

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN TANAH MELALUI
VARIASI *BULK DENSITY* DAN SUHU BERBASIS JARINGAN SYARAF
TIRUAN**

(Skripsi)

Oleh

RITA LAILASARI



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN TANAH MELALUI VARIASI *BULK DENSITY* DAN SUHU BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN

Oleh

Rita Lailasari

Sebagian besar perhatian yang selama ini dicurahkan dalam pembangunan adalah pengembangan di bidang sektor pertanian. Perubahan wajah pertanian di Indonesia dari pekerjaan yang serba manual kini menjadi lebih mekanis. Peran strategis mekanisasi pertanian memberikan kontribusi untuk menurunkan biaya produksi, meningkatkan hasil dan menurunkan susut hasil, namun implementasi mekanisasi pertanian menyebabkan terjadinya pemadatan tanah. Pemadatan tanah mengakibatkan penurunan nilai kadar lengas pada tanah. Kadar lengas merupakan salah satu faktor penting pada keberhasilan penanaman karena digunakan untuk menentukan waktu irigasi suatu tanaman. Teknologi instrumentasi pengukuran kelengasan tanah saat ini masih memiliki kekurangan sehingga diperlukan penyempurnaan untuk mengatasinya yaitu berupa pengintegrasian model matematika ke dalam mikrokontroler yang diperoleh menggunakan prinsip Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Dengan demikian, nilai hasil pengaplikasian dapat langsung diketahui.

Tujuan umum dari penelitian ini adalah merancang alat ukur kelengasan tanah berdasarkan Jaringan Syaraf Tiruan dengan tiga parameter yaitu, *bulk density*, suhu tanah dan resistensi. Tujuan khusus dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan model matematika pembacaan nilai sensor kelengasan tanah berdasarkan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai Desember 2021 di Laboratorium Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan telah dihasilkan model matematika yang mendapatkan nilai RMSE sebesar 2,3487 dan koefisien determinasi (R^2) 0,960 dengan fungsi aktivasi yang memiliki hasil terbaik ialah *purelin-tansig-tansig*. Alat yang telah di uji menghasilkan nilai error yang kecil yaitu dengan RRMSE sebesar 7,86% dan RMSE 4,3096.

Kata kunci : Lengas tanah, kepadatan tanah, jaringan syaraf tiruan, rancangan alat.

ABSTRACT

DESIGN OF SOIL MOISTURE MEASURING INSTRUMENT THROUGH VARIATIONS IN SOIL DENSITY AND TEMPERATURE BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

By

Rita Lailasari

Most of the attention that has been devoted to development has been in the agricultural sector. The change in the face of agriculture in Indonesia from manual work to now more mechanized. The strategic role of agricultural mechanization contributes to lowering production costs, increasing yields and reducing yield losses, but the implementation of agricultural mechanization causes soil compaction. Soil compaction results in a decrease in the value of the moisture content in the soil. Moisture content is an important factor in the success of planting because it is used to determine the irrigation time of a plant. Current instrumentation technology for measuring soil moisture still has deficiencies, so improvements are needed to overcome them, namely in the form of integrating mathematical models into microcontrollers obtained using the principles of Artificial Neural Networks (ANN). Thus, the value of the application results can be immediately known.

The general objective of this study is to design a soil moisture measuring instrument based on an Artificial Neural Network with three parameters, namely bulk density, soil temperature and resistance. The specific objective of this study is to obtain a mathematical model for reading soil moisture sensor values based on an Artificial Neural Network (ANN). This research was conducted from October to December 2021 at the Water and Land Resources Laboratory, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung.

Based on the research that has been done, a mathematical model has been produced which has an RMSE value of 2.3487 and a coefficient of determination (R^2) 0.960 with the activation function which has the best result is purelin-tansig-tansig. The tool that has been tested produces a small error value with an RRMSE of 7.86% and RMSE of 4.3096.

Keywords : Soil moisture, bulk density, artificial neural networks, tool design.

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN TANAH MELALUI
VARIASI *BULK DENSITY* DAN SUHU BERBASIS JARINGAN SYARAF
TIRUAN**

Oleh
RITA LAILASARI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN ALAT UKUR
KELENGASAN TANAH MELALUI VARIASI
BULK DENSITY DAN SUHU BERBASIS
JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Nama Mahasiswa : **Rita Tailasari**

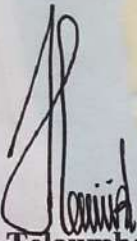
No. Pokok Mahasiswa : 1614071034

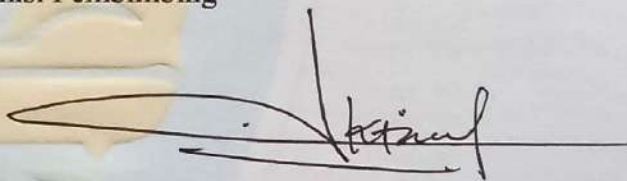
Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian

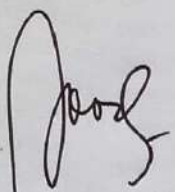


1. Komisi Pembimbing


Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP. 198803252015041001


Ir. Oktafri, M.Si.
NIP. 196410221989031004

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

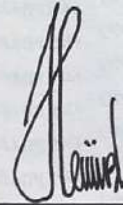

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP. 196210101989021002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

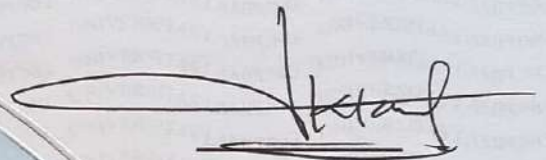
Ketua

: **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**



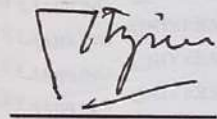
Sekretaris

: **Ir. Oktafri, M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

Dekan

Dekan Bidang Akademik

dan Kerjasama,

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002



Prof. Dr. Ir. Purnomo, M.S.
NIP. 196406131987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 April 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Rita Lailasari** NPM **1614071034**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.** dan 2) **Ir. Oktafri, M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 12 Juni 2023

Yang membuat pernyataan



Rita Lailasari

NPM. 1614071034

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sidomulyo pada tanggal 28 Januari 1998 dari pasangan Bapak Kaderi dan Ibu Mujiem. Penulis adalah anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 03 Margodadi pada tahun 2005-2010, Sekolah Menengah Pertama Negeri 01 Way Lima pada tahun 2010-2013, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 01 Gadingrejo pada tahun 2013-2016. Penulis diterima sebagai mahasiswi di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis ikut serta di lembaga kemahasiswaan sebagai anggota Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2017/2018. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Januari-Februari tahun 2019 selama 40 hari di Desa Tangkas, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan. Penulis melaksanakan Praktik Umum pada bulan Juli-Agustus tahun 2019 selama 40 hari di PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Kebun Gedeh Cianjur, Jawa Barat dengan judul laporan “Identifikasi Pengolahan, Pemeliharaan, dan Budidaya Tanaman Teh di PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Kebun Gedeh Cianjur, Jawa Barat.

Permata tidak bisa berkilau tanpa gesekan.
Begitu juga manusia, tidak ada manusia yang
luar biasa tanpa cobaan.

*"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka
apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah
bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada
Tuhanmulah engkau berharap."*

(QS. Al-Insyirah: 6-8)

*Percayalah pada dirimu sendiri dan ketahuilah bahwa ada
sesuatu di dalam dirimu yang lebih besar daripada rintangan
apapun.*

(Christian D. Larson)

Karya ini ku persembahkan untuk

Ayahku Kaderi

Ibuku Mujiem

Kakakku Fitriyani

Adikku Cahaya Safira Maharani

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Rancang Bangun Alat Ukur Kelengasan Tanah Melalui Variasi *Bulk Density* dan Suhu Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan”**.

Selama proses penyelesaian skripsi ini banyak pihak yang memberikan motivasi, bantuan, bimbingan,serta dukungan moril dan materil. Untuk itu penulis mengucapkan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc. selaku Pembimbing Pertama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan masukan, motivasi dan bimbingan.
4. Bapak Ir. Oktafri, M.Si selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran dan bimbingan.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. selaku Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibuku tercinta Mujiem dan Bapakku tersayang Kaderi sebagai orang paling berarti yang tak pernah henti memberikan dukungan, do'a dan semangat.
7. Mbahku Syawal dan Sutiyem, kakakku Fitriyani dan Mas Zainal Arifin yang telah memberikan do'a, motivasi serta dukungan.

8. Adikku Cahaya Safira Maharani, Queensha Nadhira Fiza dan Viola Mutiara Fiza yang telah memberikan semangat.
9. Keluarga Adhirajasa Gadjahsora Teknik Pertanian 2016.
10. Teman-teman seperjuangan Sri Puji Astuti, Riskanatul Umaiyyah, Ahmad Fitni dan Mas Agung Sadewa atas segala canda tawa, bantuan, semangat serta motivasinya.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk kesempurnaan tulisan-tulisan selanjutnya.

Penulis

Rita Lailasari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL	xi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah	5
2.2 Klasifikasi Tanah	6
2.2.1 Tanah Ultisol	7
2.2.2 Tanah Podsolik Merah Kuning	9
2.3 Kelengasan Tanah	10
2.4 <i>Bulk Density</i> (Kepadatan Tanah)	11
2.5 Suhu Tanah	12
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan	13
2.6.1 Pengertian Jaringan Syaraf Tiruan	13
2.6.2 Fungsi Aktivasi.....	15
2.6.3 Normalisasi dan Denormalisasi.....	15
2.7 Penelitian Pendukung	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat dan Bahan	20

3.2.1	Alat Penelitian	20
3.2.2	Bahan Penelitian	20
3.3	Kriteria Desain	21
3.4	Prosedur Penelitian	23
3.5	Rancangan Pengambilan Data	25
3.5.1	Perlakuan Tanah	25
3.5.2	Pengambilan Data	27
3.6	Pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan	30
3.6.1	Pembuatan Model Jaringan Syaraf Tiruan	30
3.6.2	Pembuatan Model Matematika	35
3.7	Rancangan Struktural	37
3.8	Rancangan Fungsional	41
3.9	Analisis Data	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Nilai Kelengasan Pada Sampel Tanah	45
4.2	Kriteria <i>Probe</i> Kelengasan Tanah	46
4.3	Hubungan Antara Nilai Kelengasan Tanah dengan Nilai Resistensi dan Suhu Tanah pada Beberapa Variasi <i>Bulk Density</i>	47
4.3.1	Hubungan Antara Nilai Resistensi Tanah dengan Variasi <i>Bulk Density</i>	50
4.3.2	4.3.2 Hubungan Antara Nilai Resistensi Tanah dengan Variasi Suhu	50
4.4	Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan	51
4.4.1	Pelatihan Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	51
4.4.2	Pengujian Model Jaringan Syaraf Tiruan	56
4.4.3	Model Jaringan Syaraf Tiruan dengan Kriteria $R^2 > 0,90$ dan $RMSE < 5\%$	58
4.4.4	Persamaan Matematika dari Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan	59
4.5	Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan pada Beberapa Variasi <i>Bulk Density</i> dan Suhu Tanah	64
4.6	Integrasi Model Jaringan Syaraf Tiruan	72
4.7	Hasil Rancangan Alat Ukur Kelengasan Tanah	72
4.8	Validasi Rancangan Alat Ukur Kelengasan Tanah	74
V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	78

5.2 Saran 79

DAFTAR PUSTAKA.

LAMPIRAN.

DAFTAR TABEL

Tabel	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Sistem klasifikasi tanah	7
2.	Sifat-sifat tanah ultisol	8
3.	Penelitian pendukung	16
4.	Kriteria Kelayakan Alat	21
5.	Rancangan data pengukuran	29
6.	Fungsi aktivasi	34
7.	Spesifikasi multimeter analog type YX-360TR _N	38
8.	Nilai persen kadar air tanah ultisol podsolik merah kuning	45
9.	Hasil pelatihan model jaringan syaraf tiruan dengan variasi fungsi aktivasi ..	55
10.	Hasil pengujian model jaringan syaraf tiruan dengan variasi fungsi aktivasi .	57
11.	Model jaringan syaraf tiruan dengan kriteria $R^2 > 0,90$ dan $RMSE < 5\%$	59
12.	Data suhu tanah dan nilai resistensi pada variasi <i>bulk density</i> gembur serta nilai kadar lengas dari laju penurunan bobot.....	87
13.	Data suhu tanah dan nilai resistensi pada variasi <i>bulk density</i> sedang serta kadar lengas dari laju penurunan bobot.....	90
14.	Data suhu tanah dan nilai resistensi pada variasi <i>bulk density</i> padat serta kadar lengas dari laju penurunan bobot	93
15.	Kisaran Nilai Kadar Air Gravimetrik (% berat) Tanah (Rowell, 1937)	96
16.	Nilai validasi alat dengan nilai aktual	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar	<u>Teks</u>	Halaman
1.	Peta sebaran tanah ultisol	8
2.	Skema dasar <i>neural networks</i>	14
3.	Diagram alir pemrograman.....	22
4.	Diagram alir prosedur penelitian.....	24
5.	Diagram alir proses pengambilan data	28
6.	Arsitektur jaringan syaraf tiruan	31
7.	Diagram alir proses pengembangan model pada JST	33
8.	Model matematis jaringan syaraf tiruan	35
9.	Desain alat ukur kelengasan tanah	37
10.	Multimeter analog tipe YX-360TR _N	39
11.	<i>Probe</i> kelengasan tanah.....	40
12.	Termometer digital.....	40
13.	Alat <i>shop press</i>	41
14.	Potensiometer	42
15.	Resistor.....	42
16.	Mikrokontroler jenis Arduino Uno	43
17.	<i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	43
18.	Desain <i>probe</i> kelengasan tanah.....	46
19.	Gambar asli <i>probe</i> kelengasan tanah.....	47
20.	Hubungan antara nilai kelengasan tanah dengan nilai resistensi variasi <i>bulk density</i> gembur pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C	48
21.	Hubungan antara nilai kelengasan tanah dengan nilai resistensi variasi <i>bulk density</i> sedang pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C	48
22.	Hubungan antara nilai kelengasan tanah dengan nilai resistensi variasi <i>bulk density</i> padat pada suhu 20°C, 24°C, dan 28°C.....	49

23. Hubungan antara nilai resistensi tanah pada variasi <i>bulk density</i> gembur, sedang, padat	50
24. Hubungan nilai resistensi tanah pada variasi suhu 20°C, 24°C dan 28°C	50
25. Tampilan layar running pelatihan JST pada MATLAB.....	52
26. Grafik nilai performa dari pelatihan JST	53
27. Grafik perbandingan nilai observasi dan nilai prediksi pada pelatihan JST ...	53
28. Grafik pelatihan model JST	56
29. Grafik pengujian model JST.....	58
30. Grafik pengembangan JST pada variasi <i>bulk density</i> gembur	65
31. Grafik pengembangan JST pada variasi <i>bulk density</i> sedang	65
32. Grafik pengembangan JST pada variasi <i>bulk density</i> padat.....	66
33. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 20°C variasi <i>bulk density</i> gembur	67
34. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 24°C variasi <i>bulk density</i> gembur	67
35. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 28°C variasi <i>bulk density</i> gembur	68
36. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 20°C variasi <i>bulk density</i> sedang	68
37. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 24°C variasi <i>bulk density</i> sedang	69
38. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 28°C variasi <i>bulk density</i> sedang	69
39. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 20°C variasi <i>bulk density</i> padat.....	70
40. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 24°C variasi <i>bulk density</i> padat.....	70
41. Grafik pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan pada suhu tanah 28°C variasi <i>bulk density</i> padat.....	71
42. Tampilan arduino yang telah di <i>upload</i>	72
43. Alat ukur kelengasan tanah	73
44. Rancangan alat ukur kelengasan tanah.....	73

45. Komponen alat ukur kelengasan tanah.....	74
46. Proses validasi pada alat.....	75
47. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat dengan nilai gravimetrik ($\pm 5\%$ error)	76
(lampiran)	
48. Proses kering udara tanah podsolik merah kuning	101
49. Pengayakan tanah dengan ayakan 5 mm.....	101
50. Tanah podsolik merah kuning untuk variasi <i>bulk density</i> gembur, sedang, dan padat	102
51. Proses penurunan suhu tanah menjadi 20°C	102
52. Pengambilan nilai resistensi tanah	103
53. Pengambilan nilai resistensi tanah untuk pengujian	103
54. Penimbangan sampel tanah	104
55. Proses pengovenan sampel tanah.....	104
56. Tampilan bentuk dari alat ukur kelengasan tanah.....	105
57. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat dengan nilai gravimetrik (%) pada variasi <i>bulk density</i> gembur	106
58. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat dengan nilai gravimetrik (%) pada variasi <i>bulk density</i> sedang	106
59. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat dengan nilai gravimetrik (%) pada variasi <i>bulk density</i> padat	107
60. Penginputan data latih	108
61. Penginputan data uji	108
62. Penginputan data uji pada notepad	109
63. Penginputan nilai <i>output</i> pada nilai observasi pada hasil latih.....	109
64. Penginputan nilai <i>output</i> pada nilai observasi pada hasil uji.....	110
65. Tampilan awal pada aplikasi MATLAB	110
66. Tampilan layar file pelatihan dan pengujian	111
67. Tampilan layar pelatihan pada aplikasi MATLAB.....	111
68. Tampilan proses <i>running</i> pelatihan pada aplikasi MATLAB	112
69. Grafik hasil pelatihan	112
70. Tampilan layar pengujian pada aplikasi MATLAB.....	113

71. Hasil prediksi pada proses pelatihan	113
72. Hasil prediksi pada proses pengujian	114
73. Tampilan file untuk bobot dan bias.....	114
74. Skematik rangkaian alat ukur kelengasan tanah	115

DAFTAR SIMBOL

Fc	: kadar air kapasitas lapang
KAm	: kadar air tanah massa
BB	: berat basah
BK	: berat kering
BD	: <i>Bulk density</i>
α	: <i>learning rate</i>
σ	: <i>threshold</i>
exp	: eksponen
R ²	: koefisien determinasi
RMSE	: <i>Root Mean Square Error</i>
%	: persen
N	: jumlah data
Σx	: jumlah data x
Σy	: jumlah data y

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah adalah bagian atas kerak bumi yang telah mengalami pelapukan atau lebih luas dimana berbagai organisme dapat hidup baik di atasnya maupun di dalamnya. Tanah mempunyai peranan penting bagi manusia yaitu sebagai pondasi utama dari semua kegiatan yang dilakukan oleh manusia, sedangkan bagi tanaman tanah berperan penting sebagai media tumbuhnya tanaman. Tanah memiliki tiga sifat yaitu, sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi tanah. Interaksi dari ketiga komponen sifat tersebut dinamakan dengan kualitas tanah. Sebagian besar perhatian yang selama ini dicurahkan dalam pembangunan adalah pengembangan di bidang sektor pertanian, dimana selain indikator sifat-sifat tanah, faktor jenis tanah, jenis penggunaan lahan, dan topografi, merupakan prioritas utama dalam penilaian kualitas tanah. Tanah yang berkualitas baik akan menjamin keberlanjutan fungsi tanah, baik fungsi produksi maupun fungsi ekologi.

Salah satu tanah yang memiliki sebaran yang luas di alam adalah tanah ultisol. Ultisol mempunyai sebaran yang sangat luas, meliputi 25% dari total daratan Indonesia (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Dari 51.000.000 ha ultisol yang ada di Indonesia, sebagian besar diantaranya ditumbuhi oleh hutan tropika basah, semak belukar dan hamparan padang alang-alang terlantar. Sebagian kecil saja yang sudah dijadikan lahan-lahan produktif. Selebihnya dijadikan sasaran bukaan lahan transmigrasi dan perluasan tanaman perkebunan (Munir, 1996). Tanah ultisol memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian apabila diiringi dengan pengolahan tanah secara intensif, seperti pemberdayaan organisme tanah serta diikuti dengan pemberian bahan organik dan pupuk.

Pengolahan tanah secara intensif dalam pembangunan pertanian tidak lepas dari peran strategis mekanisasi pertanian. Perubahan wajah pertanian di Indonesia dari pekerjaan yang serba manual kini menjadi lebih mekanis. Mekanisasi memberikan kontribusi untuk menurunkan biaya produksi, meningkatkan hasil dan menurunkan susut hasil, tetapi tanpa disadari dalam jangka panjang pengaplikasian mekanisasi dapat menyebabkan terjadinya pemadatan tanah. Pemadatan tanah adalah penyusunan partikel-partikel padatan di dalam tanah karena adanya gaya tekan pada permukaan tanah sehingga ruang pori tanah berkurang. Kondisi tersebut akan mengganggu proses pertumbuhan tanaman karena jika ruang pori tanah berkurang maka mengakibatkan penurunan nilai kadar lengas tanah.

Kadar lengas adalah banyaknya kandungan air dan bahan-bahan terlarut di dalam tanah, sedangkan lengas tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang berperan dalam menjaga kelembaban tanah. Kelembaban tanah dipengaruhi oleh ketersediaan air. Ketersediaan air yang akan digunakan pada lahan pertanian akan semakin langka pada saat musim kemarau, sedangkan pemberian air pada lahan pertanian tidak boleh kurang atau lebih agar diperoleh hasil pertanian yang maksimal. Kadar lengas merupakan salah satu faktor penting pada keberhasilan penanaman karena digunakan untuk menentukan waktu irigasi suatu tanaman, kecukupan pembasahan tanah, kedalaman pembasahan tanah dan kedalaman pertumbuhan akar tanaman, serta kadar lengas tanah juga dapat memudahkan dalam mengetahui jenis-jenis tanah yang ada di alam.

Perhitungan kadar lengas dapat dilakukan pada keadaan tanah lapang, jenuh dan kering. Metode pengukuran kadar air tanah diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung biasa disebut dengan metode gravimetrik. Metode gravimetrik dilakukan melalui proses isolasi suatu sampel tanah dan pengukuran berat sampel tanah tersebut. Penentuan kadar air tanah dengan metode ini meliputi proses transformasi bentuk atau senyawa murni menjadi bentuk yang dapat ditimbang teliti (Suhardi, 1997). Penetapan kadar air tanah secara tidak langsung dilakukan dengan mengevaluasi perubahan sifat-sifat bahan yang berkorelasi dengan keberadaan air di dalam

tanah dan juga bisa menggunakan teknologi pengukuran dan instrumentasi di bidang pertanian. Teknologi tersebut yaitu dengan penggunaan sensor kelengasan tanah. Sensor kelengasan tanah mengukur kadar air volumetrik secara tidak langsung dengan menggunakan beberapa properti lain dari tanah seperti hambatan listrik.

Menurut Hermawan (2000), yang telah melakukan penelitian mengenai pengukuran sifat-sifat dielektrik menunjukkan bahwa kepadatan tanah berpengaruh terhadap air tanah yang cenderung meningkat, sebaliknya udara di dalam pori cenderung menghambat laju konduktivitas listrik di dalam tanah. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi udara. Semakin tinggi suhu maka kondisi tanah akan semakin kering dan sebaliknya. Kepadatan tanah yang berbeda memiliki kapasitas simpanan tanah yang berbeda pula. Maka dari itu, penelitian ini akan merancang alat yang dapat mengintegrasikan kelengasan tanah melalui variasi *bulk density* atau kepadatan tanah dan suhu tanpa perlu adanya pengkalibrasian, mengingat alat ukur berupa sensor kelengasan tanah yang digunakan oleh petani saat ini masih memiliki kekurangan yaitu perlu adanya pengkalibrasian sebelum penggunaan sensor di lapangan. Penggunaan jaringan syaraf tiruan dimaksudkan untuk menghasilkan nilai yang presisi dan mudah digunakan. Model matematika yang telah didapat akan diinput ke dalam mikrokontroler sehingga pada saat pengaplikasian alat ukur kelengasan tanah petani hanya memerlukan *probe* dan rangkaian mikrokontroler yang berisi model matematika yang telah dibuat untuk mengukur kelengasan tanah tanpa kalibrasi.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Apakah variasi *bulk density* dan suhu mampu mempengaruhi nilai kadar lengas pada tanah?
2. Bagaimana penggunaan jaringan syaraf tiruan dan mikrokontroler dalam mengetahui nilai kadar lengas pada tanah?

3. Bagaimana mengetahui model matematika pembacaan nilai ukur kelengasan tanah berdasarkan jaringan syaraf tiruan?
4. Bagaimana kinerja alat ukur kelengasan tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan nilai ukur kelengasan tanah melalui variasi *bulk density* dan suhu yang berbeda dari jenis tanah ultisol Podsolik Merah Kuning.
2. Mendapatkan model matematika pembacaan nilai ukur kelengasan tanah berdasarkan jaringan syaraf tiruan dari jenis tanah ultisol Podsolik Merah Kuning.
3. Mendapatkan uji kinerja alat ukur kelengasan tanah berupa RMSE dan analisis determinasi dari jenis tanah ultisol Podsolik Merah Kuning.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai cara pengukuran kadar lengas pada tanah dengan berbasis teknologi modern, sehingga masalah seperti kegagalan dalam proses penanaman akibat tidak mengetahui nilai kadar lengas pada tanah yang dijadikan sebagai acuan untuk mencocokkan jenis tanaman yang akan ditanami dapat teratasi.
2. Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai salah satu sumber referensi ilmiah bagi jurusan Teknik Pertanian.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Tanah yang digunakan adalah tanah ultisol jenis Podsolik Merah Kuning.
2. Percobaan yang dilakukan pada skala laboratorium.
3. Parameter pengukuran yang digunakan hanya *bulk density* dan suhu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian padat yang tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik), rongga-rongga di antara bagian-bagian tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Menurut Madison (1975), tanah merupakan bahan mineral yang terkonsolidasi pada permukaan bumi yang terkena dan terpengaruhi faktor-faktor genetik dan lingkungan dari bahan induk, iklim, mikroorganisme dan makroorganisme, serta topografi yang semuanya bertindak selama suatu periode waktu dan menghasilkan produk tanah yang berbeda.

Kata “tanah” merujuk ke material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air, dan gas yang bervariasi (Panduan Geoteknik 1, 2001 dalam Soraya Putri Zainanda). Tanah adalah akumulasi mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991). Ikatan antara butiran yang relatif lemah tersebut dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, H.C., 1992).

Tanah didefinisikan oleh Das (1995) sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak tersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Menurut Bowles (1989) dalam Fauizek dkk (2018), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampa halus (kurang dari 1 mm).
- d. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Rodriqueze (2004) menyimpulkan bahwa tanah adalah produk transformasi mineral dan bahan organik yang terletak di permukaan sampai kedalaman tertentu. Dalam bidang pertanian, tanah diartikan lebih khusus yaitu sebagai media tumbuhnya tanaman. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan bercampur dengan sisa-sisa bahan organik dari organisme yang hidup di atasnya ataupun di dalamnya. Terdapat dua variabel yang membedakan pengertian tanah di bidang pertanian dengan bidang lainnya, yaitu ukuran partikel dan kedalaman tanah.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sifat-sifat yang terkandung di dalam tanah dapat dikuantifikasikan, sehingga tanah juga dapat diklasifikasikan atas dasar sifat-sifat tersebut. Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat dan karakteristiknya. Klasifikasi mencerminkan sejauh mana

pengetahuan manusia terhadap benda yang diklasifikasikannya, termasuk juga tanah. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar, seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles,1989 dalam Adha 2014).

Tabel 1. Sistem klasifikasi tanah

No.	Sistem Dudol- Soeprtohardjo (1957-1961)	Modifikasi 1978/1982 (PPT)	FAO/UNES CO (1974)	USDA Soil Taxonomy (1975-1990)
1.	Tanah Aluvial	Fluvisol	Fluvisol	- Entisol - Inceptisol
2.	Andosol	Andosol	Andosol	Andisol
3.	Brown Forest Soil	Kambisol	Cambisol	Inceptisol
4.	Grumusol	Grumusol	Vertisol	Vertisol
5.	Latosol	- Kambisol - Latosol - Lateritik	- Cambisol - Nitosol - Ferralsol	- Inceptisol - Ultisol - Oxisol
6.	Litosol	Litosol	Litosol	Entisol (lithic Subgrup)
7.	Mediteran	Mediteran	Luvisol	Alfisol/Inceptisol
8.	Organosol	Organosol	Histosol	Histosol
9.	Podsol	Podsol	Podsol	Spodosol
10.	Podsolik Merah Kuning	Podsolik	Acrisol	Ultisol
11.	Podsolik Coklat Kelabu	Podsolik	Acrisol	Ultisol
12.	Regosol	Regosol	Regosol	Entisol/Inceptisol
13.	Renzina	Renzina	Renzina	Rendoll

Tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah ultisol jenis podsolik merah kuning. Uraian tanah yang digunakan sebagai berikut :

2.2.1 Tanah Ultisol

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang mempunyai sebaran luas mencapai 45.794.000 ha atau sekitar 25% dari total luas daratan di Indonesia. Sebaran terluas terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha), diikuti di Sumatera

(9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Tanah ini dapat dijumpai pada berbagai relief, mulai dari datar hingga bergunung (Prasetyo dan Suriadikarta 2006).



Gambar 1. Peta sebaran tanah ultisol di Indonesia

Ultisol merupakan tanah yang mengalami perkembangan profil dengan batas horizon yang jelas. Pada umumnya ultisol berwarna kuning kecoklatan hingga merah. Mengenai konsistensi tanah, ultisol memiliki konsistensi dimana semakin kebawah semakin teguh dan agregat berselaput liat (Soepardi, 1983). Tanah ultisol memiliki kemasaman tanah yang tergolong tinggi (pH 3.5 - 5.5), kandungan bahan organik kurang dari 2%, jenis liat dominan adalah kaolinit dan gibsit, kapasitas tukar kation (KTK) rendah sampai tinggi bergantung pada tekstur dan mineral liat (Soepraptohardjo, 1961). Tekstur ultisol bervariasi dan dipengaruhi oleh bahan induk tanah.

Tabel 2. Sifat-sifat tanah ultisol

Horizon	Kedalaman (cm)	Liat (%)	BO	KTK	Basa dapat ditukar (me/100gr)	Kejenuhan Basa (%)
A	0-2	9	5,2	14	4,1	29
E	2-8	8	1,8	6	0,9	15
Eb	8-19	8	1,2	4	0,4	9
Bt ₁	19-30	17	0,4	5	0,4	8
Bt _{2,3}	30-81	35	0,3	10	0,8	8
2C	21-119	48	0,1	13	0,8	6

Sumber : (Munir, 1996)

Tabel 2 merupakan sifat-sifat tanah ultisol. Menurut *soil taxonomy (soil survey staff, 2010)* ultisol merupakan tanah yang mempunyai tingkat perkembangan yang cukup lanjut, dicirikan oleh penampang tanah yang dalam, peningkatan fraksi lempung seiring dengan kedalaman tanah. Menurut sistem klasifikasi tanah oleh FAO, ultisol mencakup sebagian tanah podsolik, terutama tanah podsolik merah kuning (Munir, 1996).

2.2.2 Tanah Podsolik Merah Kuning

Pada klasifikasi lama menurut Soeprahardjo (1961), ultisol diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kuning (PMK). Menurut Badan Pusat Statistik (2012), di pulau Sumatera terdapat sekitar 21.000.000 ha tanah jenis podsolik merah kuning yang merupakan 47% kawasan dari daratan Sumatera sedangkan Provinsi Riau memiliki lahan podsolik merah kuning seluas 2.630.713,27 ha dan diikuti dengan Provinsi Sumatera Utara seluas 1.524.414 ha. Tanah podsolik merah kuning dijumpai pada ketinggian antara 50-350 meter dengan curah hujan antara 2500-3500 mm/tahun. Sebaran dominan di Indonesia antara lain di pulau Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, dan Papua (Soeprahardjo, 1961).

Tanah podsolik merah kuning adalah tanah yang mempunyai perkembangan profil, konsistensi teguh, bereaksi masam, dengan tingkat kejenuhan basa rendah. Di Indonesia umumnya tanah podsolik merah kuning berkembang dari bahan induk tua dan banyak ditemukan di daerah dengan bahan induk batuan liat (Hardjowigeno, 1993). Tanah podsolik merah kuning tergolong ke dalam tanah mineral yang memiliki kandungan bahan organik kurang dari 20% atau tanah yang mempunyai lapisan organik dengan ketebalan kurang dari 30 cm (Sutedjo, 2002). Podsolik merah kuning merupakan tanah sangat tercuci yang berwarna abu-abu muda sampai kekuningan pada horizon permukaan, sedang lapisan bawah berwarna merah atau kuning dengan kadar bahan organik dan tanah mempunyai bahan induk batu endapan bersilikia, napal, batu pasir, dan batu liat.

Tanah podsolik merah kuning merupakan bagian terluas dari lahan kering di Indonesia yang belum dipergunakan untuk lahan pertanian. Besarnya luas geografi pada tanah ultisol seperti tanah podsolik merah kuning mempunyai arti yang sangat penting bagi pembangunan pertanian Indonesia. Terbatasnya lahan subur sebagai lahan pertanian menyebabkan dimanfaatkannya tanah kurang subur seperti tanah podsolik merah kuning. Beberapa kendala bagi budidaya tanaman pada tanah podsolik merah kuning dicirikan sebagai berikut :

1. Kadar bahan organik rendah.
2. Peka terhadap erosi.
3. Kandungan Al, Fe, dan Mn tinggi.
4. pH tanah rendah.
5. Infiltrasi dan perkolasi rendah.
6. Ketersediaan unsur hara bagi tanaman rendah.

Pengembangan pada lahan podsolik merah kuning memberikan harapan yang menjanjikan apabila diimbangi dengan penambahan jumlah bahan organik sebagai bentuk upaya perbaikan sifat kimia pada tanah tersebut.

2.3 Kelengasan Tanah

Lengas tanah dapat diartikan sebagai uap air yang terdapat pada pori-pori tanah. Kadar air merupakan jumlah air yang terkandung di dalam suatu benda, seperti tanah (disebut juga kelengasan tanah), bebatuan, bahan pertanian, dan sebagainya. Kelengasan tanah (*soil moisture*) adalah kadar air yang berada diantara partikel-partikel tanah. Nilai kadar air tanah dapat secara volumetrik, gravimetrik (massa), basis basah maupun basis kering. Lengas tanah juga memiliki tegangan yang menentukan seberapa banyak air yang dapat diserap oleh tumbuhan (Nocita, 2012). Kadar lengas tanah digunakan untuk menentukan jadwal pengairan pada lahan sawah atau irigasi. Penentuan kelengasan tanah dapat menggunakan perhitungan evapotranspirasi dan presipitasi pada tanah. Pengukuran juga dapat dilakukan dengan mengetahui suhu tanah sehingga kadar lengas dapat diketahui melalui besarnya suhu, tekstur, struktur, dan besar kecilnya pori tanah. Kadar

lengas sendiri merupakan kadar kelembaban atau air yang terkandung di dalam tanah atau di antara pori tanah itu sendiri (Arif, 2012).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kelengasan tanah yaitu tekstur tanah, struktur tanah, dan porositas tanah. Tekstur tanah menentukan bentuk dari tanah tersebut apakah berpasir, berlempung atau berdebu. Struktur tanah yaitu ruang pori total atau ruang kosong yang terdapat dalam tanah. Tanah yang poreus berarti tanah-tanah yang mempunyai pori tanah yang cukup untuk pergerakan udara dan air di dalam tanah (Hanafiah, 2012).

Kadar lengas tanah berpengaruh terhadap berat kering tanaman dan pada saat panen. Kadar lengas tanah yang semakin rendah dapat menyebabkan penurunan berat kering tanaman saat panen (Permanasari dan Sulistyarningsih, 2013).

Kandungan uap air dalam tanah sangat penting, karena tanah akan terbentuk apabila dalam tanah tersebut terdapat lempung, koloid organik, garam terlarut yang terakumulasi larut di dalam air. Jumlah air yang terdapat di dalam tanah terikat oleh gaya matriks, gaya osmotik dan gaya kapiler.

Untuk mengukur kadar air tanah massa (KAm), berikut rumus yang dipakai :

$$KAm = \frac{BB-BK}{BK} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

2.4 Bulk Density (Kepadatan Tanah)

Bobot isi tanah (*bulk density*) adalah massa tanah kering yang mengisi ruangan di dalam lapisan tanah. Bobot isi tanah dengan demikian merupakan massa per satuan tanah kering. Volume tersebut dalam hal ini mewakili ruangan dalam tanah yang terisi butir-butir tanah. Dalam hal ini, massa dari berat tanah ditunjukkan dalam unit satuan gram, sementara volume air yang terkandung dalam tanah ditunjukkan dalam unit satuan cm³ (Asdak, 2007).

Unit volume terdiri dari volume yang mencakup bahan padat dan ruang pori yang terdapat diantara partikel-partikel tanah. *Bulk density* merupakan petunjuk kepadatan tanah. Semakin padat suatu tanah maka semakin tinggi *bulk density*,

yang berarti makin sulit untuk meneruskan air atau ditembus akar tanaman. *Bulk density* dipengaruhi oleh padatan tanah, pori-pori tanah, struktur, tekstur, ketersediaan bahan organik, serta pengolahan tanah sehingga dapat dengan cepat berubah akibat pengolahan tanah dan praktek budidaya (Hardjowigeno, 2003). Indikasi tersebut apabila dihubungkan dengan sifat-sifat dielektrik maka akan meningkatkan nilai impedensi listrik dengan semakin rendahnya kadar air tanah. Untuk menemukan *bulk density* (BD) yang saling berkaitan dengan jumlah kadar air di dalam tanah, yaitu :

$$KAm = \frac{BB - BK}{BK} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$BB - BK = KAm \times BK \dots\dots\dots(2.3)$$

$$KAm \times BK = BB \dots\dots\dots(2.4)$$

$$BK (KAm + 1) = BB \dots\dots\dots(2.5)$$

$$BK = \frac{BB}{KAm + 1} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$BD = \frac{BK}{Vol.} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk menentukan kadar air volume awal menggunakan rumus sebagai berikut :

$$KAV_{awal} = BD \times KAm_{oven} \dots\dots\dots(2.8)$$

Sedangkan untuk menentukan volume air awal ialah :

$$KAV_{awal} = \frac{Vol.air.awal}{Vol.Tbh} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Vol. Air awal = KAm_{awal} \times Vol. Tbh \dots\dots\dots (2.10)$$

Bobot isi tanah merupakan perbandingan antara berat tanah kering dengan volume tanah termasuk volume pori-pori tanah tersebut dalam satu unit volume pada keadaan utuh.

2.5 Suhu Tanah

Suhu tanah merupakan salah satu faktor tumbuh tanaman yang penting sebagaimana halnya air, udara, dan unsur hara. Proses kehidupan biji, akar tanaman dan mikroba tanah secara langsung dipengaruhi oleh suhu tanah

(Hanafiah, Kemas Ali, 2005). Berikut merupakan peran penting dari suhu tanah yaitu :

1. Suhu tanah mempengaruhi aktivitas biologi tanah, tidak optimal apabila suhu tertentu tidak dapat dipertahankan. Tingkat aktivitas optimum dari organisme tanah adalah suhu 18 - 30°C, kurang dari 10°C dapat menghambat perkembangan mikroba tanah dan menghambat penyerapan hara oleh akar tanaman, apabila lebih dari 40°C mikroba tanah menjadi tidak aktif kecuali mikroorganisme tertentu (termofilik).
2. Suhu tanah menentukan reaksi kimia dan aktivitas mikroorganisme yang dapat merombak senyawa tertentu menjadi hara tersedia.
3. Suhu tanah mempengaruhi pelapukan bahan induk tanah
4. Suhu tanah mempengaruhi perkembangan akar, karena ada hubungannya dengan kelengasan dan aerasi tanah.
5. Suhu tanah mempengaruhi perkecambahan biji dan pertumbuhan kecambah.

Adapun pengukuran dari suhu tanah biasanya dilakukan pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, dan 100 cm. Faktor pengaruh suhu tanah yaitu faktor luar dan faktor dalam, yang dimaksud dengan faktor luar yaitu radiasi matahari, awan, curah hujan, angin, kelembaban udara. Faktor dalamnya yaitu faktor tanah, struktur tanah, kadar air tanah, kandungan bahan organik, dan warna tanah (Kartasapoetra, 2005). Suhu tanah dapat dikendalikan melalui beberapa cara diantaranya dengan penambahan atau pengurangan air lebih dari tanah yang akan membantu mengubah temperatur tanah, menutupi tanah dengan tanaman dan pemulsaan.

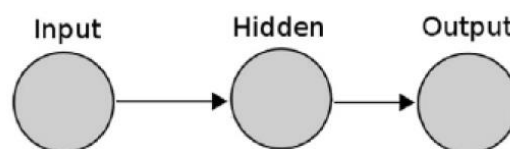
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

2.6.1 Pengertian Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan adalah salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah buatan disini digunakan karena jaringan syaraf ini

diimplementasikan dengan menggunakan program *computer* yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran (Fausett, 1994). Jaringan syaraf tiruan merupakan sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi (Pitowarno, 2004). Menurut teori Haykin (1999), jaringan syaraf tiruan adalah sejumlah besar prosesor yang terdistribusi secara parallel dan terdiri dari unit pemrosesan sederhana dimana masing-masing unit memiliki kecenderungan untuk menyimpan pengetahuan yang dialami dan dapat digunakan kembali. Kemampuan manusia dalam memproses informasi merupakan hasil kompleksitas proses di dalam otak.

Pada dasarnya jaringan syaraf tiruan meniru cara kerja otak makhluk hidup, yaitu manusia. Salah satu struktur yang ingin ditiru adalah bentuk neuron. Neuron adalah satuan unit pemroses terkecil pada otak. Neuron secara garis besar dibagi menjadi empat yaitu *dendrites*, *cell body*, *synapse*, dan *axon*. *Dendrites* yaitu unit *input* sebagai tempat masuknya sinyal. *Cell body* berfungsi untuk memproses sinyal yang masuk dan *axon* merupakan unit *output* dari sinyal hasil proses *cell body*. Dengan prinsip kerja dari suatu syaraf biologis yaitu *dendrite* menerima sinyal dari neuron lain. Sinyal tersebut berupa impuls elektrik yang dikirim melalui celah sinaptik melalui proses kimiawi. Sebagai keluaran, setiap neuron memiliki *axon* sedangkan bagian penerima sinyal ialah *synapse* (Kusumadewi, 2004). Jaringan syaraf tiruan terdiri dari 3 lapisan, yaitu *inputlayer*, *hidden layer* dan *output layer* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Struktur ini didasarkan pada modifikasi dari model tiga lapisan arsitektur perangkat lunak, ini adalah : Data lapisan, lapisan layanan dan lapisan presentasi (Vivian dkk, 2012).



Gambar 2. Skema dasar *neural networks*

2.6.2 Fungsi Aktivasi

Salah satu ciri jaringan syaraf tiruan adalah fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi merupakan operasi matematik yang dikenakan pada sinyal output y . Beberapa fungsi aktivasi yang paling sering digunakan untuk metode jaringan syaraf tiruan adalah sebagai berikut:

1. Fungsi sigmoid biner, mempunyai unit *output* angka biner (0 sampai 1). Biasa disebut juga *logsig*, memiliki persamaan:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana: y = nilai *output*

x = nilai *input*

σ = *threshold*

2. Fungsi identitas (linear), memiliki nilai *output* yang sama dengan nilai *input*-nya. Biasa disebut juga *purelin*, memiliki persamaan:

$$y = f(x) = x \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana: y = nilai *output*

x = nilai *input*

3. Fungsi sigmoid bipolar (*tansig*), mempunyai jangkauan paling umum antara -1 sampai 1. Fungsi ini dekat dengan fungsi tangen hiperbolik yang sama-sama mempunyai jangkauan antara -1 sampai 1. Fungsi tangen hiperbolik dapat dirumuskan sebagai berikut: (Fausett, 1986)

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana: y = nilai *output*

x = nilai *input*

2.6.3 Normalisasi dan Denormalisasi

Menurut Hidayat dkk (2012), data-data yang ada dilakukan normalisasi dengan membagi nilai data tersebut dengan nilai range data (Nilai data maksimum – nilai data minimum). Tujuan dari normalisasi yaitu :

1. Untuk menghilangkan kerangkapan data
2. Untuk merubah nilai menjadi satu-satuan
3. Untuk mempermudah pemodifikasian data

Jika fungsi aktivasi dengan menggunakan sigmoid biner (range 0 sampai range 1), maka data harus ditransformasi [0,1] (Indra, 2014). Menurut Hidayat dkk (2012) adapun rumus untuk normalisasi dalam range [0,1] adalah :

$$X_n = \frac{X_o - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Sedangkan menurut Hidayat dkk (2012) denormalisasi dapat memberikan atau mengembalikan data, sehingga didapatkan *predicted sales* dari data training.

Menurut Indra (2014), adapun rumus denormalisasi dalam range [0,1] adalah :

$$X_i = y (X_{max} - X_{min}) + X_{min} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.7 Penelitian Pendukung

Penelitian pendukung diperlukan untuk menambahkan informasi dan ilmu yang berkaitan serta menambah referensi agar mempermudah dalam penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 3. Penelitian Pendukung

NO.	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
1.	Caesar, Isnawaty dkk (2016)	Rancang Bangun <i>Prototype System</i> Monitoring Kelembaban Tanah Melalui SMS Berdasarkan Hasil Penyiraman Tanaman “Studi Kasus Tanaman Cabai Dan Tomat”	Metode monitoring, studi literatur dan metode <i>Rational Unified Procces</i> (RUP).	<i>Soil Moisture</i> Sensor FC-28 dapat mendeteksi kelembaban tanah dan alat dapat bekerja dengan baik kemudian SMS <i>Gateway</i> akan bekerja secara otomatis untuk mengirimkan SMS ke pemilik tanaman. Persentase keberhasilan alat sebesar 93,75 %.

Lanjutan

NO.	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
2.	Husdi (2018)	Monitoring Kelembaban Tanah Pertanian Menggunakan <i>Soil Moisture</i> Sensor FC-28 dan Arduino Uno	Internet of Things, Sensor kelembaban tanah, Arduino.	Hasil pengujian pengukuran menggunakan sensor <i>soil moisture</i> nilai kelembaban tanah diperoleh dengan baik.
3.	Sintia, Wulantika dkk (2018)	Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Dan Suhu Udara Berbasis GSM SIM900A Dan Arduino Uno	Metode penelitian dan pengembangan (R&D); perencanaan, produksi, dan evaluasi.	Kelembaban tanah diukur dengan <i>soil moisture sensor</i> . Hasil pengukuran suhu udara menggunakan sensor DHT11 dan termometer ruangan digital tidak jauh berbeda.
4.	Lutfiyana, dkk (2017)	Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah, Kelembaban Tanah, dan Resistansi	Metode penelitian dan pengembangan (<i>Research and Development</i>).	Alat ukur suhu tanah, kelembaban tanah, dan resistansi dapat bekerja dengan baik dan dirancang dengan baik serta layak sesuai dengan kriteria uji kelayakan.
5.	Aniek, dkk (2018)	Hubungan Rentang Waktu Uji Pemadatan Di Laboratorium Dengan Parameter Yang Dihasilkan Menggunakan Alat Otomatis Dan Manual	Metode pengujian dan monitoring.	Untuk pemadatan yang berada di sisi lebih basah dari optimum cenderung memperlihatkan titik yang lebih menyebar dan secara umum rentang waktu pemadatan hampir tidak berpengaruh terhadap hasil akhir parameter yang diperoleh.

Lanjutan

NO.	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
6.	Suharyatun,dk k (2019)	Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Pendugaan Porositas Tanah	Metode penelitian dan pengembangan (R&D); analisis.	Model JST yang dibangun 3-5-5-1; fungsi aktivasi yang digunakan <i>logsig- tansig-purelin</i> ; pelatihan model JST menghasilkan nilai RMSE 2,0242 dan R ² 0,9577.
7.	Didik, Chusnul Arif (2019)	Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Menduga Fluks Gas N ₂ O Dari Lahan Sawah	Metode analisis dan survei.	Hasil validasi model jaringan syaraf tiruan menunjukkan keakuratan sehingga pengembangan model jaringan syaraf tiruan dapat digunakan.
8.	Subowo (2012)	Pemberdayaan Sumberdaya Hayati Tanah Untuk Rehabilitasi Tanah Ultisol Terdegradasi	Metode penelitian dan pengembangan (<i>Research and Development</i>).	Pemberdayaan organisme tanah dan pengkayaan populasi organisme tanah lainnya memiliki peranan penting dalam memperbaiki kesuburan tanah ultisol terdegradasi
9.	Benyamin Bontong (2010)	Pengaruh Kepadatan Dan Kadar Air Terhadap Hambatan Penetrasi Sondir Pada Tanah Pasir	Metode analisis dan survei.	Pengaruh variasi kadar air terhadap parameter hampir tidak nampak; Untuk pasir maupun lanau, semakin tinggi kepadatan kering semakin tinggi hambatan konus maupun rasio friksi.

Lanjutan

NO.	Nama	Judul	Metode	Kesimpulan
10.	Sudaryanto (2016)	Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pembumian Pada Tanah Basah, Tanah Berpasir Dan Tanah Ladang	Metode analisis dan survei.	Nilai tahanan pembumian yang paling kecil diperoleh pada kondisi tanah basah.
11.	Eka, Edi Ismanto (2017)	Jaringan Syaraf Tiruan Algoritma <i>Backpropagation</i> dalam Memprediksi Ketersediaan Komoditi Pangan Provinsi Riau	Metode Analisa.	Algoritma <i>backpropagation</i> dapat melakukan proses prediksi, akan tetapi baik atau tidaknya nilai yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh penentuan parameter seperti besarnya <i>learning rate</i> dan jumlah <i>neuron</i> pada <i>hidden layer</i> . Berdasarkan hasil pelatihan dan pengujian jaringan syaraf tiruan, model arsitektur yang memiliki nilai RMSE paling kecil adalah arsitektur 7-14-1 dengan nilai <i>error</i> RMSE 0,0033438208, persentase akurasi sebesar 99,99 % dan performa 0,2185.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Desember 2021 di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Proses perancangan dan pembuatan alat ukur kelengasan tanah merupakan bagian dari penelitian yang sangat penting. Apabila salah dalam memilih alat maka dapat menghambat proses perancangan dan sekaligus pembuatan. Bahan juga merupakan salah satu faktor penentu tercapainya tujuan dari perancangan. Oleh sebab itu, alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan perancangan sekaligus pembuatan alat ukur kelengasan tanah adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah probe kelengasan tanah, timbangan, *stopwatch*, ayakan, alat *shop press*, toples, termometer digital, multimeter analog tipe YX-360TR_N, cawan, oven, laptop dengan *software* MATLAB version 7.5.0.342 (R2007b).

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotak komponen, resistor, potensiometer, kabel port, kabel jumper, LCD, mikrokontroler, tanah ultisol jenis podsolik merah kuning dan air

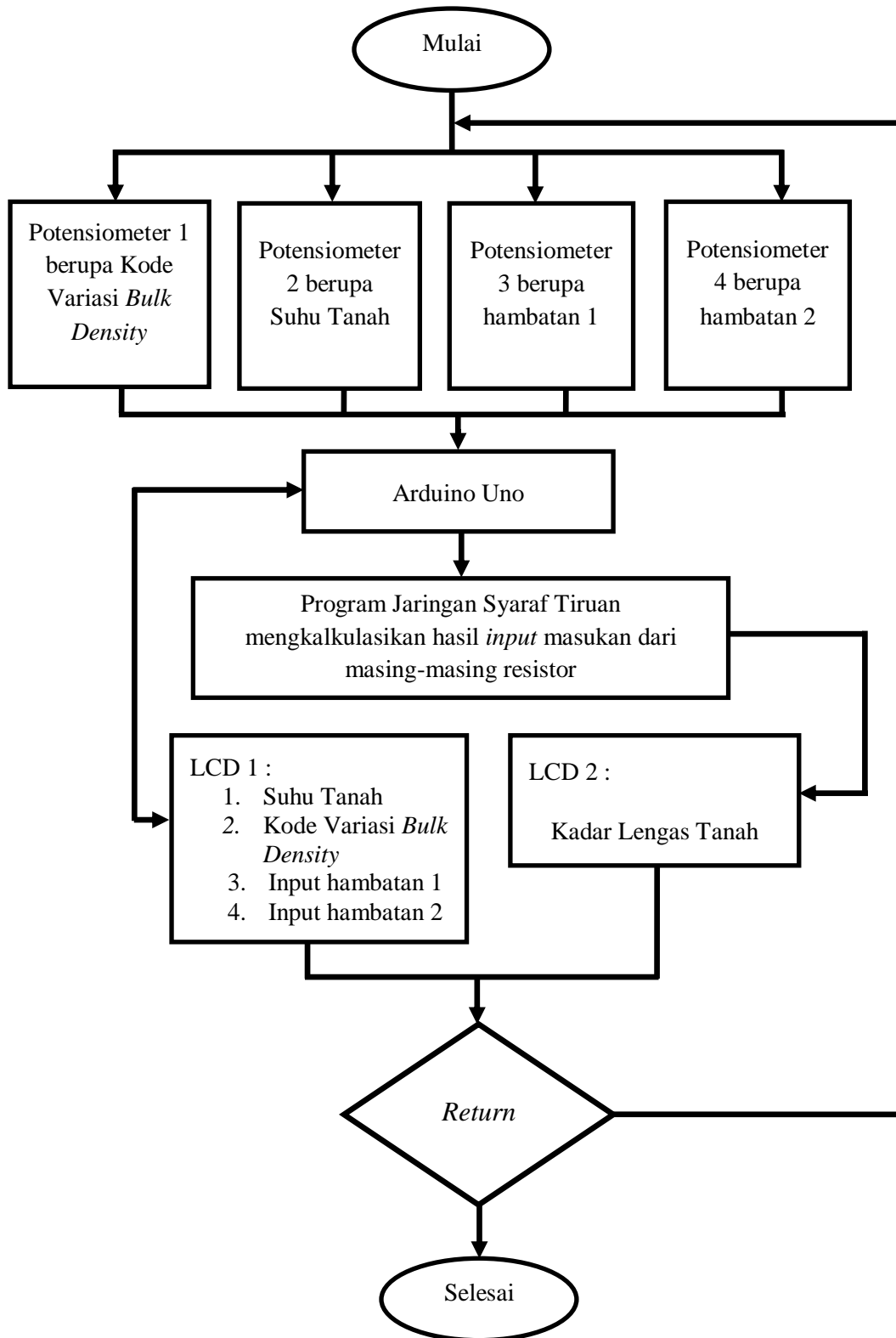
3.3 Kriteria Desain

Tahapan yang dilakukan sebelum melakukan penelitian untuk memudahkan proses pelaksanaan penelitian adalah merancang desain penelitian. Desain penelitian ini mengacu pada tahapan metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*). Metode penelitian *Research and Development* adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut. Penelitian ini menghasilkan produk alat ukur kelengasan tanah. Alat ini dirancang untuk mengukur kelengasan tanah dengan memasukkan nilai suhu tanah, variasi *bulk density*, serta nilai resistensi tanah berbasis jaringan syaraf tiruan. Alat ukur kelengasan tanah ini didesain untuk mempertimbangkan kemudahan bagi para penggunanya dalam pengaplikasian. Alat ini dirancang sebagai alat yang portable sehingga mudah dibawa, ringan dan tidak membutuhkan ruang luas untuk menyimpannya. Mikrokontroler akan melakukan perhitungan yang kemudian nilai kelengasan tanah akan muncul di layar monitor LCD pada rancangan alat.

Tabel 4. Kriteria kelayakan alat

No.	Interval	Kriteria
1.	85% - 100%	Sangat layak
2.	70% - 84,99%	Layak
3.	55% - 69,99%	Cukup layak
4.	40% - 54,99%	Kurang layak
5.	25% - 39,99%	Tidak layak

Tabel 4 merupakan tabel kriteria kelayakan alat. Alat ukur kelengasan tanah yang telah dirancang apabila dapat bekerja dengan baik dan menghasilkan *output* nilai lengas tanah yang diinginkan sesuai dengan uji kelayakan oleh pakar atau ahli dimana kisaran nilai uji kelayakan berada diatas batas minimal kategori layak yaitu 70 %, maka alat tersebut dapat dikatakan berhasil.

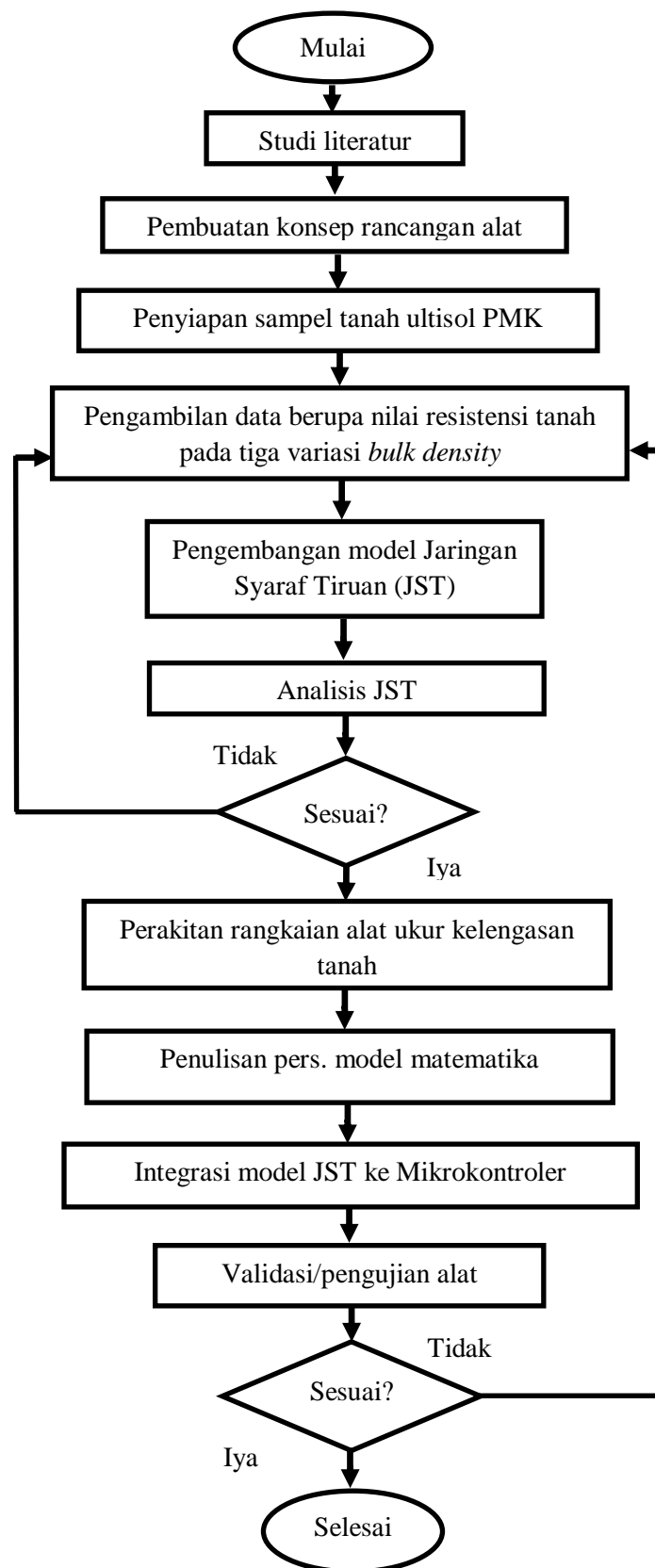


Gambar 3. Diagram alir pemrograman

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dimulai dengan melakukan studi pustaka yaitu mencari referensidari jurnal, skripsi, dan buku tentang kelengasan tanah dan permasalahannya. Selanjutnya membuat konsep rancangan alat dan dilakukan pengkalibrasian pada masing-masing alat yaitu elektroda (probe), termometer digital (pengukur suhu tanah) serta multimeter analog. Setelah komponen alat pengambilan data siap digunakan selanjutnya yaitu penyiapan sampel tanah dimana tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah ultisol jenis podsolik merah kuning. Dilakukan pengambilan data berupa nilai resistensi pada setiap sampel tanah dengan variasi *bulk density* yang berbeda yaitu variasi *bulk density* gembur, sedang, dan padat. Selanjutnya adalah perancangan *software*, yaitu langkah yang dilakukan untuk mencari model matematika dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

Pembuatan model jaringan syaraf tiruan diawali dengan menentukan arsitektur jaringan sesuai dengan data yang dimiliki. Setelah model matematika didapat maka model matematika tersebut akan diubah menjadi syntax yang nanti akan diintegrasikan ke dalam mikrokontroler ketika pembuatan alat ukur telah selesai dikerjakan. Setelah semua proses pembuatan alat dikerjakan, alat akan diuji agar berfungsi dengan baik dan tidak terjadi kesalahan. Proses pengujian alat disebut juga validasi desain. Validasi desain adalah proses yang dibuat untuk mengidentifikasi adanya ketidaksesuaian suatu hasil sebuah sistem dengan apa yang diharapkan. Pengujian dilakukan bertahap guna mencari kekurangan pada alat. Prosedur pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 yaitu diagram alir prosedur penelitian.



Gambar 4. Diagram alir prosedur penelitian

3.5 Rancangan Pengambilan Data

Tahap awal dalam pengambilan data yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah penyiapan tanah ultisol jenis podsolik merah kuning yang dikering anginkan selama ± 5 hari. Untuk pengambilan tanah ultisol podsolik merah kuning dilakukan di daerah Bandar Lampung. Tanah yang sudah kering kemudian disaring dengan saringan 5 mm bermaksud agar bebatuan seperti kerikil dan kotoran dapat hilang dan tidak mengganggu proses pengambilan data. Tahap selanjutnya adalah tanah dibagi ke dalam tiga toples dengan bobot yang sama yaitu 2000 gram per toples. Masing-masing toples tersebut mewakili satu variasi *bulk density* yaitu gembur, sedang, dan padat.

3.5.1 Perlakuan Tanah

Pada variasi *bulk density* gembur, contoh tanah diberi perlakuan berupa perubahan struktur tanah menjadi gembur dengan semaksimal mungkin. Pada variasi *bulk density* sedang (agak padat) contoh tanah diberi perlakuan berupa pemadatan dengan menggunakan alat *shop press* yaitu pemberian tekanan sebanyak 6 kali atau setara dengan beban 285,72 kg. Pada variasi *bulk density* padat contoh tanah diberi perlakuan berupa pemadatan dengan menggunakan alat *shop press* yaitu pemberian tekanan sebanyak 12 kali atau setara dengan beban 571,44 kg. Ukuran cetakan (toples) dibuat sedemikian rupa sehingga pengaruh faktor skala diminimalkan. Kemudian tanah pada setiap toples diberi air hingga kondisinya menjadi jenuh (*saturated*). Setiap hari tanah ditimbang sampai kondisi tanah berubah ke kondisi kering (*pwp*). Penimbangan tanah dilakukan untuk memperoleh laju penurunan bobot tanah sehingga diperoleh pola perhitungan interpolasi untuk menentukan kadar air tanah.

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung di dalam bahan. Kadar air biasanya dinyatakan dengan persentase berat air terhadap bahan basah atau dalam gram air untuk setiap 100 gram bahan yang disebut dengan kadar air basis basah. Berat bahan kering

adalah berat bahan setelah mengalami pemanasan beberapa waktu tertentu sehingga beratnya tetap konstan (Safrizal, 2010).

Pada penelitian ini menggunakan basis kering karena menggunakan metode gravimetrik. Kadar air basis kering adalah berat bahan setelah mengalami pengeringan dalam waktu tertentu sehingga beratnya konstan. Pada proses pengeringan air yang terkandung dalam bahan tidak dapat seluruhnya diuapkan, meskipun demikian hasil yang diperoleh disebut sebagai berat bahan kering (Rahmawan, 2001).

Proses metode gravimetrik yaitu proses yang dilaksanakan di Laboratorium untuk menentukan persen (%) kadar air tanah melalui proses pemanasan dalam oven dengan intensitas suhu 105-110 derajat celsius selama 12-24 jam. Kadar air yang diperoleh melalui proses metode gravimetrik hanya dilakukan pada sampel tanah kondisi jenuh (*saturated*) dan *pwp*. Pada kondisi *field capacity*/kapasitas lapang dan *critical* kadar air diperoleh dari hasil interpolasi penurunan bobot tanah.

Saturated Water (SW) merupakan kemampuan tanah untuk menampung air dalam pori mikro dan makro terisi penuh, kondisi tanah ini tidak tersedia bagi tanaman (jenuh). Untuk mendapatkan kondisi jenuh pada tanah yaitu dengan cara menambahkan air hingga memenuhi pori tanah dan ketinggian air melebihi tanah tersebut. Setelah diberi perlakuan 1×24 jam, selanjutnya tanah diambil sampel 5 gram untuk dioven dan dilakukan perhitungan sehingga didapat nilai kadar air tanah.

Field Capacity (FC), secara umum didefinisikan sebagai kadar air tanah lapang pada saat air drainase sudah berhenti atau hampir berhenti mengalir karena adanya gaya gravitasi setelah sebelumnya tanah tersebut mengalami jenuh sempurna. Dalam banyak kasus, kemampuan tanah menahan air dianggap setara dengan kadar air kapasitas lapang (Jury, 1991).

Critical water merupakan kandungan air tanah pada akar-akar tanaman untuk saat tertentu tidak menyerap air, sehingga tanaman mengalami kelayuan sementara.

Kadar air pada critical water didapat dengan cara perhitungan yang telah diketahui nilai *saturated water* dan *field capacity*.

$$MAD = \frac{RAW}{AW} = \frac{\theta_{fc} - \theta_c}{AW}$$

$$\theta_c = 0,5 (\theta_{fc} + \theta_{pwp}) \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

MAD : Jumlah air yang masih bisa digunakan tanpa membahayakan tanaman

RAW : Air segera tersedia

AW : Air tersedia

θ_{fc} : titik kadar air kapasitas lapang

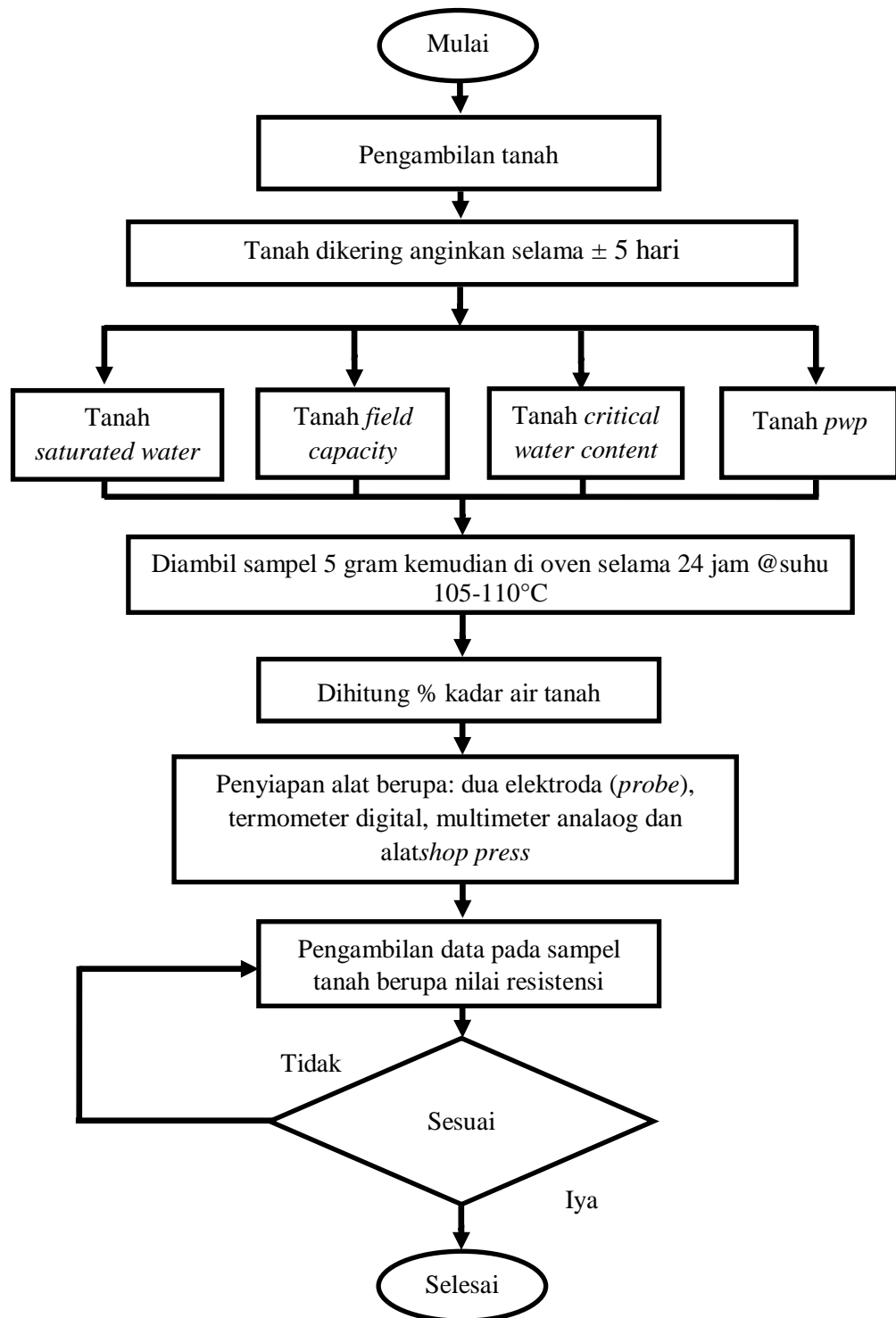
θ_c : titik kritis

θ_{pwp} : titik layu permanen

Permanent Wilting Point (PWP) adalah kandungan air tanah pada akar-akar tanaman mulai tidak mampu lagi menyerap air dari tanah, sehingga tanaman menjadi layu. Kadar air *permanent wilting point* didapat dengan metode gravimetrik, yaitu sampel tanah sebanyak 5 gram dioven selama 24 jam pada suhu 105 derajat celcius dan dilakukan perhitungan kadar air.

3.5.2 Pengambilan Data

Tahap yang selanjutnya setelah perlakuan tanah selesai adalah mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan untuk pengambilan data yaitu dua elektroda (*probe*), termometer digital (pengukur suhu tanah), multimeter analog, dan alatshop *press*. Proses pengambilan data dilakukan dengan menancapkan elektroda ke dalam tanah dengan kedalaman 10 cm serta suhu tanah yang digunakan yaitu suhu 20, 24 dan 28 derajat celcius. Proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 5 yaitu diagram proses pengambilan data. Penelitian ini akan menggunakan 9 data dengan empat kali ulangan selama 30 hari sehingga total data seluruhnya berjumlah 1080 data, dimana setiap pengulangan akan menggunakan tabel pengukuran seperti terlihat pada Tabel 4.



Gambar 5. Diagram alir proses pengambilan data

Tabel 4. Rancangan data pengukuran

No.	Kondisi Tanah	Variasi Kepadatan	Ulangan	Resistensi (k Ω)			Kadar Lengas (%)
				20°C	24°C	28°C	
1.	SW	Gembur	1				
2.			2				
3.			3				
4.			4				
5.		Sedang	1				
6.			2				
7.			3				
8.			4				
9.		Padat	1				
10.			2				
11.			3				
12.			4				
13.	FC	Gembur	1				
14.			2				
15.			3				
16.			4				
17.		Sedang	1				
18.			2				
19.			3				
20.			4				
21.		Padat	1				
22.			2				
23.			3				
24.			4				
25.	C	Gembur	1				
26.			2				
27.			3				
28.			4				
29.		Sedang	1				
30.			2				
31.			3				
32.			4				
33.		Padat	1				
34.			2				
35.			3				
36.			4				
37.	PWP	Gembur	1				
38.			2				
39.			3				
40.			4				
41.		Sedang	1				
42.			2				
43.			3				
44.			4				
45.		Padat	1				
Dst			2				

Keterangan :

SW = *Saturated Water*

FC = *Field Capacity*

C = *Critical*

PWP = *Permanent Wilting Point*

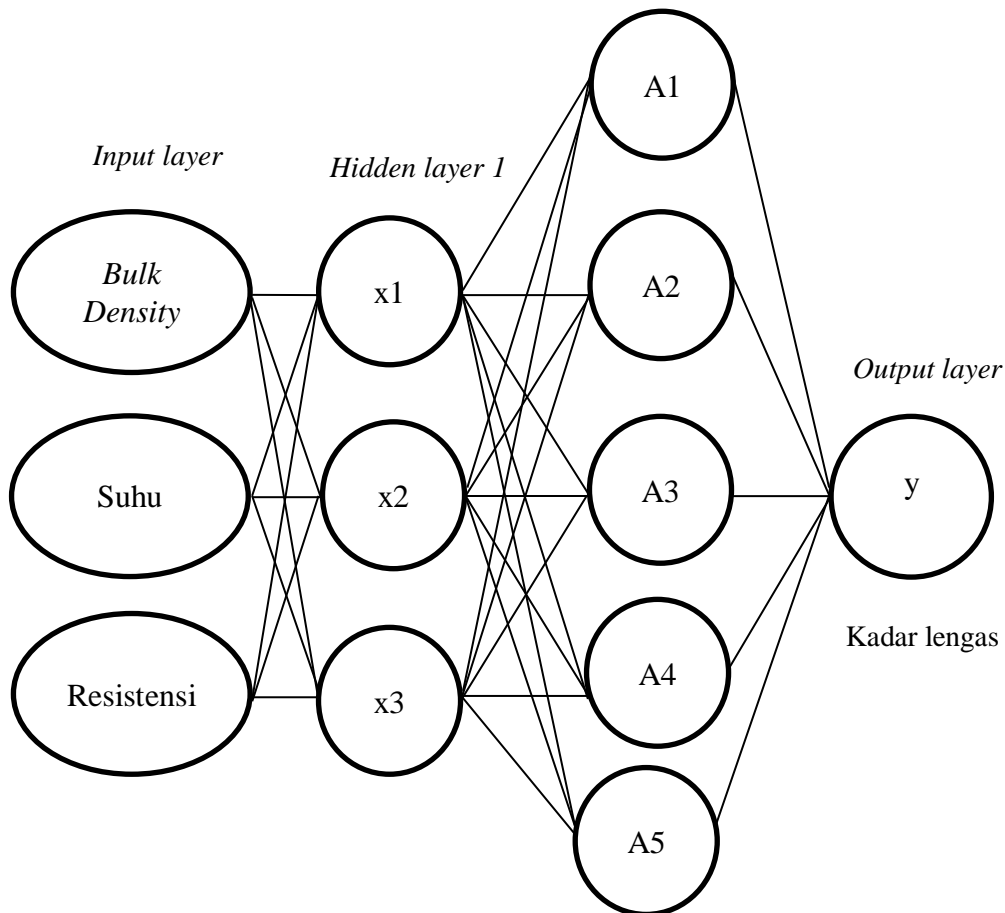
3.6 Pengembangan Jaringan Syaraf Tiruan

3.6.1 Pembuatan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Tahap pertama dalam proses pengembangan model jaringan syaraf tiruan adalah melakukan pelatihan terlebih dahulu. Tujuan dari tahap pelatihan adalah untuk menghasilkan parameter-parameter jaringan syaraf tiruan dan bobot masing-masing lapisan yang paling sesuai yang nantinya digunakan dalam proses pengujian. Pada satu siklus pelatihan terdiri atas inisialisasi bobot awal, perhitungan nilai keluaran setiap lapisan dan perhitungan error yang terjadi. Langkah ini dimulai dengan membuka aplikasi MATLAB lalu dilanjutkan dengan tahap inisialisasi jaringan. Inisialisasi jaringan merupakan penetapan arsitektur jaringan awal agar proses pelatihan jaringan dapat dilakukan. Satu siklus yang dilakukan disebut iterasi. Jumlah iterasi yang digunakan ialah sebesar 1000 dengan *Mean Square Error* terkecil 0,00001. Semakin kecil nilai target error maka nilai iterasinya akan semakin besar dan keakurasiannya juga semakin tinggi (Andiran, 2014).

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan pada penelitian ini ialah tipe *backpropagation* dengan metode pelatihan terawasi (*supervised learning*). Menurut Kusumadewi dan Hartati (2010), *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan *neuron-neuron* yang ada pada lapisan tersembunyi. Metode ini berupa jaringan yang proses belajarnya harus dibimbing atau dengan kata lain jaringan yang diberi suatu *input* tertentu dan *output*-nya ditentukan oleh algoritma yang

dibuat. Tahapan dari pengembangan model arsitektur jaringan syaraf tiruan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



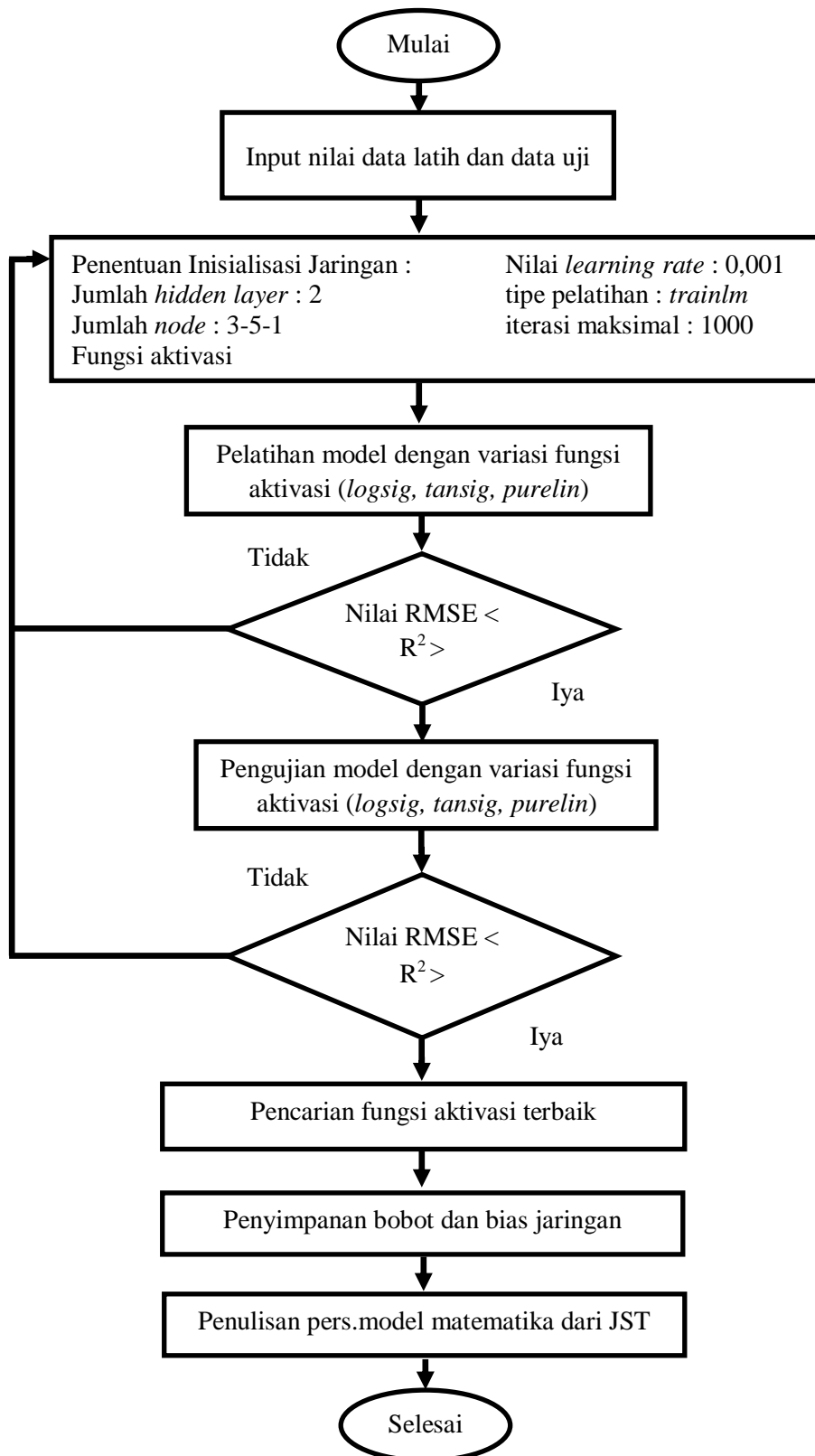
Gambar 6. Arsitektur jaringan syaraf tiruan

Menurut sutojo (2010), lapisan-lapisan penyusun jaringan syaraf tiruan dibagi menjadi 3, yaitu lapisan *input* (*inputlayer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output* (*output layer*). Jumlah *hidden layer* ditentukan menurut kerumitan data yang akan diolah. Semakin banyak data yang digunakan maka semakin banyak *hidden layer* dan *neuron* (node) yang digunakan (Karsoliya, 2012). Berdasarkan hal tersebut, pengembangan model jaringan syaraf tiruan pada penelitian ini menggunakan 1 *hidden layer* dengan 5 node dikarenakan menurut riset pada beberapa jurnal jumlah *hidden layer* yang optimal adalah 1. Karangan *Laurent Fausett* dengan judul "*Fundamental of Neural Networks : Architecture, Algorithms, and Applications*" merupakan salah satu referensi yang

mengatakan hal tersebut. Semakin banyak pula *hidden layer* akan menyebabkan proses menjadi lambat.

Setelah memiliki jumlah *hidden layer*, nilai *Learning Rate* (LR) dimasukkan kedalam inisialisasi jaringan. *Learning Rate* (α) merupakan laju pembelajaran, semakin besar *learning rate* akan berimplikasi pada semakin besarnya langkah pembelajaran (Kusumadewi, 2014). Menurut Amini (2008), nilai *Learning Rate* yang optimal untuk pelatihan jaringan syaraf tiruan adalah berkisar diantara 0,001 sampai 0,006. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini menggunakan nilai *learning rate* sebesar 0,001.

Adapun tipe pelatihan yang digunakan ialah tipe pelatihan *trainlm* (Lavenberg-Marquardt). Hal ini dikarenakan tipe pelatihan *trainlm* merupakan tipe pelatihan tercepat dan direkomendasikan pada saat pengembangan jaringan dibandingkan dengan tipe pelatihan yang lain (Anandhi dkk, 2012). Wibowo (2013) pada penelitiannya menggunakan enam tipe pelatihan yaitu *traingda*, *traingdx*, *trainrp*, *trainoss*, *trainbfg* dan *trainlm*. Setelah melakukan perbandingan antara keenam tipe pelatihan tersebut, Wibowo (2013) menyimpulkan bahwa tipe *trainlm* menghasilkan tipe keakuratan yang lebih tinggi dengan rata-rata error yang rendah dibandingkan dengan tipe pelatihan yang lain, sehingga bisa disimpulkan bahwa algoritma *trainlm* merupakan algoritma yang paling teliti. Hal inilah yang mendasari peneliti menggunakan tipe tersebut dalam penelitian ini.



Gambar 7. Diagram alir proses pengembangan model pada JST

Fungsi aktivasi yang akan digunakan sebagai berikut :

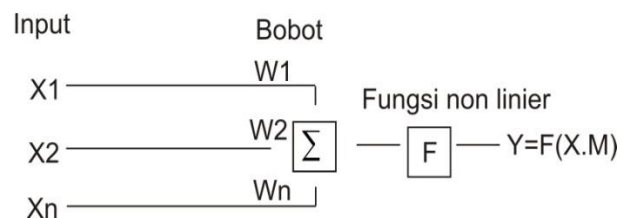
Tabel 5. Fungsi aktivasi

No.	Fungsi Aktivasi	R^2	RMSE
1.	<i>logsig-logsig-logsig</i>		
2.	<i>logsig-tansig-tansig</i>		
3.	<i>logsig-purelin-purelin</i>		
4.	<i>logsig-logsig-tansig</i>		
5.	<i>logsig-logsig-purelin</i>		
6.	<i>logsig-tansig-logsig</i>		
7.	<i>logsig-purelin-logsig</i>		
8.	<i>logsig-tansig-purelin</i>		
9.	<i>logsig-purelin-tansig</i>		
10.	<i>tansig-tansig-tansig</i>		
11.	<i>tansig-logsig-logsig</i>		
12..	<i>tansig-purelin-purelin</i>		
13.	<i>tansig-logsig-tansig</i>		
14.	<i>tansig-logsig-purelin</i>		
15.	<i>tansig-purelin-logsig</i>		
16.	<i>tansig-tansig-logsig</i>		
17.	<i>tansig-tansig-purelin</i>		
18.	<i>tansig-purelin-tansig</i>		
19.	<i>purelin-purelin-purelin</i>		
20.	<i>purelin-logsig-logsig</i>		
21.	<i>purelin-tansig-tansig</i>		
22.	<i>purelin-purelin-logsig</i>		
23.	<i>purelin-purelin-tansig</i>		
24.	<i>purelin-logsig-tansig</i>		
25.	<i>purelin-tansig-logsig</i>		
26.	<i>purelin-logsig-purelin</i>		
27.	<i>purelin-tansig-purelin</i>		

Setelah mendapatkan fungsi aktivasi yang memiliki nilai R^2 terbesar dan nilai RMSE terkecil maka selanjutnya akan diperoleh nilai bobot dan bias. Bobot merupakan suatu nilai yang mendefinisikan tingkat atau kepentingan hubungan antara suatu *node* dengan *node* yang lain. Bias adalah salah satu *node input* yang sifatnya khusus karena selalu bernilai 1, penggunaan bias dapat mempercepat pelatihan, hal ini dapat terjadi karena keberadaan bias berguna sebagai faktor koreksi terhadap kecukupan variabel-variabel *input* yang telah kita tetapkan. Bobot dan bias yang didapat dari fungsi aktivasi ini selanjutnya akan diubah kedalam persamaan model matematika.

3.6.2 Pembuatan Model Matematika

Pemodelan matematika yaitu proses untuk mempresentasikan dan menjelaskan permasalahan pada dunia nyata kedalam pernyataan matematis (Widowatidkk, 2007). Model matematika mendeskripsikan fenomena atau peristiwa alam dengan satu set persamaan. Model matematis dari sebuah sel syaraf (neuron) diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Model matematis jaringan syaraf tiruan

Jika dinyatakan dalam notasi matematika sebagai berikut:

$$y = f(x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_mw_m) \text{ atau } y = f(x.w) \dots \dots \dots (3.2)$$

f = fungsi non linear atau fungsi aktivasi

Model matematika didapat dari fungsi aktivasi terbaik, dimana fungsi aktivasi tersebut memiliki bobot dan bias. Bobot adalah suatu nilai yang mendefinisikan tingkat atau kepentingan hubungan antara suatu *node* dengan *node* yang lain.

Bias adalah salah satu *node input* yang sifatnya khusus karena selalu bernilai 1, penggunaan bias dapat mempercepat pelatihan, hal ini dapat terjadi karena keberadaan bias berguna sebagai faktor koreksi terhadap kecukupan variabel-variabel *input* yang telah kita tetapkan. Bobot dan bias yang didapat dari fungsi aktivasi ini selanjutnya akan diubah kedalam persamaan model matematika.

Pada fungsi aktivasi ini akan menghasilkan bobot I_H1 dan bias I_H1, bobot H1_H2 dan bias H1_H2, bobot H2_O dan bias H2_O. Untuk bobot dan bias tersebut akan menyesuaikan persamaan yang didapat dari fungsi aktivasi. Berikut contoh dari persamaan matematika apabila fungsi aktivasi *logsig-tansig-purelin*.

Bobot I_H1

1,0384667e+001	-8,5003058e+000	-1,2827871e+001
-2,5324583e+000	3,4327286e+000	-7,7096906e+000
1,0080881e+001	-7,5718247e+000	2,3588141e+001

Bias I_H1

8,6685570e+000
 2,2812857e+000
 -1,3798155e+001

$$Y_1 = 10,384667(X_1) - 8,5003058(X_2) - 12,827871(X_3) + 8,6685570$$

$$Y_2 = -2,5324583(X_1) + 3,4327286(X_2) - 7,7096906(X_3) + 2,2812857$$

$$Y_3 = 10,080881(X_1) - 7,5718247(X_2) + 23,588141(X_3) - 1,3798155$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + \exp(-Y_1)}$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + \exp(-Y_2)}$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + \exp(-Y_2)}$$

Untuk Bobot I_H1 dan Bias I_H1 tersebut menggunakan persamaan *logsig*, dan begitu pula seterusnya yaitu Bobot H1_H2 dan Bias H1_H2 menggunakan persamaan *tansig*, dan Bobot H2_O dan Bias H2_O menggunakan persamaan *purelin*.

3.7 Rancangan Struktural

Tahapan perancangan alat dimaksudkan untuk memberi gambaran tentang pembuatan alat secara menyeluruh dimulai dari bentuk alat yang akan dibuat hingga sistem kerja dari alat yang akan dibuat. Selain itu, alat ini juga dirancang untuk membaca kadar lengas tanah yang muncul di layar monitor dengan bantuan *tools* potensiometer yaitu nilai suhu tanah, kode struktur tanah (*bulk density*), dan nilai multimeter (resistensi) tanah. Desain alat ukur lengas tanah dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain alat ukur kelengasan tanah

Keterangan :

1. Potensiometer
 - a) Potensiometer 1 = *bulk density*
 - b) Potensiometer 2 = nilai suhu
 - c) Potensiometer 3 = nilai resistensi 1

- d) Potensiometer 4 = nilai resistensi 2
- 2. *Liquid Crystal Display* (LCD)
 - a) LCD 1
 - b) LCD 2
- 3. Kotak berisi rangkaian dsb.

Suhu tanah, kode struktur tanah (*bulk density*), dan nilai resistensi tanah merupakan data yang akan diinput ke dalam alat ukur lengas tanah. Pada proses penginputan nilai resistensi dan nilai suhu pada tanah menggunakan beberapa alat sebagai berikut.

a. Multimeter Analog

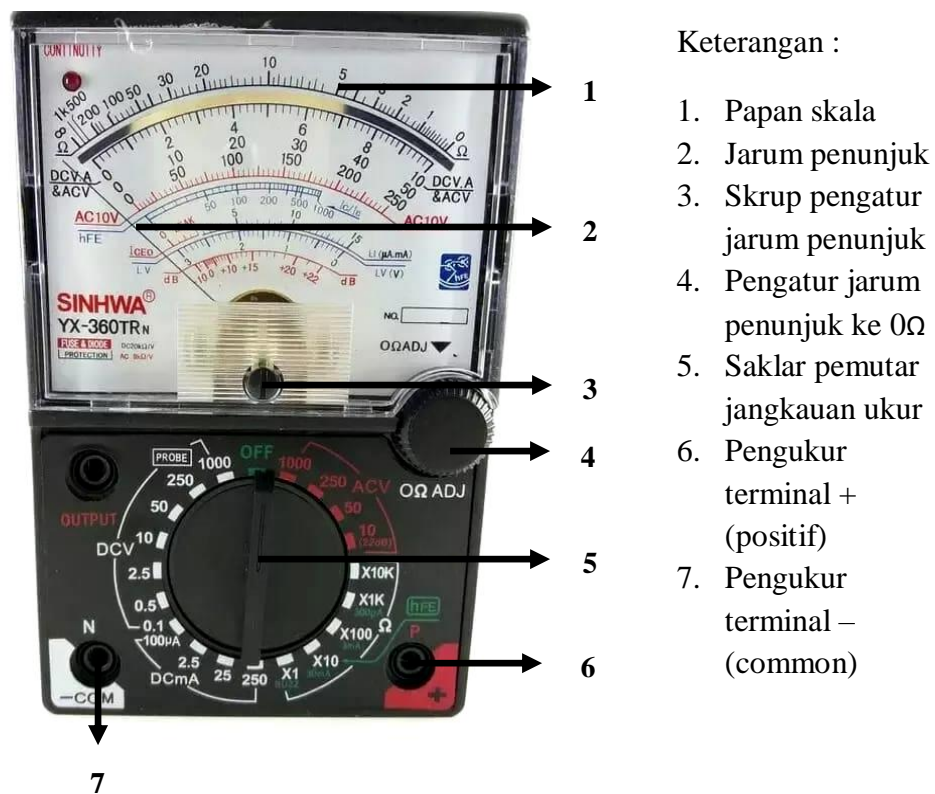
Multimeter analog atau multimeter jarum adalah alat ukur untuk mengukur kuat arus, tegangan, dan hambatan listrik yang menggunakan tampilan jarum yang bergerak ke range-range yang diukur dengan *probe*. Multimeter digunakan untuk mengukur nilai hambatan dari listrik yang dialirkan diantara dua elektroda yang telah ditancapkan ke dalam tanah. Nilai resistensi yang telah muncul pada multimeter merupakan salah satu nilai input pada rancangan alat ukur kelengasan tanah. Multimeter analog yang digunakan pada penelitian ini adalah multimeter analog tipe YX-360TR_N. Spesifikasi multimeter disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi multimeter analog tipe YX-360TR_N

<i>Function</i>	<i>Range</i>	<i>Accuracy</i>
	0.1 V	±5%
DCV	0.25V / 2.5V / 10V / 50V	±3%
	250V / 1000V	±3%
ACV	10V / 50V / 250V / 750V	±4%
DCA	50µa / 2.5mA / 0.25A	±3%
	2kΩ / 20kΩ / 200kΩ / 2MΩ	±3%
Ω	200MΩ	±5%

Multimeter analog tipe YX-360TR_N memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Untuk tegangan DC pada range 0,1 volt akurasi sebesar $\pm 5\%$, pada range 0,25 volt, 2,5 volt, 10 volt, dan 50 volt akurasi sebesar $\pm 3\%$, pada range 250 volt dan 1000 volt akurasi sebesar $\pm 3\%$. Untuk tegangan AC pada range 10 volt, 50 volt, 250 volt, dan 1000 volt akurasi sebesar $\pm 4\%$. Untuk arus DC pada range 50 μA , 2,5 mA, 0,25 A akurasi sebesar $\pm 3\%$. Untuk spesifikasi hambatan pada range 2 k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω , dan 2 M Ω akurasi sebesar $\pm 5\%$.



Keterangan :

1. Papan skala
2. Jarum penunjuk
3. Skrup pengatur jarum penunjuk
4. Pengatur jarum penunjuk ke 0 Ω
5. Saklar pemutar jangkauan ukur
6. Pengukur terminal + (positif)
7. Pengukur terminal - (common)

Gambar 10. Multimeter analog tipe YX-360TR_N

b. Probe Kelengasan Tanah

Probe kelengasan tanah digunakan untuk mengukur nilai konduktivitas elektrik tanah. Cara kerja alat ini yaitu menggunakan asas bahwa perubahan kadar lengas di dalam tanah akan merubah pula sifat elektrik sistem air tanah yang bersangkutan. Karena yang terukur adalah hambatan listrik bukan kandungan lengas di dalam tanah, maka diperlukan kalibrasi untuk mencari hubungan antara kadar lengas di dalam tanah dengan tahanan listrik (*ohm*). Pengukuran nilai resistensi tanah ini yaitu dengan cara menancapkan dua *probe* yang telah terhubung dengan multimeter analog.



Gambar 11. *Probe* kelengasan tanah

c. Termometer Digital

Termometer digital ini digunakan sebagai pengukur suhu tanah. Termometer ini berfungsi mengukur suhu tanah secara otomatis. Dilengkapi dengan sensor sepanjang +/- 1 meter yang dapat dicelupkan pada area/bahan seperti ke dalam tanah yang ingin diketahui suhunya dalam satuan derajat celcius. Termometer digital ini memiliki spesifikasi dimensi layar (LCD) 46 mm x 27 mm, Dimensi bentuk panjang 48 mm dan lebar 28,6 mm serta tinggi 15,2 mm, tegangan operasi yaitu 1,5 volt, 1 buah baterai kancing LR44.



Gambar 12. Termometer digital

d. *Shop Press*

Alat *shop press* digunakan sebagai alat pemberi tekanan pada bahan yang akan dipadatkan. Cara kerja *shop press* yaitu dengan mengandalkan kinerja pompa hidrolik untuk melakukan penekanan pada bidang *press* dan benda yang akan dikecilkan volumenya.



Gambar 13. Alat *shoppress*

3.8 Rancangan Fungsional

Penelitian ini merancang sebuah alat yang dapat menginput nilai suhu tanah, kode struktur tanah (*bulk density*), dan nilai resistensi tanah. Alat ini terdiri dari beberapa komponen yang memiliki fungsi masing-masing yaitu potensiometer, resistor, mikrokontroler Arduino Uno dan LCD.

1. Potensiometer

Potensiometer berfungsi diantaranya sebagai pengatur tegangan pada *power supply*, sebagai pembagi tegangan, dan sebagai pengatur volume pada berbagai peralatan elektronik. Potensiometer pitra merupakan hambatan variabel yang dapat dirubah nilai hambatannya dengan cara memutar batang porosnya.

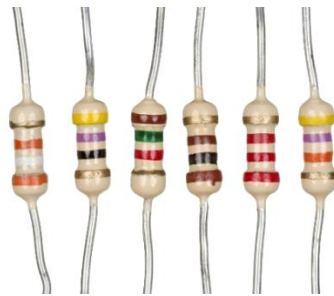
Perputaran ini akan menggeser kedudukan hambatannya sehingga hambatan yang terbaca berbeda-beda.



Gambar 14. Potensiometer

2. Resistor

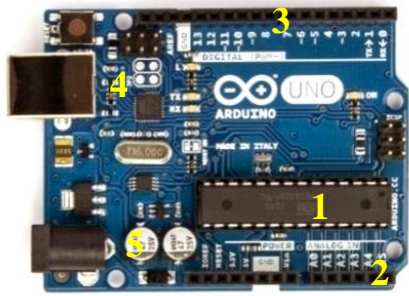
Resistor berfungsi untuk mengatur arus listrik, diantaranya pembatas arus listrik, pengatur arus listrik, pembagi tegangan arus listrik, dan sebagai penurun arus listrik. Karakteristik dari resistor adalah resistensinya dan daya listrik yang dapat dihantarkan.



Gambar 15. Resistor

3. Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor yang di dalamnya sudah terdapat CPU, RAM, ROM, I/O, *Clock* dan peralatan internal lainnya yang saling terhubung dan terorganisasi dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu *chip* yang siap pakai. Secara harfiahnya bisa disebut "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini (Winoto, 2010).



Keterangan :

1. Mikrokontroler
ATmega328(Arduino Uno)
2. *Pin Analog*
3. *Pin Digital*
4. *USB Port*
5. *PowerPort*

Gambar 16. Mikrokontroler jenis Arduino Uno

4. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu jenis media *display* (tampilan) yang menggunakan kristal cair (*liquid crystal*) untuk menghasilkan gambar yang terlihat. Berfungsi untuk menampilkan informasi waktu dan nilai EC yang telah diolah oleh mikrokontroler secara *real time*.



Gambar 17. *Liquid Crystal Display (LCD)*

3.9 Analisis Data

Pada penelitian ini analisis data yang digunakan yaitu :

1. Analisis Determinasi, mempelajari bentuk hubungan antara satu atau lebih peubah/ bebas (X) dengan satu peubah tak bebas (Y). Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur seberapa besar kemampuan variabel bebas dalam menerangkan variabel tak bebas (terikat). Nilai koefisien determinasi (R^2) mempunyai interval antara 0 sampai 1 ($0 \leq R^2 \leq 1$) (Sugiyono, 2007). Nilai R^2 dicari dengan membuat grafik *scatter* antara nilai observasi dan nilai prediksi pada *Microsoft Excel*. Pada grafik, ditambahkan *treadline* lalu dipilih

tipe regresi linier sehingga dapat menampilkan nilai R^2 . Berikut merupakan rumus untuk menghitung koefisien determinasi :

$$R^2 = \frac{\{n\Sigma XY - (\Sigma X) \cdot (\Sigma Y)\}^2}{\sqrt{\{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2\} \cdot \{n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2\}}} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan :

n = jumlah data

ΣX = total nilai x

Σy = total nilai y

2. RMSE (*Root Mean Square Error*), adalah metode alternatif untuk mengevaluasi teknik peramalan yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai RMSE rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai observasinya. Rumus perhitungan nilai RMSE dapat dilihat pada persamaan.

$$RMSE = [n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$RRMSE = \frac{[n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{n} \Sigma y} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :

n = jumlah data

e = nilai error

Σy = total nilai y

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kelengasan tanah yang didapat untuk variasi *bulk density* gembur pada kondisi *saturated water*, *field capacity*, *critical water*, dan *permanent wilting point* yaitu 56,69%, 48,41%, 37,86%, dan 28,19%. Variasi *bulk density* sedang yaitu 56,69%, 48,86%, 39,14%, dan 28,22%. Variasi *bulk density* padat yaitu 56,69%, 49,12%, 39,34%, dan 28,51%.
2. Model pengembangan jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi nilai kelengasan tanah terbaik berada pada variasi *bulk density* gembur dengan nilai R^2 sebesar 0,961, RMSE 1,4518, dan RRMSE 2,7261%.
3. Semakin padat kondisi perlakuan pada tanah maka semakin kecil nilai resistensi tanah yang terukur.
4. Semakin tinggi kondisi suhu pada tanah maka semakin besar nilai resistensi tanah yang terukur.
5. Alat ukur lengas tanah yang telah diuji menghasilkan nilai error berupa RMSE sebesar 2,7671, RRMSE sebesar 4,2799%, dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,876 yang menunjukkan bahwa pengembangan model dari nilai *bulk density* (kepadatan tanah), suhu tanah, dan resistensi pada tanah podsolik merah kuning layak dalam memprediksi nilai lengas tanah.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan dari hasil yang telah didapat, yaitu input data tambahan berupa variasi tekstur tanah dan *bulk density* pada beberapa jenis tanah, agar hasil dari pengukuran kadar lengas tanah menggunakan alat ukur kelengasan tanah lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, R. Widiastuty, dan M. Utomo. 1997. Upaya Rehabilitasi Sifat Fisika Tanah Ultisol Melalui Pencampuran Tanah Lapisan Atas, Lapisan Bawah, dan Bahan Organik. *J. Tanah Tropika* II(4):83-88.
- Arif, C., B. I. Setiawan, M. Mizoguchi, dan R. Doi. 2012. *Estimation of Soil Moisture in Paddy Field Using Artificial Neural Networks*. *Advanced Research in Artificial Intelligence*, 1(1): 17-21.
- Bontong, B, 2009, “*Pengaruh Kepadatan dan Kadar Air terhadap Hambatan Penetrasi Sondir pada Tanah Lanau (Studi Kasus: Lanau di Tondo, Kota Palu)*”, Mektek, Mei 2009.
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah*. Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta. Hal 302.
- Buol, S.W. D., Hole, F. D., Mc Craken, R. J. 1980. *Soil genesis and classification*. Second Edition. The Iowa State University Press.
- Chandra, Malvin. Sovia Rini, dan Permana, Randy. 2015. Analisis Metode Backpropagation Untuk Memprediksi Indeks Harga Saham Indofood Sukses Makur TBL.(INDF). *Jurnal KomTekInfo Fakultas Ilmu Komputer*, Volume 2, No.1.
- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta, 374 halaman.
- Darmawijaya, M.I. 1997. *Klasifikasi Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta.
- Hakim, N, M, Y Nyakpa, SA.M Lubis, Sg, Nugroho, M.R Saul, M,A Diha G,B Hong dan H.H Belly. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung : Press Bandar Lampung.
- Hanafiah, K.A. 2012. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.
- Hanafiah, K.A. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.

- Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah*. Gramedia Pustaka Umum. Jilid 1 Jakarta Hal. 47-52.
- Hardjowigeno, S. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hardjowigeno. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta : Akademia Persindo.
- Haykin,S. 1999. *Neural Network A Comprehensive Foundation*, Second Edition Pearson Education, Singapore.
- Hermawan A. 2006. *Jaringan Syaraf Tiruan: Teordan Aplikasi*. Yogyakarta. Andi.
- Karsoliya, S., 2012. Approximating number of hidden layer neurons in multiple hidden layer BPNN architecture. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 3, 714–717.
- Kartasapoetra, dkk. 2005. *Teknologi Konservasi Tanah*. Rineka jaya. Jakarta.
- Kusumadewi, Sri. 2004. *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan EXCEL link*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Munir, M. 1996. *Tanah-Tanah Utama Indonesia*. Dunia Pustaka Jaya, Jakarta.
- Nocita, M., A. Stevens., C. Noon, and B. V, Wesemael. 2012. *Prediction of Soil Organic Carbon for Different Levels of Soil Moisture Using Vis-NIR Spectroscopy*. *Geoder*, (6).
- Perdana, Ilham., A. *Simulasi Dan Prediksi Jumlah Penjualan Air Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan BACKPROPAGATION*. Study Ilmiah, 12 hal.
- Permanasari, I dan E. Sulistyaningsih. 2013. *Kajian Fisiologi Perbedaan Kadar Lengas Tanah Dan Konsentrasi Giberelin Pada Kedelai (Glycine Max L)*. *Kajian Fisiologi*, 4(1): 31-39.
- Prasetyo, B.H dan Suriadikarta, D.A. 2006. *Karakteristik, Potensi, dan Teknologi Pengelolaan Tanah Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia*. Litbang Pertanian. 2(25), 39 hal.
- Rodriquez-Iturber, I and Amilcar, P. 2004. *Ecohydrology of Water – Controlled Ecosystem:Soil Moisture and Plant Dynamics*. Cambridge University Press:London.
- Soepraptohardjo.1961. *Tanah Merah Di Indonesia*. Contributions of the General Agricultural Research Station. Balai Besar Penyelidikan, Pertanian, Balai Besar Penyelidikan Bogor.

- Sofyan, M. 2011. Pengaruh Pengolahan Tanah Konservasi terhadap sifat fisik dan hidrologi tanah [skripsi]. Bogor : Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. UDA, Natural Research Conservation Service. Ninth Edition. Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. NRCS-USDA. Washington D.C.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2004. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. hlm. 21–66. *Dalam* A. Adimihardja, L.I. Amien, F. Agus, D. Djaenudin (Ed.). Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Subowo, E.K. Anwar, dan J. Purwani. 2012. Penelitian Sumberdaya Hayati Tanah untuk Peningkatan Efisiensi Pemupukan dan Perbaikan Produktivitas Tanah. Laporan Hasil Penelitian Tanah, Balai Penelitian Tanah, 2012. Belum dipublikasikan.
- Suhardi, M.Sc. 1997. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Bengkulu : Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
- Suriadikarta, D.A. dan I.P.G. Widjaja-Adhi. 1986. Pengaruh Residu Pupuk Fosfat, Kapur dan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Hasil Kedelai pada Ultisol Rangkasbitung. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*. 6: 15–18.
- Stevanus dan Setiadi, K .D. 2013. Alat Pengukur Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Pic 16f84. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha*, Bandung.
- Verhoef, PNW. 1994. *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Erlangga. Jakarta.
- Winoto, Ardi. 2010. *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung: Informatika.