# APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK ESTIMASI DRY BULK BENSITY DAN VOLUMETRIC WATER CONTENT PADA TANAH

Budi I. Setiawan[1], Krissandi Wijaya[2], Taku Nishimura[2] dan Rudiyanto[1]

[1)]Dept. of Agricultural Engineering, Bogor Agricultural University,
Kampus IPB Darmaga 16680 Indonesia
Email: Budindra@ipb.ac.id, lupusae@yahoo.com

[2)]School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho,
Fuchu-shi, Tokyo 183-8509 Japan

## ABSTRAK

Informasi mengenai property sifat fisik tanah sangat penting dalam bidang ilmu tanah. Saat ini pengukuran sifat fisik tanah lebih banyak dilakukan di laboratorium dengan mengambil sample tanah di lapang. Tentunya cara ini akan membutuhkan biaya, waktu dan tenaga lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran in situ. Pada makalah ini akan dibahas penerapan teknik ADR probe – Jaringan syaraf tiruan (JST) dalam mengestimasi dry bulk density dan volumetric water content tanah. Tanah Andisol (TUAT), tanah Alluvial (Fukaya) tanah Alluvial (Cidanau) dan tanah Latosol (Leuwikopo) dijadikan bahan dalam penelitian ini. Lima model JST dikembangkan untuk mengestimasi dry bulk density dan volumetric water content. ADR probe – Model JST yang dikembangkan mampu dengan baik menduga dry bulk density dan volumetric water content untuk keempat jenis tanah tersebut. Model 1 [2 – 5 – 1] JST dengan input wet bulk density dan voltage ADR probe memberikan hasil terbaik untuk pendugaan dry bulk density untuk keempat jenis tanah tersebut. Sedangkan model 5 [3 – 5 – 1] JST dengan input wet bulk density, voltage ADR probe dan dry wet bulk density hasil estimasi model 1 [2 – 5 – 1] JST memberikan hasil terbaik dalam mengestimasi volumetric water content untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo.

**Kata kunci** : dry bulk density, volumetric water content, ADR probe, jaringan syaraf tiruan

## 1. PENDAHULUAN

Informasi mengenai property sifat fisik tanah sangat penting dalam bidang ilmu tanah. Informasi sifat fisik tanah didapatkan dari pengukuran terhadap tanah tersebut dan menjadi sulit jika pengukuran dilakukan secara langsung (in situ). Saat ini pengukuran sifat fisik tanah lebih banyak dilakukan di laboratorium dengan mengambil sample tanah di lapang. Tentunya cara ini akan membutuhkan biaya, waktu dan tenaga lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran in situ.
Selain itu, informasi sifat fisik tanah secara real time juga sangat penting bagi pertanian modern khususnya presician farming. Misalnya dalam rangka otomatisasi pemberian irigasi tanaman. Kadar air tanah menjadi dasar berapa banyak air yang harus diberikan kepada tanaman.

Saat ini telah ditemukan berbagai instrument atau peralatan ukur untuk pengukuran sifat fisik tanah kadar air volumetrik secara in situ. Terdapat tiga jenis alat ukur volumetric water content yang sangat terkenal yaitu: Capacitance Insertion Probe (CIP), Time Domain Reflectometry (TDR) dan Amplitude Domain Reflectometry (ADR) [1], [2], [3]. Semuanya bekerja berdasarkan prinsip konstanta dielektrik. Prinsip ini dipakai didasarkan fakta bahwa konstanta dielektrik air (~80) mempunyai perbedaan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan matrik tanah (~4) dan udara (~1).

ADR mempunyai kelebihan jika dibandingkan dengan TDR maupun CIP, yaitu harganya lebih murah, mudah digunakan dan keluaranya dalam voltage yang langsung dapat diukur dengan voltmeter sehingga dapat memonitor perubahan kadar air. Walaupun demikian kemampuan ADR adalah sama dengan kemapuan TDR dan CIP [3].

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan teknik ADR probe – Jaringan syaraf tiruan dalam mengestimasi dry bulk density dan volumetric water content tanah. Dry bulk density dan volumetric water content merupakan sifat fisik tanah yang sangat penting karena kedua sifat ini sering digunakan untuk menetukan sifat fisik tanah yang lain [4].

## 2. BAHAN DAN METODE

### a. Bahan Tanah

Estimasi volumetric water content dan dry bulk density tanah dilakukan terhadap dua jenis tanah untuk penelitian skala laboratorium, yaitu tanah Andisol (TUAT soil) dan tanah Alluvial (Fukaya soil) yang berasal dari Jepang dan dua jenis tanah untuk penelitian skala lapang, yaitu tanah

Alluvial (Cidanau soil) dan tanah Latosol (Leuwikopo soil) yang berasal dari Indonesia [5].

**b. ADR Probe**

ADR probe mempunyai 3 komponen utama, yaitu: 1) Kabel input output, 2) Probe body dan 3) Sensing head. Kabel digunakan untuk menghubungkan ke power suplly (5~15 volt) dan sinyal output analaog. Probe body berisi asillator internal transmission line yang didesain khusus dan sirkuit pengukur yang dibungkus waterproof. Sensing head terdiri dari 4 buah electrode dengan panjang 60 mm dan berdiameter 3 mm. ketiga electrode terletak pada body prode dengan diameter 15 mm. Ketiga electrode terluar yang terhubung ke ground instrument dari electrical shield disekitar electrode tengah [3].

Prinsip kerja ADR probe adalah menerapkan sinyal tetap sinusoidal 100 MHz melalui internal transmission line yang didesain khusus ke sensing 4 buah electrode yang impedansinya tergantung pada konstanta dielektrik kadar air tanah yang dikandung tanah tersebut. Jika inpedansi ini berubah dari internal transmission line maka proporsi sinyal adalah sebesar yang dipantulkan kembali dari junction (J) yang menjadi penutup antara sensing dan transmission line. Kemudian impedansi sinyal tersebut dibandingkan dengan impedansi sinyal tetap dari internal transmission line. Dengan demikian dapat diketahui kadar air volumetric tanah tersebut.

**c. Struktur Jaringan Syaraf Tiruan**

Model JST digunakan untuk menduga kadar air volumetric dan dry bulk density andisol dan alluvial. Struktur JST yang digunakan adalah multilayer. Empat struktur JST multilayer digunakan sebagai model (jumlah node dalam masing-masing layer mengindekasikan untuk masing-masing model).

Kelima model yang dikembangkan semuanya terdiri 3 lapis dan jumlah node pada lapisan tersembunyi berjumlah 5 buah. Model 1 [2 – 5 – 1] JST digunakan untuk mengestimasi dry bulk density dengan input berupa wet bulk density dan voltage ADR probe. Model 2 [2 – 5 – 2] JST digunakan untuk mengestimasi dry bulk density dan volumetric water content dengan input berupa wet bulk density dan voltage ADR probe. Model 3 [1 – 5 – 1] JST digunakan untuk mengestimasi volumetric water content dengan input berupa voltage ADR probe. Model 4 [2 – 5 – 1] JST digunakan untuk mengestimasi volumetric water content dengan input berupa wet bulk density dan voltage ADR probe dan model 5 [3 – 5 – 1] JST digunakan untuk mengestimasi volumetric water content dengan input berupa wet bulk density, voltage ADR probe dan dry bulk density hasil pendugaan model 1 [2 – 5 – 1] JST.

Keandalan model dilihat dari korelasi yang menunjukan keeratan linier hasil estimasi dengan pengukuran dry bulk density dan volumetric water content. Sedangkan untuk indikator kesalahan digunakan RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute error) dan error maksimum hasil estimasi dengan pengukuran dry bulk density dan volumetric water content. Selain itu juga dilihat pada grafik plot hasil pendugaan dan pengukuran pada garis acuan y = x (garis 45 derajat).

Model pembelajaran JST yang digunakan adalah backpropogation dengan struktur multilayer. Terdiri 3 layer yaitu input layer, hidden layer dan output layer. Input layer mempunyai n node. Hidden layer mempunyai h node dan output layer mempunyai m node.

**d. Algorithma pembelajaran**

Algorithma pembelajaran JST Backpropogation dijelaskan sebagai berikut [6]:

**Inisialisasi pembobot**

Pembobot awal pada JST diberi nilai secara acak. Nilai acak ini biasanya berkisar -1 ~ 1 atau 0 ~ 1.

**Perhitungan nilai aktifasi**

Perhitungan feedforward dimulai dengan menjumlahkan hasil perkalian input $x_i$ dengan pembobot $v_{ji}$. Dan menghasilkan $H_j$ yang merupakan nilai input ke fungsi aktivasi hidden layer. Kemudian output $y_j$ pada hidden layer unit j merupakan hasil fungsi aktivasi f dengan masukan $H_j$. Hal ini telah diformulasikan dalam persamaan 1 dan 2.

$$H_j = \sum_i v_{ji} x_i \tag{1}$$

$$y_j = f(H_j) \tag{2}$$

Nilai output pada hidden layer kemudian dikalikan dengan pembobot $w_{kj}$ dan menghasilkan nilai $I_k$ yang merupakan nilai input fungsi aktivasi output layer.

Nilai output $z_k$ pada output layer dihitung dengan menggunakan fungsi aktivasi f dengan masukan $I_k$. Hal ini telah diformulasikan dalam persamaan 3 dan 4.

$$I_k = \sum_j w_{kj} y_j \tag{3}$$

$$z_k = f(I_k) \tag{4}$$

dengan fungsi aktivasi berupa fungsi sigmoid sebagai mana berikut ini:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \tag{5}$$

dimana $\beta$ adalah gain atau slope fungsi sigmoid (konstanta).

**Pelatihan (pengkoreksian) nilai pembobot**

Pelatihan nilai pembobot pada JST ini dilakukan dengan mengurangi/menurunkan total error system untuk semua data melalui koreksi (adjusment) pembobot dengan Gradient Descent Method. Koreksi pembobot dapat ditulis sebagai persamaan berikut:

$$\Delta W(s+1) = -\eta \partial E^p / \partial W(s) \tag{6}$$

dimana $\eta$ adalah laju pembelajaran (konstanta yang nilainya $0 < \eta < 1$).

Secara ringkas pengkoreksi pembobot antara output layer dan hidden layer adalah sebagai berikut:

$$-\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \Delta w_{kj} = \eta \delta_k y_j = \eta (t_k - t_z) f'(I_k) y_j \quad (7)$$

dimana

$$\delta_k = (t_k - t_z) f'(I_k) \quad (8)$$

dan pengkoreksi pembobot antara hidden layer dan input layer adalah sebagai berikut:

$$-\eta \frac{\partial E}{\partial v_{ji}} = \Delta v_{ji} = \eta \delta_j x_i = \eta x_i f'(H_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \quad (9)$$

dimana

$$\delta_j = f'(H_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \quad (10)$$

Untuk mempercepat konvergen, ditambahkan inersia atau momentum, yaitu dengan menambahkan pengkoreksi pembobot sebelumnya ke pengkoreksi pembobot sekarang. Sehingga pengkoreksi pembobot antara output layer dan hidden layer dan antara hidden layer dan input layer berturut-turut ditulis seperti berikut ini:

$$\Delta w_{kj}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} + \alpha \Delta w_{kj}(t) \quad (11)$$

$$\Delta v_{ji}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial v_{ji}} + \alpha \Delta v_{ji}(t) \quad (12)$$

dimana $\alpha$ adalah momentum (konstanta $0<\alpha<1$).

Proses perhitungan pembobot antara output layer dan hidden layer dilakukan dengan persamaan berikut:

$$w_{kj}^{new} = w_{kj}^{old} + \Delta w_{kj}(t+1) \quad (13)$$

dan pembobot antara hidden layer dan input layer dilakukan dengan persamaan berikut:

$$v_{ji}^{new} = v_{ji}^{old} + \Delta v_{ji}(t+1) \quad (14)$$

**Pengulangan**

Keseluruhan proses ini dilakukan pada setiap contoh dan setiap iterasi. Proses pemberian contoh atau pasangan input-output, perhitungan nilai aktifasi dan pembelajaran dengan mengkoreksi pembobot dilakukan terus menerus sampai didapatkan nilai pembobot dengan nilai total error system mencapai minimum global.

Prosedure pembelajaran jaringan syaraf tiruan diatas dikemas dalam bahasa pemrograman Borland Delphi 5. Pada proses pembelajaran, laju pembelajaran, konsatanta momentum dan gain fungsi sigmoid diberi nilai sama, masing-masing yaitu 0.9. Pada penelitian ini proses pembelajaran dihentikan pada iterasi ke 5000.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Estimasi Dry Bulk Density

Hasil perbandingan antara hasil pengukuran dan estimasi dry bulk density dengan model 1 [2 – 5 – 1] JST untuk keempat jenis tanah tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa plot data tersebar begitu erat pada garis acuan y=x.

Tabel 1 menunjukkan kemampuan model dalam mengestimasi dry bulk density tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo. Berdasarkan parameter keandalan model yang berupa korelasi (R) model 1 [2 – 5 – 1] JST yang dikembangkan untuk estimasi dry bulk density untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo mempunyai nilai 0.990~0.996. Untuk koorelasi (R) model 2 [2 – 5 – 2] JST yang dikembangkan untuk estimasi dry bulk density untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo mempunyai nilai 0.987~0.996. Sedangkan berdasarkan parameter keandalan model yang berupa RMSE, MAE dan error maksimum model 1 [2 – 5 – 1] JST yang dikembangkan untuk estimasi dry bulk density untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo masing-masing berturut turut mempunyai nilai 0.009~0.017 gr/cm$^3$, 0.007~0.014 gr/cm$^3$ dan 0.03~0.04 gr/cm$^3$. RMSE, MAE dan error maksimum model 2 [2 – 5 – 2] JST yang dikembangkan untuk estimasi dry bulk density untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo masing-masing berturut turut mempunyai nilai 0.011~0.019 gr/cm$^3$, 0.008~0.015 gr/cm$^3$ dan 0.031~0.055 gr/cm$^3$.

Berdasarkan korelasi, RMSE, MAE dan error maksimum model 1 [2 – 5 – 1] JST memberikan hasil yang lebih baik dalam mengestimasi dry bulk density daripada model 2 [2 – 5 – 2] JST karena mempunyai nilai korelasi yang lebih besar dan RME, MAE dan error maksimum yang lebih kecil untuk keempat jenis tanah tersebut.

### b. Estimasi Volumetric Water Content

Hasil perbandingan antara hasil pengukuran dan estimasi volumetric water content dengan model 5 [3 – 5 – 1] JST untuk keempat jenis tanah tersebut ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat bahwa plot data tersebar begitu erat pada garis acuan y=x.

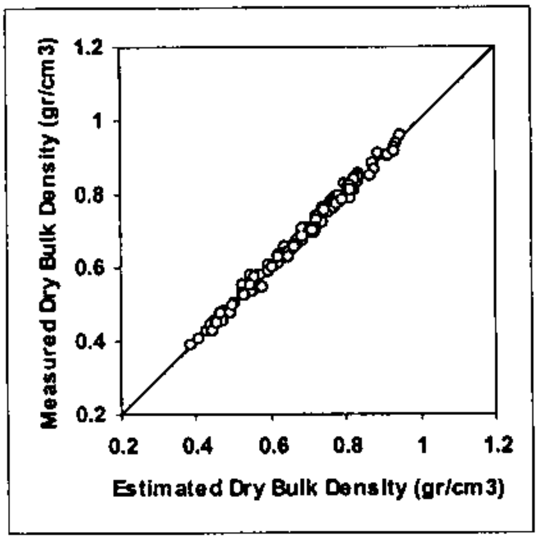
Tabel 2 menunjukkan kemampuan model dalam mengestimasi volumetric water content tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo. Berdasarkan korelasi , RMSE, MAE dan error maksimum model 5 [3 – 5 – 1] JST memberikan hasil yang lebih baik daripada model 2 [2 – 5 – 2] JST, model 3 [1 – 5 – 1] JST dan model 4 [2 – 5 – 1] JST. Hal ini ditunjukkan dengan nilai korelasi yang lebih besar dan RME, MAE dan error maksimum yang lebih kecil untuk keempat jenis tanah tersebut. Model 5 [3 – 5 – 1] JST mempunyai nilai korelasi 0.976~0.986 dan RMSE, MAE dan error maksimum berturut-turut 0.003~0.019 cm$^3$/cm$^3$, 0.006~0.015 cm$^3$/cm$^3$ dan 0.023~0.047 cm$^3$/cm$^3$.

Table 1. Parameter uji keandalan model untuk estimasi dry bulk density tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo

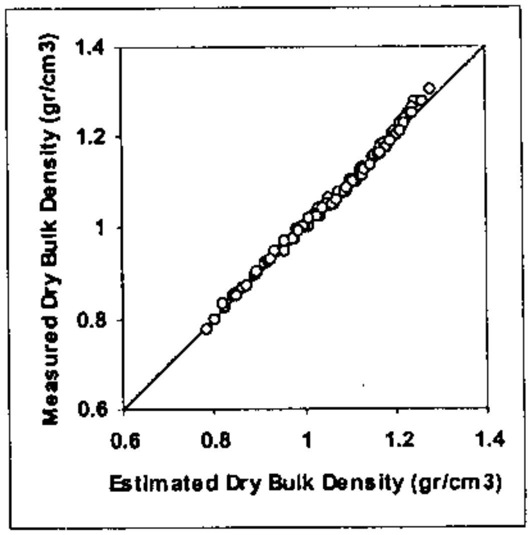
| Model JST | Tanah | Korelasi | RMSE | MAE | Error Max |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ($gr/cm^3$) | ($gr/cm^3$) | ($gr/cm^3$) |
| Model 1 [2 - 5 - 1] JST | TUAT | 0.9961 | 0.0118 | 0.0098 | 0.032 |
| | Fukaya | 0.9973 | 0.0091 | 0.0072 | 0.030 |
| | Cidanau | 0.9945 | 0.0142 | 0.0103 | 0.043 |
| | Leuwikopo | 0.9907 | 0.0170 | 0.0145 | 0.044 |
| Model 2 [2 - 5 - 2] JST | TUAT | 0.9960 | 0.0120 | 0.0099 | 0.031 |
| | Fukaya | 0.9960 | 0.0112 | 0.0088 | 0.039 |
| | Cidanau | 0.9921 | 0.0171 | 0.0125 | 0.055 |
| | Leuwikopo | 0.9877 | 0.0196 | 0.0158 | 0.052 |

Table 2. Parameter uji keandalan model untuk estimasi volumetric water content tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo

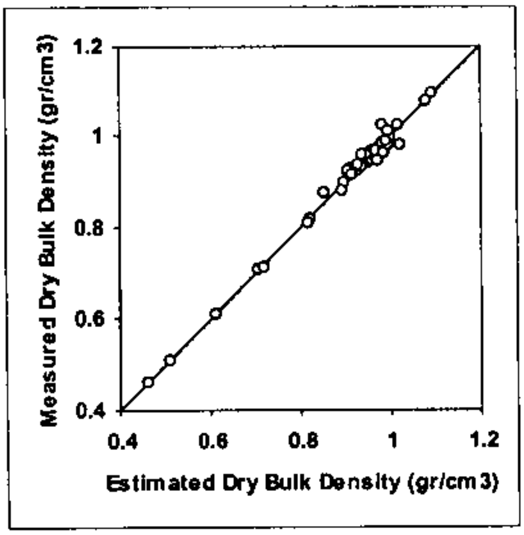
| Model JST | Tanah | Korelasi | RMSE | MAE | Error Max |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ($cm^3/cm^3$) | ($cm^3/cm^3$) | ($cm^3/cm^3$) |
| Model 2 [2 - 5 - 2] JST | TUAT | 0.9736 | 0.0218 | 0.0160 | 0.070 |
| | Fukaya | 0.9832 | 0.0091 | 0.0073 | 0.025 |
| | Cidanau | 0.9578 | 0.0270 | 0.0197 | 0.076 |
| | Leuwikopo | 0.9553 | 0.0259 | 0.0193 | 0.076 |
| Model 3 [1 - 5 - 1] JST | TUAT | 0.9679 | 0.0240 | 0.0175 | 0.083 |
| | Fukaya | 0.9806 | 0.0098 | 0.0081 | 0.023 |
| | Cidanau | 0.9436 | 0.0311 | 0.0237 | 0.090 |
| | Leuwikopo | 0.8750 | 0.0424 | 0.0306 | 0.147 |
| Model 4 [2 - 5 - 1] JST | TUAT | 0.9742 | 0.0215 | 0.0159 | 0.069 |
| | Fukaya | 0.982 | 0.0094 | 0.0076 | 0.024 |
| | Cidanau | 0.9585 | 0.0268 | 0.0194 | 0.076 |
| | Leuwikopo | 0.9575 | 0.0253 | 0.0187 | 0.073 |
| Model 5 [3 - 5 - 1] JST | TUAT | 0.9860 | 0.0160 | 0.0121 | 0.047 |
| | Fukaya | 0.9854 | 0.0085 | 0.0069 | 0.023 |
| | Cidanau | 0.9860 | 0.0157 | 0.0118 | 0.043 |
| | Leuwikopo | 0.9766 | 0.0190 | 0.0155 | 0.044 |



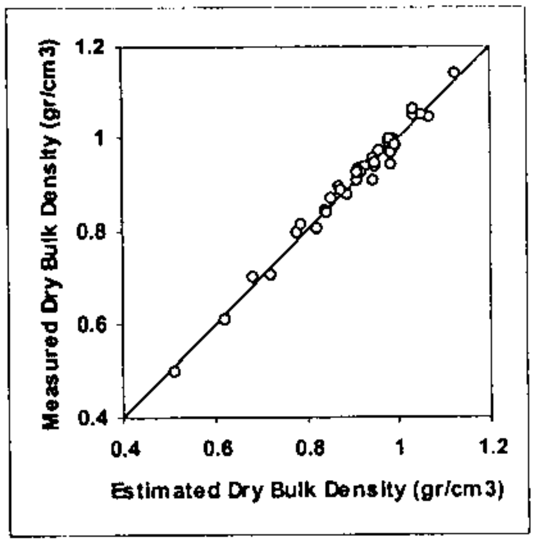

a) Tanah TUAT




b) Tanah Fukaya

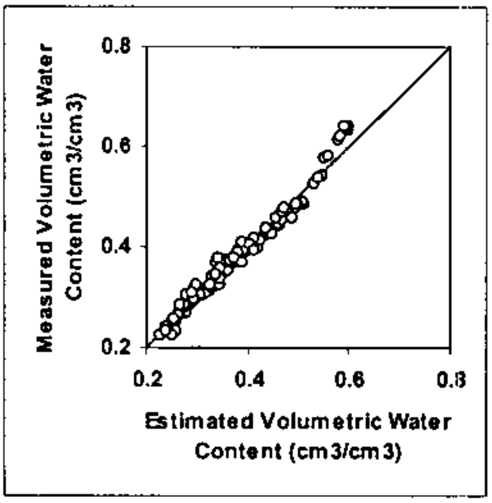



c) Tanah Cidanau

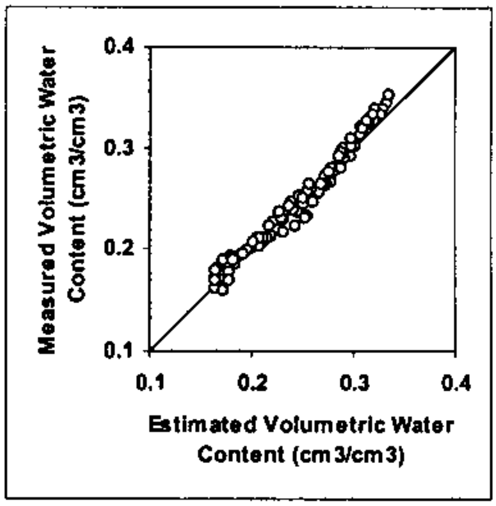



d) Tanah Leuwikopo

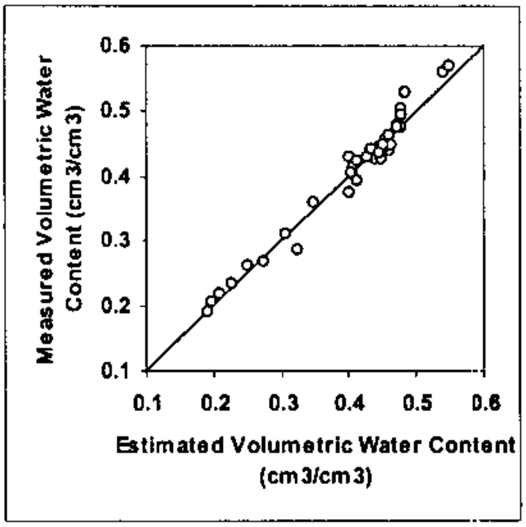
Gambar 1. Perbandingan hasil pengukuran dan estimasi dry bulk density tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo dengan Model 1 [2 – 5 – 1] JST



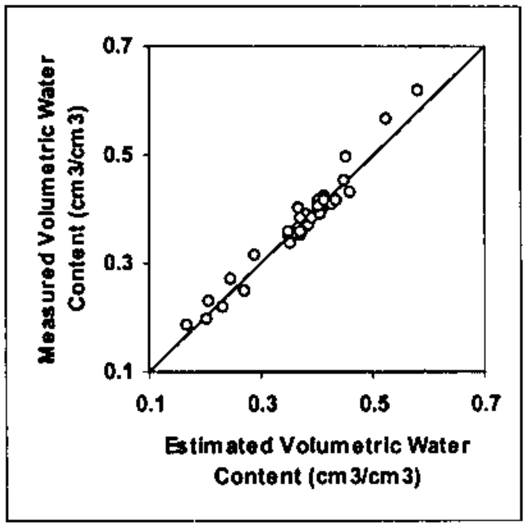

a) Tanah TUAT




b) Tanah Fukaya




c) Tanah Cidanau




d) Tanah Leuwikopo

Gambar 2. Perbandingan hasil pengukuran dan estimasi volumetric water content tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo dengan Model 5 [3 – 5 – 1] JST

## 4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan kelima model yang dikembangkan dapat dengan baik mengestimasi dry bulk density dan volumetric water content baik itu percobaan skala laboratorium (tanah TUAT dan Fukaya) maupun skala lapang (tanah Cidanau dan Leuwikopo). Model 1 [2 – 5 – 1] JST dengan input wet bulk density dan voltage ADR probe memberikan hasil terbaik dalam mengestimasi dry bulk density untuk keempat jenis tanah tersebut. Sedangkan model 5 [3 – 5 – 1] JST dengan input wet bulk density, voltage ADR probe dan dry wet bulk density hasil estimasi model 1 [2 – 5 – 1] JST memberikan hasil terbaik dalam mengestimasi volumetric water content untuk tanah TUAT, Fukaya, Cidanau dan Leuwikopo.

## REFRENSI


[1] Topp, G.C., J.L. Davis and A.P. Annan, Electromagnetic Determination of Water Content : Measurement in Coaxial Transmission Lines, *Water Resour. Res.*, 16, 1980, 574-582.

[2] Robinson, D.A., C.M.K. Gardner and J.D. Cooper, Measurement of Relativity Permittivity in Sandy Soils Using TDR, Capacitance and Theta Probe : Comparison Including The Effect of Bulk Soil Electrical Conductivity, *Journal of Hydrology*. 223, 1999, 198-211.

[3] Miller, J.D. and G.D. Gaskin, Measurement of Soil Water Content Using Simplified Impedance Measuring Technique. *J. Agric. Engng Res*, 63, 1996, 153 – 160.

[4] Hillel, D, *Fundamentals of Soil Physics*, New York. ACADEMIC PRESS, INC., 1980.

[5] Wijaya, K., T. Nishimura And M. Koto, Estimation of Dry Bulk Density of Soil Using Amplitude Domain Reflectometry Probe, *Journal of The Japanese Society of Soil Physics*. 95, 2003, 63 – 74.

[6] Patterson, D. W., *Artificial Neural Networks Theory and Application*, New York, Printice Hall, 1996.