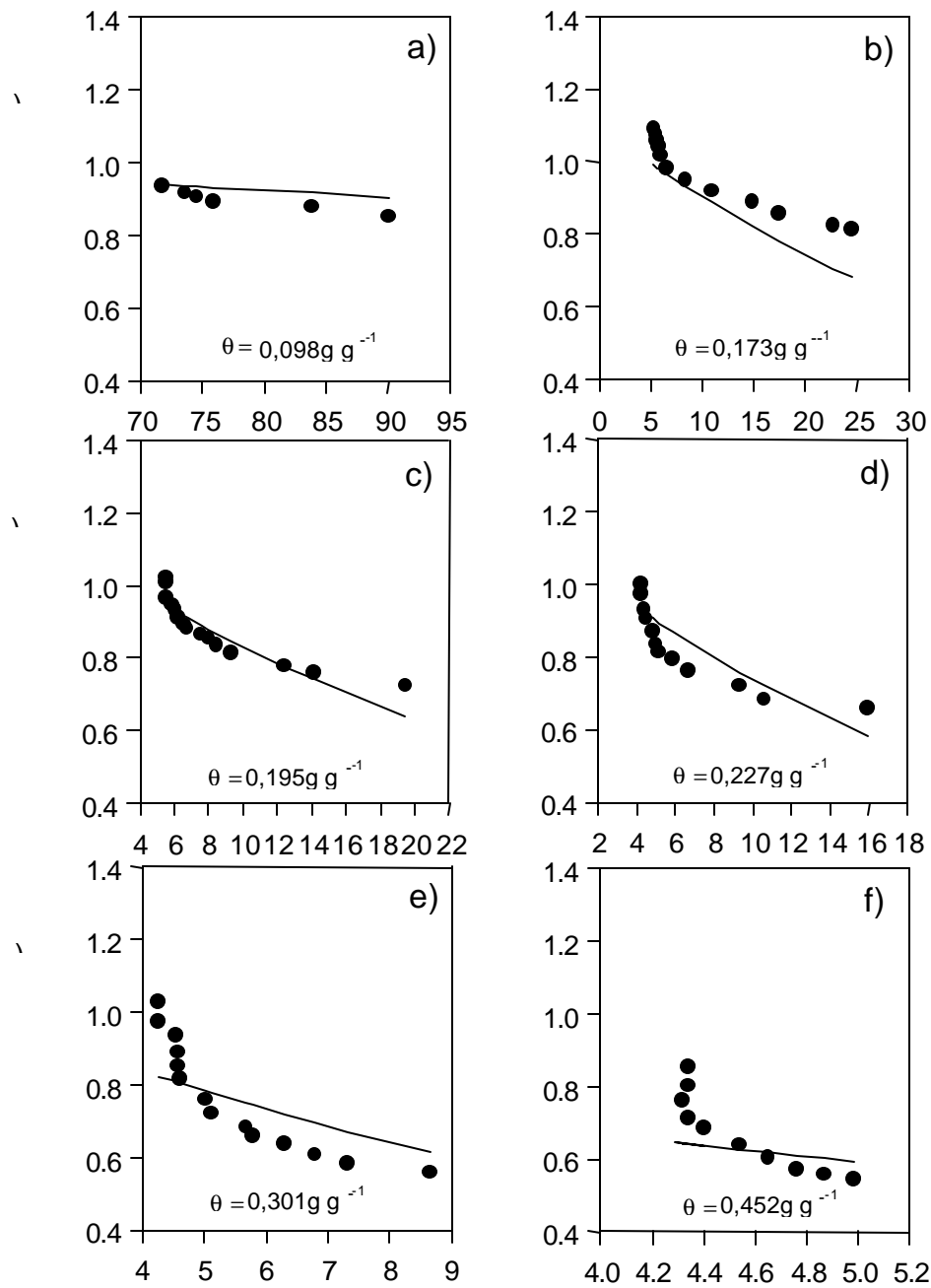
meskipun nilai Z sudah mencapai kisaran 4 sampai 5 ohm, padahal selama pengukuran berlangsung nilai Z pada kisaran tersebut sudah relatif konstan meskipun BV ditingkatkan

Tabel 2. Nilai konstanta A dan B serta koefisien korelasi r dari persamaan regresi non-linier $BV = Ae^{BZ}$.

No.	Kadar Air ($g\ g^{-1}$)	A	B	r	Jumlah Pengamatan
1.	0.000	2.605	-0.010	0.808	6
2.	0.097	1.160	-0.004	0.989	6
3.	0.098	1.261	-0.004	0.960	6
4.	0.173	1.065	-0.012	0.980	12
5.	0.195	0.993	-0.018	0.917	15
6.	0.206	1.223	-0.047	0.956	8
7.	0.209	1.113	-0.028	0.903	9
8.	0.227	0.947	-0.026	0.915	12
9.	0.260	1.097	-0.050	0.938	14
10.	0.278	0.923	-0.045	0.987	13
11.	0.301	1.172	-0.092	0.948	14
12.	0.310	4.642	-0.329	0.936	12
13.	0.331	26.281	-0.728	0.984	9
14.	0.341	6.850	-0.434	0.970	6
15.	0.440	251.000	-1.107	0.966	8
16.	0.452	4.572	-0.432	0.950	11
17.	0.663	1.310	-0.171	0.864	12

Faktor kadar air tanah pada saat dilakukan pengukuran telah terbukti mempengaruhi bentuk dan keceratan hubungan antara BV dan Z. Pendugaan nilai BV dengan menggunakan Persamaan 2 nampaknya kurang akurat bilai nilai Z yang terukur sangat rendah. Fenomena ini terutama bisa ditemui pada tanah-tanah yang memiliki kadar air di atas $0,3\ g\ g^{-1}$ (Gambar 3e dan 3f). Hal ini disebabkan karena nilai Z yang terukur pada kisaran tersebut sudah mendekati

nilai Z untuk air yang merupakan nilai Z terendah untuk komponen-komponen penyusun tanah. Padahal kadar air di atas $0,3\ g\ g^{-1}$ umumnya berada pada kondisi kapasitas lapang untuk sebagian besar jenis tanah yang digunakan untuk pertanian. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang modifikasi model agar dapat diterapkan pada tanah-tanah yang memiliki kadar air di atas $0,3\ g\ g^{-1}$.



Gambar 3. Nilai dugaan BV (—) dari pengukuran Z pada berbagai kadar air.adalah nilai BV dari hasil pengukuran.

Tekstur dan bahan organik besar kemungkinan berpengaruh pula terhadap keeratan korelasi antara BV dan Z sebagaimana yang dilaporkan oleh Hermawan *et al.* (2000). Penemuan tersebut didukung oleh hasil penelitian Banton *et al.* (1997) bahwa impedensi listrik di dalam tanah selain dipengaruhi oleh kadar air juga oleh tekstur dan bahan organik tanah. Meskipun perbedaan tersebut terlihat besar, pengaruh kedua faktor ini belum terbukti secara matematis dalam tahap penelitian ini.

Di lain pihak, sifat dielektrik yang mempengaruhi korelasi antara BV dan Z adalah frekuensi yang digunakan dalam mengalirkan listrik ke dalam tanah. Frekuensi yang ideal adalah di bawah 5 kHz karena menghasilkan interval pembacaan yang tinggi antara nilai minimum dan nilai maksimum (Hermawan *et al.*, 2000). Selain itu, pengukuran nilai dielektrik sangat dipengaruhi oleh stabilitas voltase listrik yang digunakan dan kebisingan suara di sekitar percobaan, sehingga waktu pengukuran terbaik adalah pagi, sore atau malam hari.

KESIMPULAN

Metode analisis tanah yang baru dikembangkan telah menghasilkan korelasi yang sangat erat (nilai r antara 0,81 sampai 0,99) antara berat volume dan sifat dielektrik tanah yang dinyatakan dalam bentuk impedensi. Hubungan antara kedua variabel di atas mengambil bentuk persamaan eksponensial $BV = A(e^{BZ})$ dimana konstanta B memiliki nilai negatif dan dipengaruhi oleh kadar air tanah pada saat dilakukan pengukuran. Keeratan korelasi antara berat volume dan impedensi listrik di dalam tanah mencapai tingkat optimum bila diukur pada kadar air tanah kurang dari $0,3 \text{ g g}^{-1}$. Selain kadar air, tekstur dan bahan organik tanah diperkirakan berpengaruh juga terhadap keeratan korelasi antara berat volume dan impedensi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Drs. Zul Bachrum, MS. dan Ir. Hasanudin, MP. yang telah membantu penyiapan alat dan pengukuran di laboratorium. Penelitian

ini didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui program Hibah Bersaing.

DAFTAR PUSTAKA

- Banton, O., M.K. Seguin, dan M.A. Cimon, 1997. Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1010-1017.
- Blake, G.R. dan K.H. Hartge, 1986. Bulk density. *In* A. Klute (Editor): *Methods of Soil Analysis*. Second edition. *Soil Sci. Soc. Am. Inc. Publ., Madison*. Pp. 363-375.
- Busscher, W.J. dan P.E. Sojka, 1987. Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage. *Trans. ASAE* 30: 888-892.
- Cook, P.G. dan G.R. Walker, 1992. Depth profiles of electrical conductivity from linear combinations of electromagnetic induction measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1015-1022.
- Friendman, S.P., 1997. Statistical mixing model for the apparent dielectric constant of unsaturated porous media. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 742-745.
- Hermawan, B., Hasanudin dan Z. Bahrum, 2000. Pendugaan nilai kepadatan tanah melalui pengukuran sifat dielektrik: suatu teknik analisis tanah baru yang berwawasan lingkungan. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Lembaga Penelitian UNIB.
- Hermawan, B., I. Koto dan Z. Bahrum, 1998. Pemanfaatan sifat dielektrik dalam menentukan nilai porositas tanah. *Jurnal Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu* No. 13.
- Kittel, C., 1991. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons, Singapore.
- Nadler, A., S. Dasberg, dan I. Lapid, 1991. Time domain reflectometry measurements of water content and electrical conductivity of layered soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 938-943.
- Snedecor, G.W. dan W.G. Cochran, 1980. *Statistical Methods*. Seventh edition. Iowa State Univ. Press., Ames, IA.