

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN PADA
VERMIKOMPOS BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN**
(Skripsi)

Oleh

LINTANG KINANTI PUSPARINI
1714071057



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN PADA VERMIKOMPOS BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN

Oleh :

LINTANG KINANTI PUSPARINI

Vermikompos merupakan pupuk organik ramah lingkungan hasil perombakan bahan organik yang dilakukan oleh cacing tanah (*Lumbricus rubellus*) selama proses vermikomposting. Kadar lengas adalah keadaan dimana air yang terserap pada suatu media atau bahan dan dinyatakan dalam bentuk persen berat ataupun persen volume. Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang alat untuk mengukur kelengasan pada vermikompos, membangun dan menguji model jaringan syaraf tiruan dan mendapatkan nilai uji kinerja alat berupa koefisien determinasi (R^2), RMSE, dan RRMSE. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah jaringan syaraf tiruan tipe *backpropagation*. Alat ukur kelengasan pada vermikompos telah berhasil dirancang dengan komponen utama yaitu mikrokontroler, potensiometer, resistor, dan LCD dengan I2C. Komponen-komponen tersebut dimasukkan kedalam kotak polimer dengan ukuran 9,5 cm × 5 cm × 14,5 cm. Proses pengembangan jaringan syaraf tiruan penelitian ini menggunakan 2 *input layer*, 2 *hidden layer*, dan 1 *output layer*, tipe pelatihan yang digunakan yaitu *trainlm*, dan *learning rate* 0,001. Pengembangan jaringan syaraf tiruan menghasilkan prediksi terbaik dengan fungsi aktivasi *logsig-logsig-logsig*. Hasil

uji kinerja alat ukur kelengasan pada vermikompos menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9403 atau sebesar 94,03%, nilai RMSE sebesar 3,81 dan nilai RRMSE sebesar 6,7075%.

Kata Kunci : Lengas, Jaringan Syaraf Tiruan, Vermikompos.

ABSTRACT

DESIGN OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED VERMICOMPOSTING MOISTURE MEASUREMENT TOOL

By :

LINTANG KINANTI PUSPARINI

*Vermicompost is an environmentally friendly organic fertilizer resulting from the breakdown of organic matter carried out by earthworms (*Lumbricus rubellus*) during the vermicomposting process. Moisture content is a condition where water is absorbed in a medium or material and is expressed in the form of weight percent or volume percent. The purpose of this research is to design a tool to measure moisture content in vermicompost, build and test artificial neural network models and obtain tool performance test values in the form of the coefficient of determination (R^2), RMSE, and RRMSE. In this research, the method used is a backpropagation type artificial neural network. The vermicompost moisture meter has been successfully designed with the main components of microcontroller, potentiometer, resistor, and LCD with I2C. The components are inserted into a polymer box with a size of 9.5 cm × 5 cm × 14.5 cm. The artificial neural network development process of this research uses 2 input layers, 2 hidden layers, and 1 output layer, the type of training used is trainlm, and the learning rate is 0.001. Artificial neural network development produces the best prediction with logsig-logsig-logsig activation function. The*

results of the performance test of the moisture measurement tool on vermicompost resulted in a coefficient of determination (R^2) value of 0.9403 or 94.03%, RMSE value of 3,81 and RRMSE value of 6,7075%.

Keywords: *Artificial Neural Network, Moisture, Vermicompost.*

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN PADA
VERMIKOMPOS BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Oleh

**LINTANG KINANTI PUSPARINI
1714071057**

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
BANDAR LAMPUNG
2022**

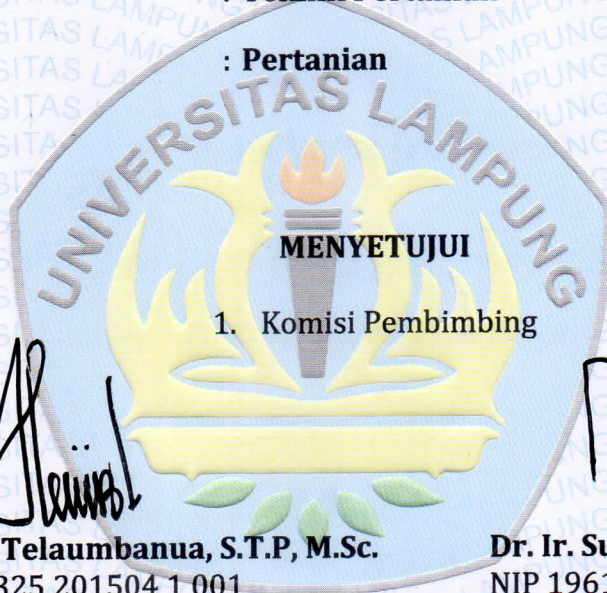
Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN ALAT UKUR KELENGASAN
PADA VERMIKOMPOS BERBASIS JARINGAN
SYARAF TIRUAN**

Nama Mahasiswa : **Lintang Kinanti Pusparini**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1714071057**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



1. Komisi Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mareli'.

Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P, M.Sc.
NIP 19880325 201504 1 001

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sugeng'.

Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.
NIP 19611211 198703 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

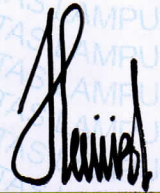
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sandi'.

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 19621010 198902 1 002

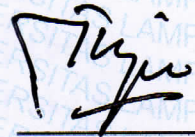
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

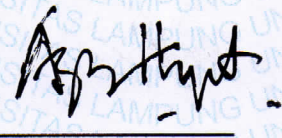
Ketua : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P, M.Sc.**



Sekretaris : **Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **22 Desember 2022**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Lintang Kinanti Pusparini** dengan NPM **1714071057**, 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.T.P., M.Sc.**, dan **2) Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.sc.** 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,

Maret 2023

Yang membuat pernyataan



Lintang Kinanti Pusparini
NPM. 1714071057

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Yukum Jaya pada tanggal 30 Mei 1999, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Tukiman dan Ibu Sri Hastini. Penulis memiliki Adik laki-laki bernama Tito Pranata Wijaya.

Penulis menempuh pendidikan di TK Xaverius Terbanggi Besar pada tahun 2003 dan diselesaikan pada tahun 2005. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD Xaverius Terbanggi Besar pada tahun 2005 dan diselesaikan pada tahun 2011. Penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP Xaverius Terbanggi Besar pada tahun 2011 dan diselesaikan pada tahun 2014. Penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 5 Metro pada tahun 2014 dan diselesaikan pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten mata kuliah instrumentasi selama 1 semester, asisten mata kuliah mekanisasi pertanian selama 1 semester, Korps Muda Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas di Kementerian Luar Negeri periode 2017/2018, dan Staf Ahli Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas di Kementerian Minat dan Bakat periode 2018/2019.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Praktek Umum di Unit Produksi Benih Tanaman Buah Pekalongan, Kabupaten Lampung Timur dengan judul “Mempelajari Teknik Okulasi Tanaman Jeruk (Citrus sp.) Di Unit Produksi Benih Tanaman Buah Pekalongan Kabupaten Lampung Timur” selama 30 hari mulai dari tanggal 2 Agustus sampai dengan 9 September 2021. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tematik pada periode 1 tahun 2020 di Desa Sumber Sari Kecamatan Penawar Aji Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung selama 40 hari.

PERSEMBAHAN

Sebuah karya sederhana penuh dengan perjuangan ini aku persembahkan untuk orang tuaku tercinta serta adikku terkasih.

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun Alat Ukur Kelengasan Pada Vermikompos Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan” sebagai salah satu syarat penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung,
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung,
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing 1,
4. Bapak Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing 2,
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Pembahas,
6. Ibu ku tercinta, ayah ku tersayang, serta adikku terkasih yang telah memberi doa, semangat serta dukungan yang tidak terbatas kepada saya,
7. Pak Remi, Mbak Ratdiana, Kak Aprizky Bagus Heldinto, dan Kak Ratna Ayu Permata Aini selaku penyedia alat serta bahan vermikompos pada penelitian ini dan dukungan-dukungannya,

8. Nanda Wisha Ranawati, Mazidah, Jilan Izdihar, Patrisca Aprillia Putri, Eva Triana Sari dan Agapetalia Indriyawati selaku teman yang membantu dan mendukung penelitian saya,
9. Amelia, Gusty Ayu Anggraini, Clara Fandadari, Asti Putri Zakiya selaku teman yang terus mendukung saya,
10. Sobat Basenko selaku teman begadang dan pemberi motivasi saya,
11. Keluarga Besar Teknik Pertanian 2017 atas dukungan dan segala bantuannya.
12. Serta semua pihak yang terlibat dalam proses penulisan skripsi ini,

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun demikian penulis berharap bahwa skripsi sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Bandarlampung, Maret 2023

Penulis,

Lintang Kinanti Pusparini

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Pupuk Organik.....	6
2.2. Vermikompos	7
2.3. Kelengasan	10
2.3.1. Metode Langsung	10
2.3.2. Metode Tidak Langsung	11
2.4. Konduktansi Media	13
2.5. Mikrokontroler	14
2.6. Jaringan Syaraf Tiruan	16
2.6.1. Komponen Jaringan Syaraf Tiruan.....	17
2.6.2. Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation	19
2.7. Penelitian Pendukung	20
III. METODOLOGI PERCOBAAN	24
3.1. Waktu dan Tempat	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Kriteria Desain	24

3.4. Rancangan Desain	25
3.5. Prosedur penelitian	26
3.5.1. Prosedur Pengambilan Data.....	28
3.5.2. Perhitungan Kadar Lengas Vermikompos.....	32
3.5.3. Perancangan Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	33
3.5.4. Pembentukan Persamaan Matematika	37
3.6. Pelatihan dan Pengujian	37
3.7. Rancangan Fungsional	38
3.8. Rancangan Struktural	41
3.9. Pemrograman.....	44
3.10. Analisis Data	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1. Hasil Perancangan Alat Ukur Kelengasan Vermikompos.....	48
4.2. Kadar Lengas Pada Sampel Vermikompos	52
4.2.1. Perhitungan Kadar Lengas Vermikompos.....	52
4.2.2. Nilai Kelengasan Vermikompos	54
4.2.3. Kandungan Unsur Hara Vermikompos.....	55
4.3. Hubungan Kelengasan dengan Nilai Resistansi pada Vermikompos	56
4.4. Hubungan Suhu dengan Nilai Resistansi pada Vermikompos	57
4.5. Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan	59
4.5.1. Kalibrasi Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	59
4.5.2. Uji Kalibrasi Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	66
4.5.3. Persamaan Matematika Dari Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	68
4.6. Integrasi Model Jaringan Syaraf Tiruan dengan Mikrokontroler	73
4.7. Validasi Rancangan Alat Ukur Kelengasan	74
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
5.1. Kesimpulan.....	83
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi arduino uno	15
2. Penelitian Pendukung	20
3. Fungsi aktivasi	36
4. Spesifikasi multimeter analog tipe YX-360TRD	43
5. Kadar lengas vermikompos	52
6. Nilai kelengasan sampel vermikompos sebagai kalibrasi dan uji kalibrasi	54
7. Nilai kelengasan vermikompos sebagai validasi	55
8. Kandungan unsur hara pada vermikompos	55
9. Hasil kalibrasi model jaringan syaraf tiruan pada variasi fungsi aktivasi	64
10. Hasil uji kalibrasi model jaringan syaraf tiruan pada variasi fungsi aktivasi ..	66
11. Data validasi prediksi alat ukur kelengasan (%) dengan nilai aktual (%)	75
12. Kriteria interpretasi koefisien korelasi	80

Lampiran

13. Data nilai resistansi pada berbagai suhu vermikompos sampel 1 ($k\Omega$)	92
14. Data nilai resistansi pada berbagai suhu vermikompos sampel 2 (Ω)	94
15. Data nilai resistansi pada berbagai suhu vermikompos sampel 3 (Ω)	96

16. Data nilai resistansi pada berbagai suhu vermikompos sampel 4 (Ω)	98
17. Data hasil kalibrasi 1 nilai observasi dan nilai prediksi model jaringan syaraf tiruan	100
18. Data hasil kalibrasi 2 nilai observasi dan nilai prediksi model jaringan syaraf tiruan	114
19. Data fungsi aktivasi kalibrasi dan uji kalibrasi model jaringan syaraf tiruan	121
20. Data hasil validasi nilai observasi dan alat ukur (%)	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Mikrokontroler Arduino Uno	15
2. Elemen jaringan syaraf tiruan	18
3. Rancangan desain alat ukur.....	25
4. Diagram prosedur penelitian	27
5. Diagram alir pengambilan data	29
6 . Diagram arsitektur jaringan syaraf tiruan	34
7. Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan.....	34
8. Proses pengembangan	35
9. Arduino Uno Atmega328.....	39
10. Resistor.....	39
11. Potensiometer	40
12. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD) 16x2	41
13. <i>Inter-Integrated Circuit</i> (I2C)	41
14. Termometer raksa.....	42
15. Multimeter analog	43

16. Probe kelengasan.....	44
17. Tampilan awal Arduino IDE.....	45
18. Diagram alir pemrograman	46
19. Alat ukur kelengasan tampak luar.....	48
20. Rancangan alat ukur kelengasan vermikompos	49
21. Komponen alat ukur kelengasan	50
22. Hubungan antara kelengasan tanah dengan nilai resistansi	56
23. Grafik hubungan nilai resistansi dengan suhu vermikompos	58
24. Tampilan layar pada software MATLAB	60
25. Hasil data <i>training</i> jaringan syaraf tiruan.....	61
26. Best training performance jaringan syaraf tiruan.....	62
27. Grafik hasil latih jaringan syaraf tiruan <i>plot regression</i>	63
28. Grafik kalibrasi satu model jaringan syaraf tiruan.....	65
29. Grafik kalibrasi dua model jaringan syaraf tiruan.....	67
30. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk <i>.txt</i>	68
31. Proses input model matematika ke dalam mikrokontroler.....	74
32. Grafik validasi nilai aktual dengan nilai prediksi alat ukur ($\pm 5\%$ Error).....	81
Lampiran	
33. Skematik rangkaian alat ukur kelengasan	91
34. Komponen-komponen alat ukur kelengasan.....	91

35. Penjemuran vermikompos agar berada pada kondisi kering.....	124
36. Perendaman vermikompos dengan air	124
37. Penirisan vermikompos	125
38. Penimbangan toples dan probe.....	125
39. Penimbangan vermikompos dan probe	126
40. Sampel vermikompos.....	126
41. Penimbangan cawan dan vermikompos	127
42. Pengovenan pada suhu 105 derajat celcius	127
43. Proses menurunkan suhu vermikompos.....	128
44. Proses menaikkan suhu vermikompos	128
45. Proses pengambilan data	129
46. Nilai kadar lengas pada alat	129

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kegiatan pertanian, kesuburan tanah merupakan hal penting karena dapat mempengaruhi hasil panen dan kelangsungan hidup tanaman. Kesuburan tanah dapat mengalami kemerosotan karena mengalami kekurangan unsur hara dan menghilangnya bahan organik dalam tanah. Permasalahan yang ditimbulkan dapat diatasi dengan penggunaan pupuk. Pupuk merupakan penyedia unsur hara yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Vermikompos merupakan pupuk organik yang memiliki nilai kapasitas tukar kation yang tinggi sehingga mampu memfasilitasi pertukaran hara untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Bachman and Metzger, 2008).

Vermikompos merupakan salah satu dari sekian banyaknya pupuk organik yang ada di Indonesia. Vermikompos diperoleh melalui proses dekomposisi atau pembusukan sisa-sisa tumbuhan dan hewan dengan bantuan cacing tanah yang mempunyai sistem pencernaan yang kaya jasad renik, enzim, dan senyawa organik lainnya. Vermikompos merupakan campuran dari kotoran cacing tanah dengan sisa media budidaya cacing tanah. Pemanfaatan limbah hayati dan cacing tanah yang mampu menghasilkan pupuk organik yang bermutu tinggi dan sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan akibat bertumpuknya limbah (Hilman dan Rosliani, 2002).

Proses pembuatan vermikompos dikenal dengan istilah vermikomposting. Vermikomposting dibantu oleh cacing *African Nightcrawler* dan *Lumbricus rubellus* sebagai pengurai. Proses vermikomposting membutuhkan waktu kurang

lebih sekitar 30 hari untuk mengubah limbah rumah tangga menjadi vermikompos. Selama proses vermikomposting berlangsung, suhu dari media vermikomposting tidak dapat terlalu tinggi ataupun terlalu rendah. Pada suhu yang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah, dapat membuat cacing pengurai merasa tidak nyaman untuk berada di dalam media dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada cacing pengurai tersebut.

Selain dari faktor suhu, kadar lengas dari media vermikomposting dapat mempengaruhi cacing pengurai yang berada didalamnya. Kelengasan media memiliki pengaruh pada aktivitas pergerakan cacing karena 75-90% berat tubuh dari cacing terdiri atas air. Usaha pencegahan kehilangan air merupakan masalah bagi cacing tanah (Nurmaningsih dan Syamsussabari, 2021). Karena hal inilah, suhu dan kadar lengas pada media harus diperhatikan dengan baik. Sehingga cacing pengurai dapat merasa nyaman berada di dalam media dan dapat mengurai dengan baik.

Kadar lengas adalah jumlah kandungan air yang terdapat dalam pori-pori tanah. Pada penelitian ini, kadar lengas merupakan banyaknya kandungan air yang tersimpan atau terdapat pada pori-pori vermikompos. Kadar lengas penting untuk mengetahui ketersediaan air pada media vermikompos, sehingga pemberian air pada media dapat tepat waktu dan sesuai dengan kecukupan serta kedalaman pembasahan media.

Teknik pengukuran kadar air dibedakan menjadi dua kategori yaitu pengukuran secara langsung dan pengukuran secara tidak langsung. Pengukuran kadar air secara langsung dilakukan dengan pemisahan air dari matrik tanah dan pengukuran langsung dari jumlah air yang dipisahkan. Metode pemisahan air dilakukan dengan beberapa cara, antara lain pemanasan, ekstraksi, dan penggantian larutan, serta reaksi kimia. Metode pemanasan biasa disebut dengan metode gravimetri, dan merupakan metode pengukuran secara langsung (Topp and Ferre, 2002). Penggunaan metode gravimetri harus dilakukan dalam laboratorium sehingga memerlukan waktu untuk mendapatkan nilai kelengasan.

Pengukuran kadar air secara tidak langsung dilakukan melalui mengukur sifat fisik dan sifat kimia tanah yang berhubungan erat dengan kadar air tanah. Pada pengukuran secara tidak langsung dapat diketahui melalui pengukuran waktu hantaran listrik dan sebaran neutron dalam tanah. Prinsip dari metode ini adalah mengukur dinamika sebaran neutron atau waktu hantar listrik karena adanya air yang ada di dalam tanah (Hermawan, 2005). Metode ini memerlukan waktu yang lebih lama serta memerlukan pengambilan sampel media. Teknik pengukuran kadar air dengan metode langsung dan tidak langsung kurang efisien karena memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengetahui nilai kadar lengas.

Kekurangan ini dapat diatasi dengan teknologi, penggunaan teknologi dalam bidang pertanian sering kita jumpai mulai dari persiapan lahan sampai dengan tahap pemanenan. Hal ini mempermudah masyarakat yang berprofesi sebagai petani. Teknologi yang digunakan untuk mengetahui kadar lengas adalah sensor lengas. Sensor lengas dimanfaatkan sebagai pemantau kelembaban atau kadar lengas dari tanah atau media. Sensor ini menghitung nilai kelengasan tanah dengan memanfaatkan dua buah probe yang ditancapkan ke dalam media.

Pada proses pembuatan vermikompos, kadar lengas perlu diketahui segera agar pemberian air pada media vermikompos tidak terlambat dan membuat cacing pengurai kekurangan kadar air yang dibutuhkan. Permasalahan yang ada pada lingkup pertanian adalah masyarakat tidak tahu tentang pengukuran kadar lengas yang tepat. Masih ada masyarakat yang mengukur kadar lengas dengan menduga kadar lengas suatu media dengan cara dipegang, tidak ada tolok ukur yang menjadi acuan lengas pada media.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat yang dapat mengintegrasikan kelengasan media tanpa perlu peng pelatihan. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk mendapatkan nilai yang presisi dan mudah digunakan. Model matematika yang diperoleh *diinput* ke dalam mikrokontroler untuk memudahkan penggunaan alat tanpa perlu peng pelatihan. Sehingga pengguna hanya memerlukan

mikrokontroler berisi model matematika yang telah dibuat untuk mengukur kelengasan pada vermikompos.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan alat ukur kelengasan untuk media vermikompos?
2. Bagaimana mengetahui model matematika untuk kelengasan vermikompos berdasarkan dengan jaringan syaraf tiruan?
3. Bagaimana kinerja alat ukur kelengasan vermikompos?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian alat ukur kelengasan pada vermikompos berbasis jaringan syaraf tiruan yaitu:

1. Tujuan Umum

Merancang alat ukur kelengasan pada vermikompos berbasis jaringan syaraf tiruan dengan parameter suhu vermikompos dan nilai resistansi.

2. Tujuan Khusus

Mengetahui model matematika untuk kelengasan vermikompos berdasarkan dengan jaringan syaraf tiruan serta mendapatkan uji kinerja dari alat ukur kelengasan vermikompos berupa RMSE (Root Mean Square) dan koefisien determinasi (R^2).

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian alat ukur kelengasan vermikompos berbasis jaringan syaraf tiruan adalah:

1. Mampu memberikan hasil penelitian yang nyata berupa alat ukur lengas vermikompos yang mudah dioperasikan.
2. Peneliti dapat menerapkan disiplin ilmu keteknikan yang diperoleh dari kuliah maupun praktikum untuk merancang, menciptakan, dan memecahkan permasalahan yang terjadi.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian alat ukur kelengasan pada vermikompos berbasis jaringan syaraf tiruan yaitu:

1. Bahan yang digunakan yaitu vermikompos.
2. Panjang probe kelengasan yang digunakan 7,8 cm dan lebar 0,8 cm, diameter 3 mm.
3. Percobaan dilakukan pada skala laboratorium.
4. Kandungan unsur hara yang ada pada vermikompos diabaikan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pupuk Organik

Pupuk organik atau dikenal dengan pupuk alami merupakan hasil akhir dari penguraian sisa-sisa tanaman maupun binatang. Produk pupuk organik yang umum dikenal antara lain pupuk hijau, pupuk kandang, kompos, dan vermikompos (Sutedjo, 2010). Pupuk adalah bahan yang mengandung satu atau lebih dari unsur hara atau nutrisi bagi tanaman untuk pertumbuhan serta menggantikan unsur yang terserap oleh tanaman. Pupuk merupakan bahan yang ditambahkan pada media tanam atau tanaman untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman sehingga mampu memproduksi dengan baik.

Berdasarkan pada komponen penyusun utama, pupuk dibedakan menjadi pupuk organik dan pupuk anorganik. American Plant Food Control Officials (APFCO) berpendapat bahwa pupuk organik adalah bahan yang mengandung karbon dan unsur hara selain H dan O yang esensial untuk pertumbuhan tanaman. USDA *National Organic Program* memiliki pendapat bahwa pupuk organik adalah semua yang berasal dari bahan alami dan tidak mengandung bahan terlarang. Menurut *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), pupuk organik adalah kompos atau *manure* (pupuk) yang diaplikasikan pada tanaman sebagai unsur hara (Funk, 2014). Tujuan dari pemberian pupuk organik untuk mempertinggi ataupun memperkaya bahan organik yang ada di dalam tanah.

Pupuk organik mempunyai keunggulan dan kelemahan. Pupuk organik memiliki beberapa keunggulan antara lain meningkatkan kandungan bahan organik tanah,

memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air (*Water Holding Capacity*), meningkatkan kehidupan biologi tanah, kapasitas tukaran tanah meningkat, dan meningkatkan ketersediaan hara tanah. Kelemahan dari pupuk organik antara lain sulit untuk mendapatkan jumlah yang banyak, tidak bisa secara langsung diaplikasikan ke dalam tanah dan harus melalui proses dekomposisi, pengangkutan dan aplikasinya mahal karena jumlahnya banyak. Pupuk organik terdiri dari pupuk kandang, pupuk hijau, kompos, tepung tulang dan tepung darah (Hasibuan, 2006).

Pupuk organik terbuat dari sisa tanaman (jerami, tongkol jagung, brangkasan, bagas tebu, sabut kelapa) serbuk gergaji, kotoran hewan, limbah media pasar, limbah media jamur, limbah rumah tangga dan pabrik serta pupuk hijau. Bahan dasar dari pembuatan pupuk organik sangat bervariasi sehingga kualitas pupuk yang dihasilkan sangat beragam sesuai dengan kualitas bahan dasar serta proses pembuatannya. Komposisi hara yang terdapat dalam pupuk organik sangat bergantung pada sumber asal bahan dasar. Menurut sumbernya, pupuk organik diidentifikasi berasal dari kegiatan pertanian (serasah, kotoran ternak) dan dari kegiatan nonpertanian (sampah organik kota, limbah industri) (Tan, 1993).

2.2. Vermikompos

Vermikompos adalah kompos hasil perombakan bahan organik yang dilakukan oleh cacing tanah selama proses vermikomposting. Vermikompos merupakan campuran dari kotoran cacing tanah dengan sisa media atau pakan dalam budidaya cacing tanah, oleh karena itu vermikompos merupakan pupuk organik ramah lingkungan dengan keunggulan tersendiri dibanding kompos lain (Karmakar et al., 2012).

Keuntungan dari vermikompos adalah prosesnya lebih cepat dari pembuatan kompos dan kompos yang dihasilkan (kascing = bekas cacing) mengandung unsur hara tinggi (Mashur, 2001; Suharyanto, 2002). Vermikompos dapat menahan air sebesar 40-60% karena struktur vermikompos terdapat ruang-ruang untuk

menyerap dan menyimpan air sehingga dapat mempertahankan kelembaban (Noverina dan Yulita, 2019).

Unsur hara pada vermikompos lebih beragam dibanding dengan kompos-kompos biasa. Kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dan terdapat pada vermikompos antara lain N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Al, Na, Cu, Zn, B dan Mo sesuai dengan bahan organik utama yang digunakan untuk vermikompos. Selain memiliki unsur hara yang lebih beragam, vermikompos merupakan sumber nutrisi bagi mikroba tanah. Kualitas vermikompos yang baik ditandai dengan warna hitam kecoklatan hingga hitam, tidak berbau, bertekstur remah dan matang (Mashur, 2001). Penambahan vermikompos pada media tanah dapat membuat mikroba pengurai bahan organik tanah dapat berkembang dan menguraikan bahan organik lebih cepat. Vermikompos mampu memperbaiki struktur tanah, menetralkan pH tanah, memperbaiki kemampuan tanah dalam menyerap air, dan menyediakan nutrisi untuk tanaman (Nita, 2011).

Proses pengomposan dibantu oleh beberapa mikroorganisme diantaranya adalah *actinomycetes*, bakteri, dan *fungi* (Domínguez et al. 1997). Jenis cacing yang sering digunakan dalam proses pengomposan vermikompos adalah *Eisenia foetida* dan *Lumbricus rubellus*, karena konsumsi bahan organik yang tinggi dan mampu mentoleransi perubahan lingkungan secara luas (Edwards, et al. 1998). Cacing tanah tersebut termasuk dalam filum *Annelida*, Kelas *Clitellata*, Sub Kelas *Oligochaeta* (Brusca dan Brusca, 2003). Spesies *Lumbricus rubellus* dapat merubah bahan organik menjadi bentuk yang lebih halus secara alami dan mengandung humus. Humus yang terbentuk merupakan faktor utama untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Vermikompos termasuk ke dalam pengomposan aerobik yang memanfaatkan cacing tanah sebagai dekomposer atau sebagai perombak utama dan penentu keamanan dari pupuk vermikompos itu sendiri. Vermikompos dapat dipergunakan sebagai pupuk alami atau *soil conditioner* (pembenah tanah) karena mengandung bahan organik yang kaya unsur hara (Latupeirissa, 2011). Pengaplikasian

vermikompos dapat dilakukan dengan mencampurkan vermikompos dengan tanah. Vermikompos berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah karena vermikompos membantu menyediakan unsur hara bagi tanaman, memperbaiki struktur tanah, dan memperbaiki kemampuan menahan air tanah.

Vermikompos merupakan hasil dari vermikomposting atau proses produksi pupuk organik dengan bantuan cacing tanah sebagai aktivator dan menggunakan sampah organik sebagai bahan utama. Vermikomposting adalah proses penguraian bahan organik dalam keadaan aerob yang dilakukan oleh cacing tanah *Lumbricus rubellus* dan mikroorganisme berupa bakteri dan jamur. Vermikomposting merupakan bioteknologi sederhana dengan memanfaatkan cacing tanah sebagai perombak guna meningkatkan laju perombakan sampah organik atau limbah untuk menghasilkan hasil akhir yang lebih baik (Nita, 2011).

Pada proses vermikomposting penguraian oleh cacing tanah merupakan proses penguraian lanjutan setelah bakteri pengurai yang tetap aktif menguraikan sampah. Sampah organik yang diberikan akan dicerna aktif oleh cacing tanah sehingga mengeluarkan kotoran berbentuk butiran kecil. Hasil dari sisa pencernaan cacing tanah *Lumbricus rubellus* adalah butiran-butiran kecil yang terbentuk. Proses penguraian yang dilakukan oleh cacing dilakukan secara aerobik sehingga tidak menyebabkan bau seperti pada pembuatan kompos biasa. Waktu yang dibutuhkan oleh mikroba untuk menguraikan sampah lebih cepat dan kotoran cacing yang menjadi kompos (vermikompos) (Patterson, et al. 2004).

Penggunaan vermikompos pada bidang pertanian diterapkan pada pemupukan tanah. Vermikompos mengandung berbagai unsur hara yang diperlukan oleh tanaman serta merupakan sumber nutrisi bagi mikroba tanah. Selain itu vermikompos juga mampu memulihkan kemampuan untuk menahan air, membenahi struktur tanah, membantu proses dekomposisi limbah organik, dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Secara umum, penggunaan vermikompos sebagai pupuk sudah banyak digunakan pada beberapa perusahaan perkebunan, seperti PT. Great Giant Food.

2.3. Kelengasan

Lengas tanah adalah air yang mengisi seluruh atau sebagian pori-pori tanah. Kadar lengas tanah merupakan air yang terdapat pada tanah yang terikat oleh berbagai kaku, yaitu kaku ikat matrik, osmosis dan kapiler (Prasetyo, dkk. 2016). Pada kenyataannya, penggunaan kata lengas tidak hanya melekat pada tanah, tetapi dapat mengacu pada media yang memiliki sifat fisik maupun sifat kimia yang hampir sama dengan tanah. Sebagai contoh vermikompos. Lengas dapat diartikan dengan keadaan dimana air yang mengisi, tersimpan, atau terserap pada suatu media atau bahan. Kadar lengas dinyatakan dalam bentuk persen berat ataupun persen volume.

Kadar lengas atau kadar kelembaban pada tanah merupakan salah satu faktor penting bagi tanaman, karena kadar air yang terkandung didalamnya dapat mempengaruhi tumbuh tanaman. Dalam proses perawatan tanaman, kadar lengas tanah dimanfaatkan sebagai penentu waktu penyiraman untuk sebagian besar proses bercocok tanam, seperti pengairan pada lahan sawah atau irigasi. Dalam waktu jangka panjang, kadar kelembaban dan kelengasan tanah sangat penting untuk diketahui sebagai pemantauan kekeringan pertanian dan prediksi hasil panen pertanian (Malik dan Shukla, 2014). Sedangkan kadar lengas pada pupuk vermikompos merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dari vermikompos dan proses vermikomposting.

Kadar kelengasan dapat diketahui melalui beberapa macam metode, diantaranya dapat dilakukan secara langsung dengan menghitung perbedaan berat bahan (metode gravimetrik) dan secara tidak langsung dengan pengukuran sifat-sifat yang berhubungan erat dengan air (Dharma dan Maman, 2015). Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing metode untuk mengetahui kadar kelengasan :

2.3.1. Metode Langsung

Pengukuran kadar kelengasan dengan metode langsung dilakukan melalui pemisahan air dari matrik bahan dan pengukuran langsung jumlah air yang

dipisahkan. Pemisahan air dapat dilakukan dengan beberapa macam teknik yaitu, pemanasan, ekstraksi, dan penggantian larutan, serta reaksi kimia. Pemisahan air dengan teknik pemanasan disebut dengan metode gravimetri (Topp and Ferre, 2002).

Metode gravimetri dikategorikan menjadi dua, yaitu gravimetri secara langsung dan tidak langsung. Pada gravimetri langsung dimana zat yang akan ditetapkan merupakan analisis yang bobotnya dapat ditimbang, sedangkan tidak langsung zat yang akan ditetapkan bobotnya didapatkan dari bobot sebelum dan sesudah proses. Metode gravimetri harus dilakukan di laboratorium sehingga dalam penerapannya memerlukan banyak waktu dan tenaga untuk mendapatkan satu nilai kadar air (Hermawan, 2004). Metode ini dilakukan di laboratorium dengan memanaskan sampel bahan di oven selama 1x24 jam dengan suhu 105°C. Berikut rumus yang digunakan dalam menentukan kadar air tanah (Abdurrachman, 2006):

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Berat Kering}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

Berat basah = (berat tanah + berat cawan) sebelum dioven – berat cawan

Berat kering = (berat tanah + berat cawan) setelah dioven – berat cawan

Rumus tersebut merupakan rumus untuk menentukan kadar air tanah basis kering. Hal ini ditunjukkan dengan menggunakan berat kering tanah sebagai pembagi pada rumus. Sedangkan untuk basis basah, pembagi yang digunakan adalah berat basah pada tanah. Sehingga rumus nya akan menjadi :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Berat Basah}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

2.3.2. Metode Tidak Langsung

Pengukuran kadar kelengasan dengan metode tidak langsung dilakukan melalui pengukuran sifat-sifat bahan yang berhubungan erat dengan air. Beberapa metode tidak langsung untuk mengetahui kadar kelengasan antara lain dengan neutron

probe dan sifat fisik dielektrik bahan. Metode neutron probe memanfaatkan kemampuan hidrogen untuk melambatkan neutron yang cepat dan lebih efisien dibandingkan dengan zat lainnya. Metode dielektrik berpusat pada perbedaan besar konstanta dielektrik air dan dari tanah terkering (Malik dan Shukla, 2014).

Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui nilai kadar kelengasan adalah dengan mengukur nilai konduktivitas elektrik (electrical conductivity). Terdapat dua metode untuk memperoleh konduktivitas elektrik yaitu, induksi elektromagnetik dan langsung. Induksi elektromagnetik dilakukan melalui pemberian energi elektromagnetik pada geologi tanah dengan memanfaatkan sumber arus yang melewati permukaan bumi dan tidak terjadi kontak fisik. Sedangkan untuk metode langsung melibatkan perangkat untuk mengarahkan arus listrik ke dalam tanah melalui elektroda logam terisolasi yang menembus permukaan tanah (Octavianus dkk, 2014). Grisso dkk. (2009) mengungkapkan bahwa nilai konduktivitas elektrik tanah adalah kemampuan tanah untuk menghantarkan arus listrik dalam satuan per mili siemens per meter (mS/m).

Pengukuran kadar lengas dengan menggunakan sensor merupakan metode pengukuran dengan menghitung persentase air yang ada dalam tanah dengan pelatihan terhadap variabel lain (contoh arus listrik) (Carpena dkk, 2012). Hasil kerja dari sensor kelembaban jenis kapasitif dipengaruhi oleh luas permukaan elektroda logam pada rangkaian sensor tersebut (Cifriadi, 2005). Karena nilai yang terukur bukan kandungan lengas tanah melainkan arus listrik yang ada di dalam tanah, sehingga diperlukan pelatihan untuk mendapatkan hubungan antara kadar lengas tanah atau air tersedia di dalam tanah dengan tahanan atau resistansi listrik (ohm). Nilai hambatan yang terdapat dipengaruhi oleh kadar air yang ada tanah, dari hubungan antara kedua nilai tersebut dapat dilakukan kalibrasi sehingga nilai hambatan yang diperoleh mampu menggambarkan nilai kadar air tanah (Johnson, 1992).

2.4. Konduktansi Media

Konduktansi merupakan kemampuan dari suatu materi untuk menghantarkan muatan listrik dari satu titik ke titik yang lain, yang merupakan lawan atau kebalikan dari resistansi (Hapsari dan Chaidir, 2016). Jika pada ujung konduktor terdapat beda potensial listrik, maka muatan akan bergerak untuk menghasilkan arus listrik. Menurut Karato & Wang (2013), konduktivitas listrik adalah mengukur mobilitas suatu partikel bermuatan (elektron atau ion, maupun keduanya) sebagai respon terhadap medan listrik. Nilai dari konduktivitas listrik sangat dipengaruhi oleh kadar air, kepadatan, dan struktur bahan. Pada kelistrikan, hubungan antara konduktivitas dan resistivitas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{I}{R} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana

σ = konduktansi (Mho)

i = arus (Ampere)

R = resistansi bahan (Ohm)

Berdasarkan persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai dari resistansi semakin besar jika nilai dari konduktansi semakin kecil, sedangkan nilai resistansi akan semakin kecil jika nilai dari konduktansi semakin besar (Marpaung dan Ervianto, 2009). Pada penelitian Hermawan (2000) terkait dengan pengukuran sifat-sifat dielektrik menunjukkan bahwa udara dalam pori cenderung menghambat laju konduktivitas. Nilai konduktansi listrik pada suatu medium bergantung pada seluruh spektrum ukuran pori dan dapat secara signifikan dipengaruhi oleh banyaknya pori-pori kecil (Ioannidis et,al., 1993).

Nilai konduktansi elektrik pada suatu bahan dapat diukur dengan baik melalui dua buah konduktor logam terpisah yang ditanamkan ke dalam media. Salah satu sensor dengan pendekatan konduktivitas elektrik langsung pada media ialah sensor lengas. Pengukuran kadar lengas dengan metode konduktansi merupakan

nilai lengas dari hasil nilai tegangan maupun arus listrik yang diterima melalui masing-masing kutub elektroda yang kemudian diolah atau dikalibrasi.

Sensor ini berhubungan langsung dengan media (*contact sensor*) dan diukur melalui sepasang elektroda atau konduktor yang ditancapkan secara sejajar dengan jarak tertentu. Jarak antara elektroda atau konduktor harus diperhatikan, karena semakin jauh atau besar jarak antara elektroda maka densitas arus yang mengalir pada media tanah semakin menurun (Suprpto, 2006). Penelitian Telaumbanua dkk. (2015) metode konduktansi ini diterapkan dalam pembuatan sensor EC dengan memanfaatkan elektroda untuk mengukur nilai konduktansi dalam larutan.

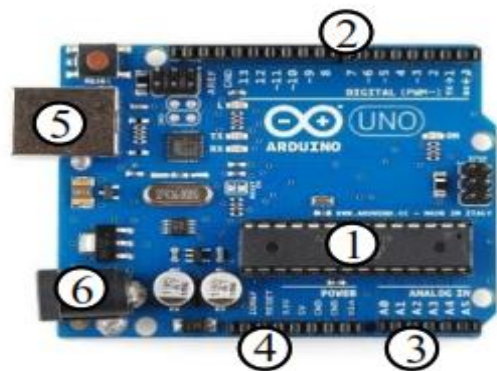
2.5. Mikrokontroler

Mikrokontroler didefinisikan sebagai sebuah alat elektronika digital yang mempunyai nilai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang sebagian besar atau bahkan seluruh bagian elemennya dikemas dalam sebuah IC (Integrated Circuit), sehingga sering disebut dengan single chip microcomputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik (Anna, 2010).

Mikrokontroler merupakan komponen elektronika yang sudah sangat umum digunakan dalam teknologi modern di masa kini. Sebuah IC mikrokontroler terdiri dari satu atau lebih inti prosesor (CPU), memori (RAM dan ROM), serta perangkat input dan output yang dapat diprogram. Dalam pengaplikasiannya, mikrokontroler atau pengendali mikro digunakan dalam perangkat atau produk yang dikendalikan secara otomatis seperti pengendali jarak jauh, sistem kontrol mesin mobil, perangkat medis, peralatan listrik dan perangkat atau produk yang tertanam sistem lainnya. Terdapat tiga jenis mikrokontroler yaitu MCS51, AVR, dan PIC.

Arduino uno adalah komponen elektronik yang memiliki fungsi seperti mikrokontroler dengan sifat open source. Arduino merupakan kombinasi dari perangkat keras, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. IDE merupakan sebuah software yang digunakan untuk menulis program yang akan di upload ke dalam memori mikrokontroler dengan menggunakan bahasa pemrograman C. Board Arduino memiliki kemampuan untuk membaca serta mengeluarkan nilai masukan data digital dan data analog.

Kadir (2013) menyatakan bahwa arduino uno merupakan board arduino yang memiliki mikrokontroler ATmega328. Mikrokontroler ATmega328 adalah salah satu seri dari mikrokontroler AVR (advance versatile rich) dan merupakan jenis mikrokontroler yang sebagian instruksi dieksekusi dalam satu clock dan memiliki mikroprosesor 16-bit.



1. Mikrokontroler Atmega 328
2. Pin Digital
3. Pin Analog
4. Pin Sumber Tegangan
5. Konektor USB
6. Konektor Catu Daya

Gambar 1. Mikrokontroler Arduino Uno
(Sumber : Arduino, 2015)

Tabel 1. Spesifikasi arduino uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5 volt
Tegangan input (disarankan)	7 – 12 volt
Batas tegangan input	6 – 20 volt

Tabel 1. Lanjutan

Jumlah pin I/O digital	14 (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3 volt	50 Ma
Memori flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0,5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock speed	16 MHz

Sumber : (Arduino, 2015)

2.6. Jaringan Syaraf Tiruan

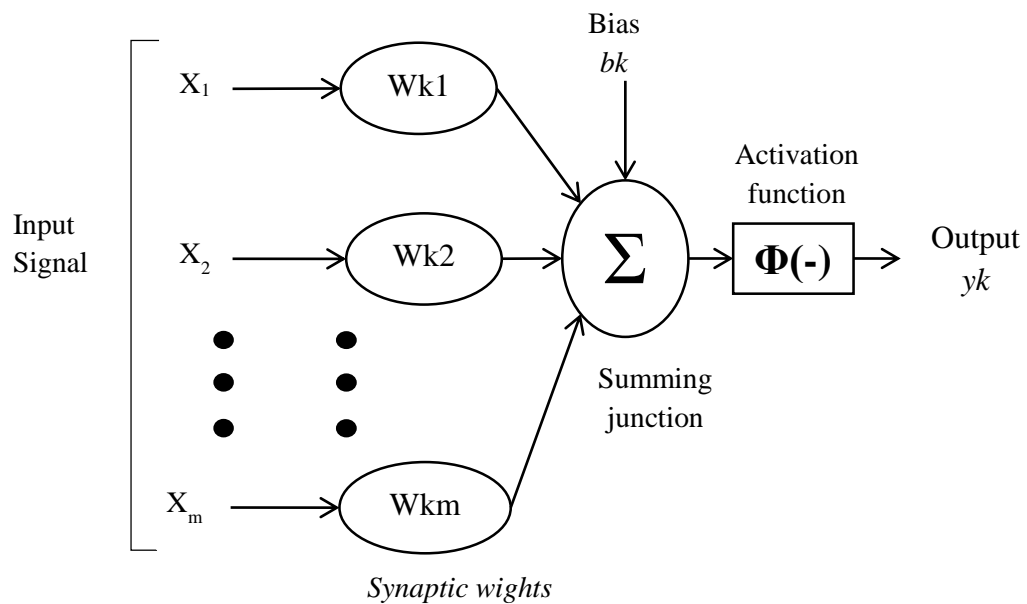
Jaringan Syaraf Tiruan (JST) digunakan sebagai penyeleksi parameter dielektrik dan kondisi rangkaian. Jaringan syaraf tiruan merupakan model matematik terstruktur yang fungsinya di inspirasi oleh organisasi dan fungsi otak manusia (Bila *et al.* 1999). Jaringan syaraf tiruan menyelesaikan suatu permasalahan dengan melakukan proses pembelajaran melalui perubahan bobot sinapsisnya. Jaringan syaraf tiruan dapat melakukan pengenalan kegiatan pada data masa lalu dan mempelajarinya. Sederhananya, jaringan syaraf tiruan meniru bagaimana cara kerja otak dari manusia dengan asumsi bahwa :

1. Proses informasi terjadi pada banyak elemen sederhana yang disebut dengan neuron.
2. Sinyal yang melewati antar neuron / sel saraf menggunakan suatu sambungan tertentu.
3. Setiap penghubung antar neuron mempunyai bobot yang bersesuaian.
4. Setiap neuron / sel saraf merupakan fungsi aktivasi terhadap sinyal hasil penjumlahan berbobot yang masuk untuk menentukan sinyal keluarannya (Hermawan, 2006).

Menurut Wibawa (2016), jaringan syaraf tiruan terdiri dari elemen yang berkegiatan analog dengan fungsi-fungsi biologis neuron yang paling dasar. Elemen-elemen atau unsur-unsur ini terorganisasi selayaknya anatomi otak. Pada jaringan syaraf tiruan terdapat bagian yang menyerupai bagian pada jaringan syaraf biologis manusia, yaitu neuron, *input*, *output*, dan bobot.

2.6.1. Komponen Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan terdiri dari beberapa neuron. Neuron merupakan penyederhanaan dari saraf dan merupakan unit pengolah informasi yang menjadi dasar jaringan syaraf tiruan. Neuron-neuron pada satu lapisan terhubung dengan lapisan (*layer*) sebelum dan sesudahnya (kecuali lapisan *input* dan lapisan *output*). Proses pemberian informasi pada jaringan syaraf dengan menyebarkan informasi-informasi tersebut dari lapisan *input* sampai dengan lapisan *output* melalui lapisan lainnya, yang biasa disebut sebagai lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Pola proses ini dikenal dengan istilah bobot. Informasi yang ada disimpan pada nilai tertentu pada bobot tertentu.



Gambar 2. Elemen jaringan syaraf tiruan

Berikut merupakan penjelasan dari gambar elemen jaringan syaraf tiruan

1. Input: X_1, X_2, \dots, X_m adalah sinyal yang masuk ke dalam sel saraf
2. Bobot (*weight*): $W_k, W_{k2}, \dots, W_{km}$ ialah bobot yang terhubung dengan masing-masing node. Input dikalikan dengan bobot pada node masing-masing, $xT.w$. Sesuai dengan fungsi aktivasi yang digunakan, nilai dari $xT.w$ dapat membangkitkan node atau menghalangi node.
3. *Threshold*: nilai ambang internal dari node adalah besarnya nilai offset yang mempengaruhi aktivasi dari output node y .
4. Fungsi aktivasi merupakan sinyal output yang dihasilkan dari operasi matematik. Pada jaringan syaraf tiruan terdapat 27 variasi fungsi aktivasi. (Nursaniansyah, 2021).

Neuron-neuron dalam *neural network* disusun dalam lapisan (*layer*) serta memiliki pola keterhubungan dalam satu atau antara lapisan lainnya disebut dengan arsitektur jaringan (Najwa dkk, 2017). Arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam jaringan syaraf tiruan antara lain jaringan lapis tunggal (*single layer network*) dan jaringan lapis jamak (*multi layer network*). Jaringan syaraf

tiruan memiliki tiga macam lapisan (*layer*) yaitu, lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*) dengan banyak node sebagai pemroses informasi (Seo, 2013).

Pada jaringan syaraf tiruan terdapat dua model proses pembelajaran yaitu pembelajaran model terbimbing (*supervised learning*) dan pembelajaran model tidak terbimbing (*unsupervised learning*) (Fausett, 1994). Pembelajaran model terbimbing (*supervised learning*) yaitu jaringan yang diberikan satu *input* tertentu dan hasil *output* ditentukan oleh algoritma yang dibuat atau dibimbing. Pada proses belajar ini, jaringan syaraf tiruan akan menyesuaikan bobot sinaptiknya. Sedangkan pembelajaran tidak terbimbing (*unsupervised learning*) yaitu jaringan syaraf tiruan yang secara mandiri mengatur hasil *output* sesuai dengan aturan yang ditetapkannya.

2.6.2. Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation

Backpropagation merupakan jaringan lapis jamak (*multi layer network*). Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* merupakan algoritma yang digunakan untuk melatih jaringan. Penggunaan *backpropagation* meliputi tiga tahap yaitu umpan maju (*feedforward*) dari pola *input*, penghitungan *error* dan penyesuaian bobot. Pada tahap *feedforward*, node diaktifkan menggunakan fungsi aktivasi logaritmik. Tahap *backpropagation error*, dilakukan perhitungan dari *error* yang dihasilkan. Pada tahap penyesuaian bobot dan bias, *error* yang terhitung digunakan untuk mengubah nilai-nilai bobot dan biasnya sehingga nilai *error* semakin kecil.

Algoritma *backpropagation* bekerja secara mundur, yaitu dengan lapisan *output* (*output layer*) menuju lapisan *input* (*input layer*) untuk memperbaiki nilai yang ada pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*) berdasar dengan nilai *error* yang diperoleh (Nugraha, dkk., 2013). Jurmawanto. et al, (2009), berpendapat bahwa pelatihan pada jaringan syaraf tiruan *backpropagation* bertujuan untuk memperoleh keseimbangan antara kemampuan jaringan mengenali pola yang digunakan dalam proses pelatihan serta kemampuan untuk memberikan respon

yang benar terhadap pola masukan yang serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan. Jaringan syaraf tiruan dengan algoritma backpropagation termasuk dalam kategori model pembelajaran terbimbing (*supervised learning*). Algoritma pembelajaran *backpropagation* merupakan metode *gradient descent* (penurunan gradien) untuk meminimalisir nilai error pada output yang melibatkan pemetaan input terhadap target output.

Algoritma ini disebut sebagai backpropagation atau propagasi balik dapat diuraikan sebagai berikut: Ketika Jaringan diberikan pola *input* sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju ke unit-unit pada *hidden layer* (lapisan tersembunyi) untuk diteruskan ke unit-unit *output layer* (lapisan keluaran). Setelahnya unit-unit pada *output layer* (lapisan keluaran) memberikan tanggapan yang disebut sebagai keluaran jaringan (*output* jaringan). Saat keluaran jaringan tidak sama dengan keluaran yang diharapkan maka keluaran akan menyebar mundur (*backward*) pada *hidden layer* (lapisan tersembunyi) diteruskan ke unit pada *input layer* (lapisan masukan). Sehingga mekanisme pelatihan tersebut dinamakan backpropagation/propagasi balik.

2.7. Penelitian Pendukung

Penelitian pendukung yang sudah dilakukan sebelumnya diperlukan untuk menambah informasi dan ilmu yang berkaitan dengan penelitian. Penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penelitian Pendukung

No.	Nama	Topik Penelitian	Metode dan Hasil
1	Nur Rahma Safitri, 2019	Rancang Bangun Sensor Kelengasan dan Suhu Tanah berbasis Jaringan Syaraf Tiruan	Metode yang digunakan adalah jaringan syaraf tiruan <i>backpropagation</i> dengan tiga parameter yaitu nilai resistansi, suhu tanah dan kedalaman elektroda. Rancangan alat yang dihasilkan dapat bekerja dengan baik, dan menghasilkan nilai RMSE sebesar 3,99605434 dan nilai RRMSE sebesar 0,0955 (9,55%).

Tabel 2. Penelitian Pendukung lanjutan

2. Wahyu, 2021	Rancang Bangun Sensor Kelengasan Pada Beberapa Jenis Tanah Tanah Pada Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan	Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk memperoleh model pengembangan persamaan matematika nilai kelengasan tanah pada jenis tanah podsolik merah kuning, latosol, kambisol serta memperoleh uji kinerja alat berupa RMSE dan analisis determinasi. Alat ukur yang dibuat memperoleh nilai RMSE sebesar 5,19768, RRMSE sebesar 11,75%, dan koefisien determinasi sebesar 0,8774 yang menunjukkan pengembangan model dari resistansi, suhu dan jenis tanah layak dalam penentuan nilai kelengasan tanah.
3. Renaldy Fiqih Nursaniansyah, 2021	Rancang Bangun Perangkat Identifikasi Kemurnian Aroma Campuran Blending Biji Kopi Sangrai Natural Luwak dan Natural Arabika Menggunakan Electronic Nose Dengan Metode Pembelajaran Jaringan Syaraf Tiruan <i>Backpropagation</i>	Metode yang digunakan adalah jaringan syaraf tiruan <i>backpropagation</i> untuk mengidentifikasi kemurnian biji kopi menggunakan sensor <i>E nose</i> . Hasil yang diperoleh yaitu sensor mampu mendeteksi kemurnian biji kopi dengan nilai RMSE sebesar 6,9414 dan koefisien determinasi sebesar 0,96. Persentase ketepatan sensor <i>e-nose</i> dalam memprediksi kemurnian biji kopi sampel pertama sebesar, sampel kedua dan sampel ketiga masing masing sebesar 93,3%, 86,66%, dan 66,66%.
4. Bandi Hermawan, 2005	Monitoring Kadar Air Tanah melalui Pengukuran Sifat Dielektrik pada Lahan Jagung	Metode yang digunakan adalah dengan mengukur impedensi listrik secara berkala melalui dua pasang kawat tembaga dibungkus karet dengan bagian bawah yang dikupas yang ditanam pada tanah kedalaman 10 – 20 cm dengan ohm meter digital. Hasil yang diperoleh yaitu nilai impedensi listrik yang terukur memiliki tingkat sensitivitas terhadap fluktuasi kadar air tanah, nilai

Tabel 2. Penelitian Pendukung lanjutan

		impedensi listrik (Z) dikonversi menjadi kadar air tanah dengan persamaan $\theta_g = 0,59Z^{-0,43}$ lapisan 0-10 cm dan $\theta_g = 1.01 Z^{-0,65}$ pada lapisan 10-20 cm.
5.	Lutfiyana, Noor Hudallah dan Agus Suryanto, 2017.	Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah, Kelembaban Tanah, dan Resistansi
		Metode yang dilakukan ialah pengukuran suhu dengan sensor DS18B20 <i>waterproof</i> , kelembaban tanah dengan sensor YL-69, dan resistansi menggunakan dua <i>probe</i> . Hasil penelitian berupa alat ukur yang dapat bekerja dengan baik dengan tingkat kelayakan alat ukur sebesar 86,67%.
6.	Djunaidin, Bidayatul Armynah dan Bualkar Abdullah, 2015.	Desain Dan Implementasi Sistem Alat Ukur Kelembaban Tanah
		Metode yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan hubungan air dan tanah (konduktivitas) dengan mengukur kelembaban menggunakan sensor <i>moisture sensor SEN0114</i> dan <i>soil moisture tester</i> . Hasil penelitian berupa alat ukur kelembaban tanah dengan menggunakan <i>moisture sensor SN0114</i> dan <i>soil moisture tester</i> yang memberikan hasil yang sama pada pengukuran kondisi tanah kering.
7.	Bandi Hermawan, 2004	Penetapan Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik Pada Berbagai Tingkat Kepadatan
		Metode yang digunakan ialah pengukuran impedensi listrik menggunakan Ohm-meter digital yang dihubungkan rangkaian elektronik yang mengeluarkan arus listrik pada sinyal frekuensi 1 kHz. Hasil yang diperoleh yaitu kadar air tanah dapat ditetapkan secara insitu di lapangan melalui pengukuran nilai impedensi listrik tanah, pada tanah yang diteliti kadar air dapat dihitung berdasarkan persamaan $\theta_v = (1/P_b) 0.24 Z^{-0,61}$ ($R^2 = 0.964$) dimana Z adalah impedensi listrik dan P_b adalah berat volume tanah.
8.	Faqih Mualifah, 2009.	Perancangan dan Pembuatan Alat Ukur Resistivitas Tanah
		Metode yang digunakan adalah menggunakan konfigurasi <i>wenner</i> dengan menginjeksikan arus ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus.

Tabel 2. Penelitian Pendukung lanjutan

			Beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial yang berada di dalam konfigurasi. Hasil yang diperoleh yaitu diketahui bahwa nilai resistivitas tanah berbeda pada setiap tanah, semakin panjang elektroda maka semakin dalam target pengukuran dan resistivitasnya juga semakin besar.
9.	Lahallo, 2019.	Rancang Bangun Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Bahan <i>Stenlis Steel</i> Tipe 304 Berbasis Mikrokontroler Arduino	Metode yang digunakan adalah mengalirkan arus pada dua probe dari bahan <i>stainless steel</i> tipe 304 untuk memperoleh nilai resistansi dan dibandingkan dengan nilai yang diperoleh melalui <i>soil moisture tester</i> dan <i>moisture sensor SEN0114</i> . Sensor kelembaban tanah dengan menggunakan bahan dari <i>stainless steel</i> tipe 304 yang dibuat menghasilkan kinerja baik karena keluaran yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan keluaran dari sensor pabrikan yaitu YL-69.
10.	Siti Suharyatun, W. Rahmawati, dan C. Sugianti, 2019.	Jaringan Syaraf Tiruan untuk Pendugaan Porositas Tanah	Metode yang digunakan adalah menggunakan sampel tanah yang ditentukan berat volume dan berat jenis tanah serta indeks porositas. Model jaringan syaraf tiruan dibuat dengan 3 variabel <i>input</i> (Presentasi fraksi liat, persentase fraksi debu, dan persentase fraksi pasir) dan 1 variabel <i>output</i> (indeks porositas tanah) dengan pelatihan dan validasi model menggunakan 18 data dari jenis dan komposisi fraksi penyusun berbeda. Pelatihan model jaringan syaraf tiruan menghasilkan fungsi aktivasi <i>logsig-tansig-purelin</i> dengan RMSE sebesar 2,0242 dan nilai R^2 sebesar 0,9577. Validasi dari model jaringan syaraf tiruan diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9577.

III. METODOLOGI PERCOBAAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai bulan Juli 2022 di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan di jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah toples kaca, probe kelengkapan tanah, laptop dengan kelengkapan Arduino IDE dan Matlab R2016b, analog multimeter, cawan, oven, timbangan dan termometer. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino Uno, LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2, I²C (*Inter-Integrated Circuit*), kabel port, potensiometer, dan vermikompos yang diperoleh dari PT. Great Giant Food.

3.3. Kriteria Desain

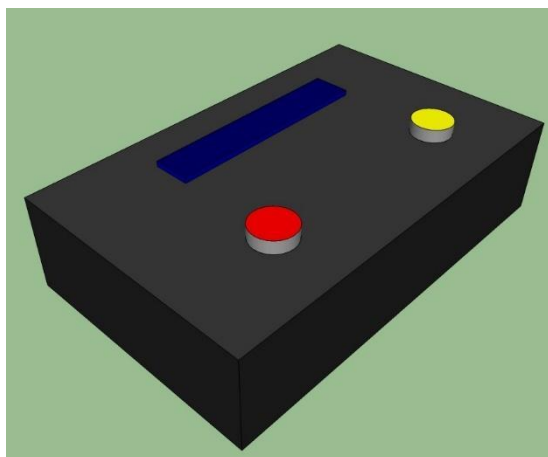
Penelitian ini disusun untuk membuat suatu desain rancang bangun alat ukur kadar air berbasis jaringan syaraf tiruan. Alat ini ditujukan untuk mendapatkan nilai kadar air yang terkandung pada media vermikompos. Kadar air yang terkandung diperoleh dengan menghitung nilai resistansi dari alat multimeter dan suhu dari vermikompos. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk menemukan

model matematika yang akan *diinput* ke dalam mikrokontroler. Nilai yang sudah *diinput* diputar menggunakan potensiometer yang terdapat pada alat.

Mikrokontroler akan melakukan proses perhitungan sesuai dengan nilai dan kemudian layar monitor dari *Liquid Crystal Display (LCD)* akan menampilkan nilai kelengasan yang terdapat pada vermikompos. Rancangan dari alat ini diharapkan untuk memiliki ketepatan nilai akurasi, stabilitas yang baik serta kecepatan respon yang cepat.

3.4. Rancangan Desain

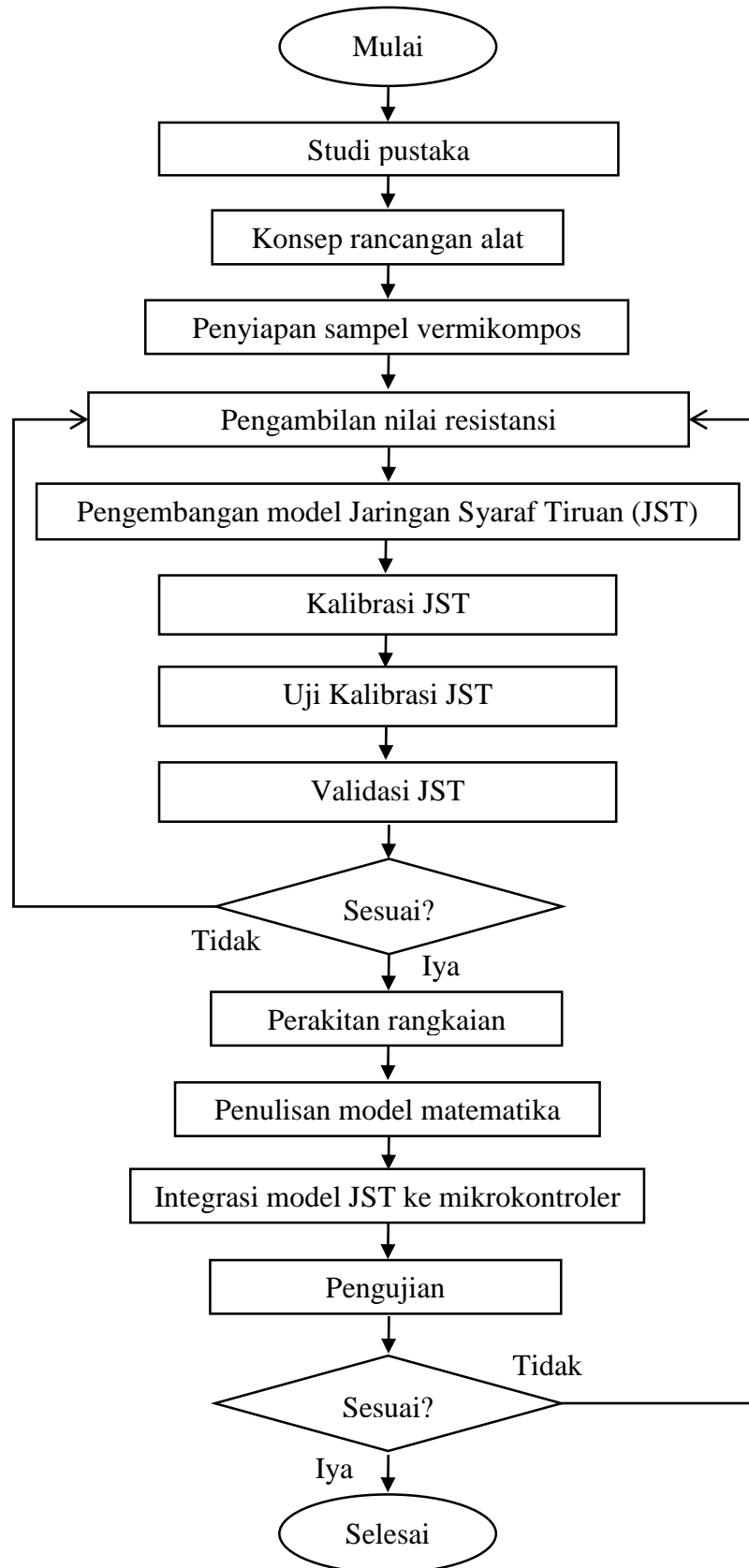
Konsep rancangan dibuat sesuai dengan pertimbangan dan memperhatikan kebutuhan kerja yang diinginkan. Alat ini dirancang untuk dapat membaca kadar kelengasan vermikompos pada saat di lapangan, sehingga bentuk alat yang dipertimbangkan adalah bentuk yang mudah dibawa dan ringan serta nyaman digunakan oleh pemakainya. Nilai kadar lengas didapatkan dari pembacaan nilai resistansi probe kelengasan tanah yang ditancapkan pada vermikompos. Kadar lengas yang diperoleh akan ditampilkan pada layar monitor setelah melalui proses pengolahan dari mikrokontroler. Rancangan desain dari alat ini dapat dilihat dalam gambar 3.



Gambar 3. Rancangan desain alat ukur

3.5. Prosedur penelitian

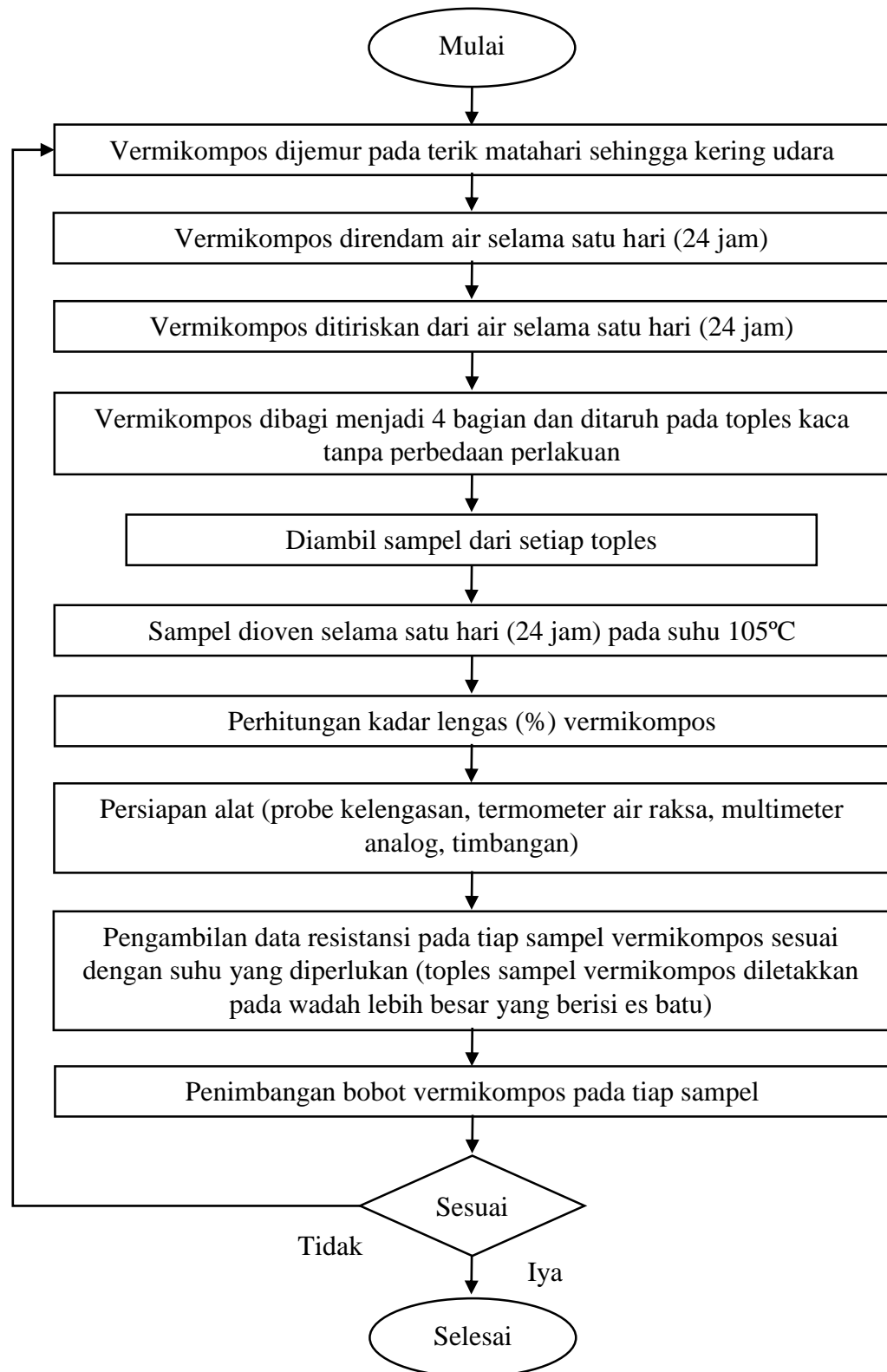
Prosedur penelitian ini dimulai dengan mencari sumber dari jurnal, skripsi dan buku tentang kelengasan. Selanjutnya dilakukan persiapan sampel dan menghitung nilai resistansinya dengan menggunakan probe kelengasan. Data yang diperoleh akan diolah menggunakan metode jaringan syaraf tiruan. Jaringan syaraf tiruan didesain dengan mengganti fungsi aktivasi dan node untuk memperoleh kinerja terbaik dengan melihat nilai dari R^2 (koefisien determinasi) yang terbesar dan nilai dari RMSE (root mean square error) yang terkecil. Selanjutnya dari proses jaringan syaraf tiruan akan didapatkan bobot dan bias. Model matematika yang di dapat akan di *input* kedalam program mikrokontroler dan kemudian dilakukan pengujian pada alat. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada diagram prosedur penelitian.



Gambar 4. Diagram prosedur penelitian

3.5.1. Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan sampel vermikompos yang akan digunakan. Alat yang digunakan dalam prosedur pengambilan data antara lain multimeter analog, termometer air raksa, probe kelengasan, toples kaca, baskom, dan timbangan. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu vermikompos yang diperoleh dari PT. Great Giant Food. Persiapan bahan dilakukan dengan perendaman sampel vermikompos dan penirisan. Prosedur pengambilan data penelitian ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Pengambilan Data

Persiapan pada sampel vermikompos dilakukan dengan memberikan perlakuan sesuai dengan kebutuhan. Pada tahap awal sampel vermikompos dijemur pada terik matahari agar menjadi kering udara. Tahap selanjutnya sampel vermikompos direndam dengan air yang melebihi ketinggian dari vermikompos selama satu hari (24 jam). Perendaman ini dimaksudkan supaya pori-pori yang ada pada vermikompos menyerap air. Selama waktu itu vermikompos akan terus menyerap air hingga pori-pori pada vermikompos tidak dapat menyerap air lagi karena jenuh (*saturated*). Kondisi ini terjadi karena pori-pori yang ada pada sampel vermikompos sudah penuh dengan air dan tidak mampu menyerap air lagi.

Vermikompos yang sudah direndam, selanjutnya dilakukan penirisan menggunakan plastik bening yang sudah dilubangi. Plastik bening yang sudah dilubangi digantung sehingga air pada vermikompos secara otomatis mengalir ke bawah. Hal ini dilakukan selama satu hari (24 jam). Penirisan ini dilakukan supaya vermikompos berada pada kondisi *field capacity* (FC). Kapasitas lapang (*field capacity*) vermikompos ditentukan setelah pada kondisi jenuh (*saturated*) vermikompos ditiriskan hingga air yang berhenti menetes. Kapasitas lapang (*field capacity*) merupakan jumlah air yang tertahan setelah proses drainase.

Vermikompos yang sudah ditiriskan dari air dibagi menjadi 4 bagian dan dimasukkan ke dalam toples kaca bening. Selanjutnya, sampel vermikompos dihitung kadar airnya melalui proses gravimetri yaitu dengan pemanasan di dalam oven untuk menentukan nilai kadar air vermikompos. Gravimetri merupakan metode secara langsung untuk menentukan nilai kadar air yang terkandung pada vermikompos melalui proses pemanasan dalam suhu 105°C selama satu hari (24 jam). Kadar air yang dihitung dengan menggunakan metode gravimetri dilakukan pada awal penelitian dan akhir penelitian.

Bobot vermikompos yang setiap harinya berkurang menandakan bahwa air yang terdapat pada vermikompos berkurang. Kurangnya kadar air yang ada membuat kondisi vermikompos menjadi semakin kering. Vermikompos yang kering dapat dinyatakan berada pada kondisi *critical water content* (CW). Pada tanah, kondisi

ini merupakan ketersediaan air yang ada pada tanah tidak dapat diserap oleh akar tanaman sehingga tanaman menjadi layu sementara. Sedangkan pada penelitian ini, kondisi *critical water content* (CW) ditunjukkan dengan semakin sedikitnya bulir air yang menempel pada toples sampel vermikompos, serta berubahnya sebagian sampel dari warna coklat kehitaman menjadi warna coklat terang.

Permanent wilting point (PWP) merupakan kondisi setelah *critical water content*. Pada tanah, kondisi permanent wilting point terjadi karena ketersediaan air pada tanah sudah tidak mampu lagi diserap oleh tanaman. Ketidaksanggupan ini membuat tanaman menjadi layu permanen. Pada penelitian ini, kondisi PWP pada sampel vermikompos dapat dilihat dari toples sampel vermikompos yang sudah tidak ada bulir air yang menempel pada toples serta warna yang berubah menjadi coklat terang.

Tahap selanjutnya ialah mempersiapkan alat yang akan digunakan untuk pengambilan data yaitu timbangan, probe kelengasan, termometer air raksa (mengukur suhu vermikompos), dan multimeter analog. Proses pengambilan data dilakukan dengan memasang probe kelengasan dengan kedalaman 7,8 cm pada sampel vermikompos dan suhu yang digunakan 25-35°C dengan interval jarak 2°C. Penurunan suhu dari vermikompos dilakukan dengan menaruh toples kaca pada wadah lebih besar yang berisi es batu. Pengambilan data dilakukan setiap hari sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap suhu sampai sampel vermikompos berada pada titik kering. Data yang diambil merupakan nilai resistansi atau nilai hambatan yang ada pada vermikompos dengan menggunakan multimeter analog. Berat dari sampel vermikompos ditimbang dengan menggunakan timbangan setiap hari hingga sampel vermikompos berada pada titik kering.

Pada penelitian ini, nilai resistansi dari vermikompos diambil selama 23 hari dari kondisi awal sampai pada kondisi kering. Nilai resistansi didapatkan dengan menggunakan alat multimeter analog yang dihubungkan dengan probe kelengasan. Pengambilan nilai resistansi vermikompos dilakukan pada suhu 25°C, 27°C, 29°C, 31°C, 33°C, dan 35°C. Pada penelitian ini jumlah data yang

digunakan sebanyak 1.656 data. Data yang telah didapatkan akan dilakukan pengembangan model dengan jaringan syaraf tiruan.

3.5.2. Perhitungan Kadar Lengas Vermikompos

Kadar lengas awal dan akhir verмикompos diperoleh melalui proses gravimetri. Pada awal dan akhir penelitian, sampel verмикompos diambil (± 10 gram) lalu dipanaskan pada oven selama 24 jam dengan suhu 105°C . Proses perhitungan gravimetri ini menggunakan basis kering, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Berat kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Nilai kadar lengas verмикompos yang tidak diperoleh melalui proses gravimetri didapatkan melalui perhitungan dengan bantuan Microsoft Excel. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai bobot sampel verмикompos dari titik basah hingga titik kering sampel serta menggunakan nilai kadar air awal sampel dan nilai kadar air akhir sampel yang didapatkan melalui proses gravimetri. Pada penelitian ini, bobot sampel verмикompos diperoleh dengan menimbang sampel pada awal penelitian hingga akhir penelitian (23 hari).

Bobot dari sampel verмикompos kemudian dilihat penurunan bobotnya dengan menggunakan *tools linier* yang ada pada aplikasi *Microsoft Excel*. Jika penurunan nilai bobot verмикompos bersifat linier, maka nilai kadar air awal yang diperoleh dengan metode gravimetri dikurangi dengan nilai kadar air akhir yang diperoleh dengan metode gravimetri. Selanjutnya, selisih nilai dari kadar air dibagi dengan 22, nilai ini diperoleh dari 23 hari penelitian dikurangi 1 hari (awal penelitian). Hal ini dikarenakan pada hari pertama, nilai kadar air sudah didapatkan dengan menggunakan metode gravimetri. Setelah diperoleh hasil dari pembagian, maka nilai kadar air awal dikurangi dengan nilai hasil dari pembagian. Perhitungan ini dilakukan hingga hari terakhir bobot sampel ditimbang. Berikut uraiannya dalam bentuk berikut :

$$\text{Sn (\%)} = \frac{\text{Nilai gravimetri awal} - \text{nilai gravimetri akhir}}{\text{Lama hari penelitian} - 1 \text{ hari}} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Kadar lengas } n (\%) = \text{Gravimetri } n (\%) - S_n (\%) \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

S_n = Selisih nilai gravimetri per hari

Nilai gravimetri awal = Kadar lengas gravimetri di hari awal penelitian (%)

Nilai gravimetri akhir = Kadar lengas gravimetri di hari akhir penelitian (%)

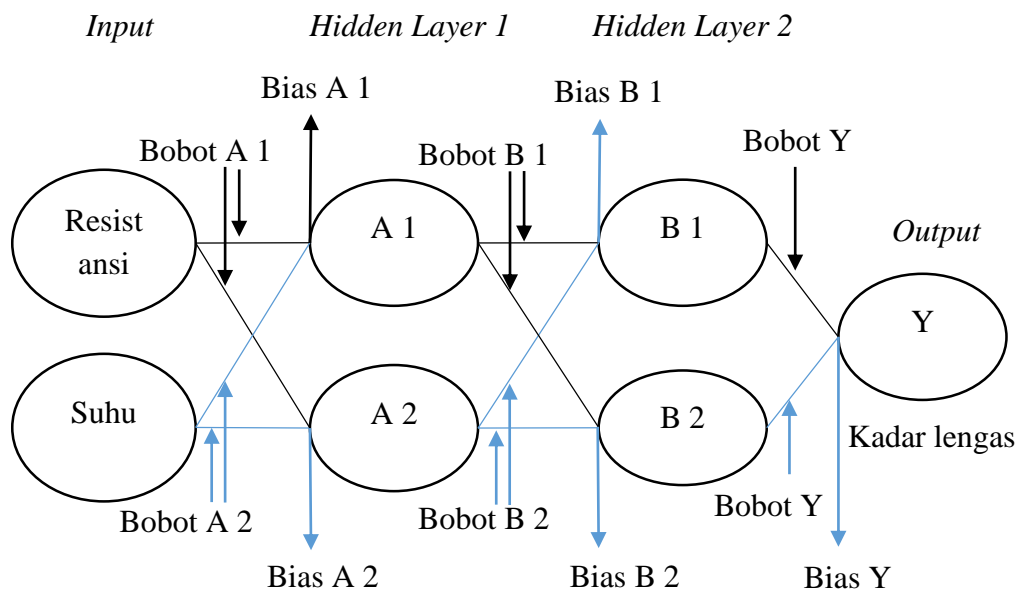
Lama hari penelitian = Lama hari penelitian sampai pada titik kering

Nilai gravimetri n = Kadar lengas pada hari ke- n

n = Hari ke –

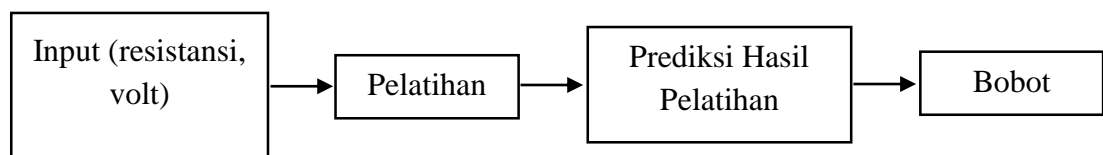
3.5.3. Perancangan Model Jaringan Syaraf Tiruan

Pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan laptop yang sudah terinstal aplikasi matlab versi R2016b. Perancangan model jaringan syaraf tiruan dimulai dengan menentukan arsitektur jaringan yang terdiri dari 3 layer, yaitu input layer, hidden layer, dan output layer. Penentuan perancangan ditentukan oleh kesesuaian data yang diperoleh. Pada jaringan syaraf tiruan, jumlah node pada masing-masing hidden layer tidak dapat melebihi dua kali jumlah dari input. Dari ketentuan tersebut maka model jaringan syaraf tiruan pada penelitian ini menggunakan 2 variabel input, 2 hidden layer yang masing-masing berjumlah 2 node, dan 1 variabel *output*. Variabel *input* terdiri dari nilai resistansi vermikompos dan nilai suhu vermikompos. Variabel *output* yang dihasilkan adalah nilai kelengasan vermikompos yang diharapkan sesuai dengan nilai dari kalibrator. Diagram arsitektur jaringan syaraf tiruan ditunjukkan pada gambar 6.



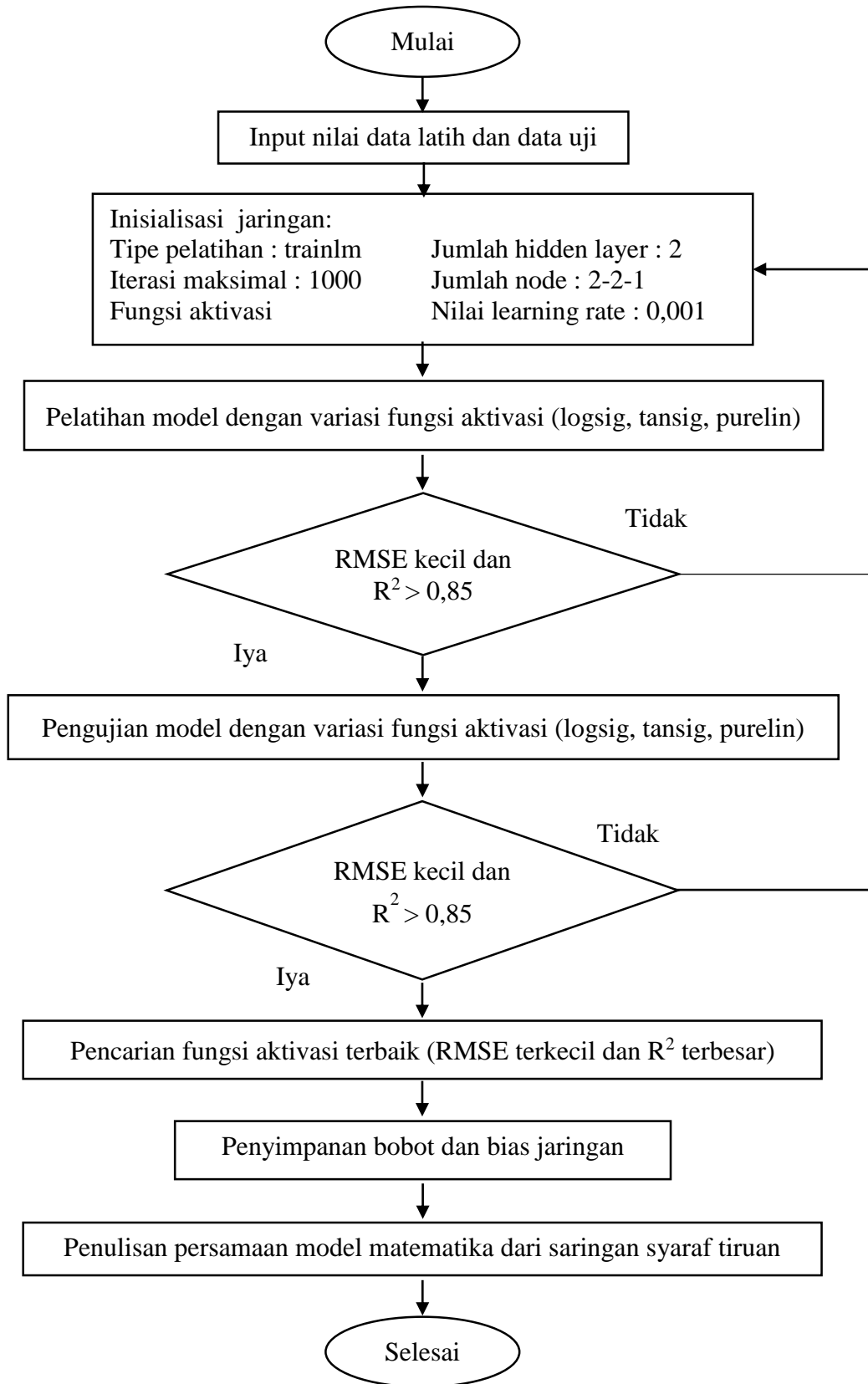
Gambar 6 . Diagram Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Dalam jaringan syaraf tiruan terdapat dua proses yang dilakukan yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Proses pelatihan jaringan syaraf tiruan menggunakan variasi fungsi aktivasi yang berjumlah 27 aktivasi untuk memperoleh komposisi aktivasi terbaik. Pembelajaran jaringan syaraf tiruan diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan

Setelah dilakukan proses pelatihan dengan menggunakan variasi fungsi aktivasi, selanjutnya dipilih satu fungsi aktivasi yang menghasilkan nilai R^2 dan RMSE terbaik. Proses pengembangan model jaringan syaraf tiruan ditunjukkan gambar 8.



Gambar 8. Proses pengembangan

Proses kalibrasi dan uji kalibrasi menggunakan data fungsi aktivasi terbaik akan menciptakan nilai R^2 yang terbesar dan nilai RMSE yang terkecil. Fungsi aktivasi yang digunakan merupakan kombinasi antara logsig, tansig, dan purelin. Fungsi aktivasi ditunjukkan pada tabel.

Tabel 3. Fungsi aktivasi

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

3.5.4. Pembentukan Persamaan Matematika

Pembentukan persamaan matematika diperoleh melalui perhitungan dari bobot dan bias dari fungsi aktivasi terbaik yang didapatkan. Bobot merupakan nilai yang mengartikan tingkat atau kepentingan hubungan antara node satu dan node yang lain. Bias adalah node input yang bersifat khusus karena selalu memiliki nilai 1. Pada proses pelatihan, penggunaan bias dapat mempercepat proses pelatihan karena bias berfungsi sebagai faktor koreksi pada kecukupan variabel input yang ditetapkan. Adapun ketentuan perhitungan dalam proses pembentukan persamaan matematika sebagai berikut :

1. Pembentukan persamaan matematika ditentukan dari file-file bobot dan bias yang sudah terekam
2. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e-01 maka nilai dikali dengan 0,1
3. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e+001 maka nilai dikali dengan 1 (tetap)
4. Jika nilai dibelakang bobot terdapat e+01 maka nilai dikali dengan 10
5. Persamaan fungsi aktivasi logsig adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$
6. Persamaan fungsi aktivasi tansig adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
7. Persamaan fungsi aktivasi purelin adalah : $y = x$

3.6. Pelatihan dan Pengujian

Proses pelatihan dan pengujian jaringan syaraf tiruan dilakukan setelah mendapatkan data nilai kadar lengas vermikompos, nilai resistansi vermikompos dan nilai suhu vermikompos sesuai prosedur pengambilan data. Pada proses pelatihan dan proses pengujian, data yang sudah diperoleh diinput kedalam software Matlab R2016b melalui bantuan software Microsoft Excell.

Pada penelitian ini proses pelatihan dan pengujian jaringan syaraf tiruan menggunakan 1656 data, sebanyak 1102 data digunakan pada proses pelatihan sebagai kalibrasi satu dan 554 digunakan pada proses pengujian sebagai kalibrasi kedua. Pada proses pelatihan (kalibrasi) jaringan syaraf tiruan, tahap ini ditujukan untuk mendapatkan parameter jaringan syaraf tiruan dan bobot masing- masing

lapisan yang paling sesuai dan akan digunakan dalam proses pengujian. Siklus pelatihan terdiri dari inialisasi bobot awal, perhitungan nilai keluaran setiap lapisan dan penghitungan error yang terjadi. Pelatihan dilakukan dengan menggunakan variasi fungsi aktivasi yang terdiri dari *logsig-tansig-purelin*.

Pada proses pengujian (uji kalibrasi) jaringan syaraf tiruan dilakukan dengan menggunakan variasi fungsi aktivasi dan bobot yang sudah diperoleh dari proses pelatihan (kalibrasi) guna mendapatkan nilai R^2 (koefisien determinasi) dan RMSE (*Root Mean Square*) terbaik. Data diinput dengan menggunakan software Microsoft Excell dan dilanjutkan ke dalam software Matlab R2016b. Proses pengujian jaringan syaraf tiruan dilakukan dengan menggunakan data yang belum pernah diinput pada proses sebelumnya yaitu proses pelatihan. Tahap pengujian pada jaringan syaraf tiruan bertujuan untuk mengetahui apakah jaringan syaraf tiruan mampu untuk mengenali pola data pelatihan dari data input yang baru.

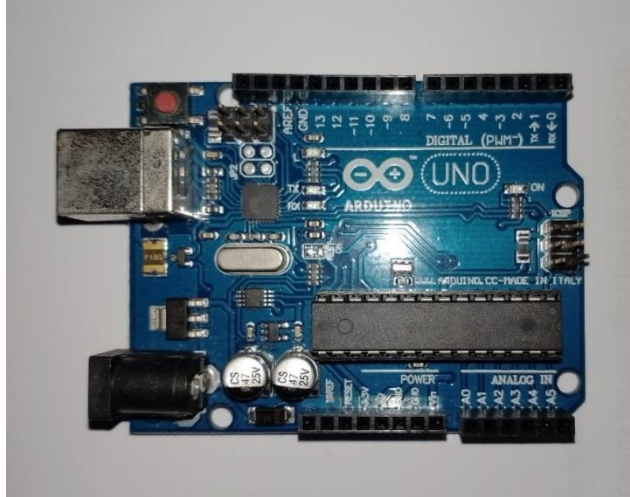
3.7. Rancangan Fungsional

Pada penelitian ini rancangan didesain untuk menginput nilai resistansi serta volt dari multimeter dan nilai suhu tanah. Komponen-komponen yang digunakan pada alat ini memiliki fungsi masing-masing yaitu mikrokontroler Arduino Uno, potensiometer, resistor, lcd, I2C, dan probe (elektroda) kelengasan tanah.

a. Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer fungsional yang dikemas dalam sebuah chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik, yang menekankan efisiensi dan efektivitas biaya. Pada mikrokontroler terdapat sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya) serta perlengkapan input output (Manengal dkk, 2014). Arduino adalah papan rangkaian elektronik atau kit elektronik yang memiliki komponen utama sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler Arduino Atmega memiliki fungsi sebagai menerima sinyal yang dikirimkan oleh

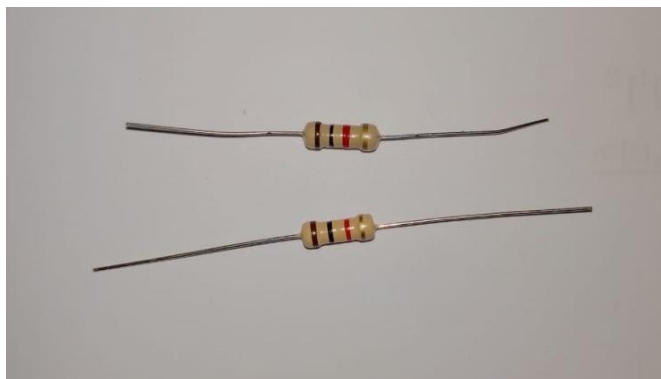
sensor. Sinyal yang diterima oleh mikrokontroler akan diolah lalu disampaikan pada komponen elektronik lain.



Gambar 9. Arduino Uno Atmega328

b. Resistor

Resistor merupakan komponen elektronika pasif yang memiliki nilai resistansi atau hambatan tertentu. Resistor berfungsi sebagai pembatas arus, pengatur arus listrik, penurun arus listrik dan sebagai pembagi tegangan arus listrik dalam suatu rangkaian.

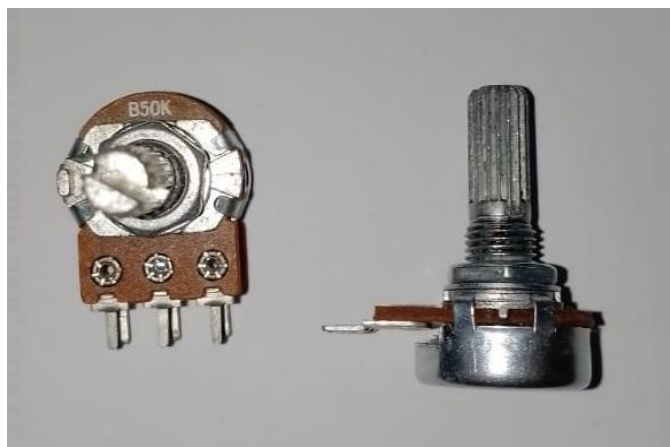


Gambar 10. Resistor

c. Potensiometer

Potensiometer merupakan sebuah resistor variabel yang dapat berfungsi sebagai pengatur tegangan, pembagi tegangan, dan sebagai pengatur volume pada berbagai peralatan elektronik. Potensiometer memiliki 3 kaki terminal dengan sebuah tuas yang berfungsi sebagai pengatur.

Potensiometer mengubah nilai hambatan dengan cara diputar pada bagian tuas pengaturnya. Dari perputaran akan menggeser kedudukan sehingga hambatannya dapat sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 11. Potensiometer

d. Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan salah satu jenis media penampil (display) dengan bantuan kristal cair (liquid crystal) sebagai penghasil gambar. LCD terdiri dari backlight (lampu latar belakang) dan liquid crystal (kristal cair). Fungsi dari LCD adalah untuk menampilkan informasi yang dibutuhkan, seperti nilai keluaran yang telah diolah oleh mikrokontroler.



Gambar 12. *Liquid Crystal Display (LCD) 16x2*

e. Inter-Integrated Circuit (I²C)

Inter-Integrated Circuit (I²C) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk mempermudah dalam menggunakan atau mengoperasikan LCD (Liquid Crystal Display). I²C menggunakan dua saluran khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I²C terdiri dari saluran SCI (Serial Clock) dan SDA (Serial Data) yang membaca informasi antara I²C dengan pengontrolnya.



Gambar 13. *Inter-Integrated Circuit (I2C)*

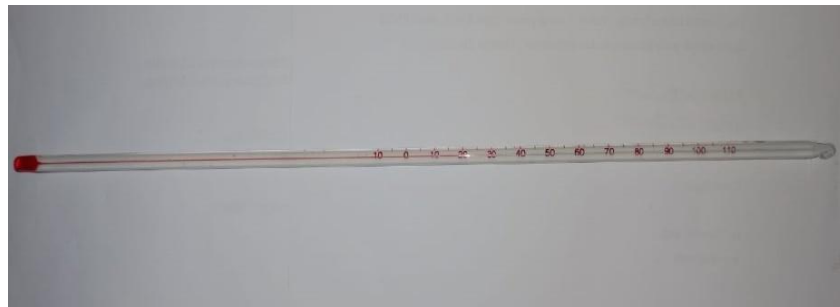
3.8. Rancangan Struktural

Rancang bangun alat ukur kelengasan vermikompos di desain untuk memudahkan pengguna dengan ringan dan mudah dibawa. Alat ini dirancang untuk membaca nilai kadar kelengasan vermikompos yang akan muncul pada layar monitor dengan bantuan dari komponen potensiometer yaitu nilai suhu tanah dan nilai dari multimeter (resistansi vermikompos). Nilai suhu vermikompos dan nilai

multimeter pada vermikompos akan diinput dengan menggunakan beberapa alat sebagai berikut.

a. Termometer

Termometer air raksa digunakan untuk mengukur nilai suhu pada vermikompos dengan menaruh ujung termometer ke dalam vermikompos yang ingin diketahui nilai suhunya. Termometer air raksa ini memiliki rentang ukur -10 sampai dengan 100 dengan satuan derajat celcius.



Gambar 14. Termometer raksa

b. Multimeter Analog

Multimeter analog atau sering dikenal sebagai multimeter jarum merupakan sebuah alat ukur untuk mengukur nilai tegangan AC atau DC, mengukur arus DC, dan hambatan atau resistansi (Ohm) yang menggunakan jarum yang bergerak-gerak sebagai penunjuk pada rentang nilai yang diukur dengan probe. Multimeter analog memiliki saklar putar sebagai untuk menentukan fungsi pengukuran dan rentang pengukuran serta terdapat skala pembacaan.

Multimeter analog digunakan untuk mengukur nilai resistansi atau hambatan serta nilai arus yang terdapat dari listrik yang dialirkan diantara dua probe yang ditancapkan dalam tanah. Nilai resistansi dan nilai arus yang tampak pada multimeter merupakan nilai input pada rancangan alat ukur kelengkapan tanah. Penelitian ini menggunakan multimeter analog dengan tipe YX-360 TRD. Spesifikasi dari multimeter disajikan pada tabel.



Gambar 15. Multimeter analog

Tabel 4. Spesifikasi multimeter analog tipe YX-360TRD

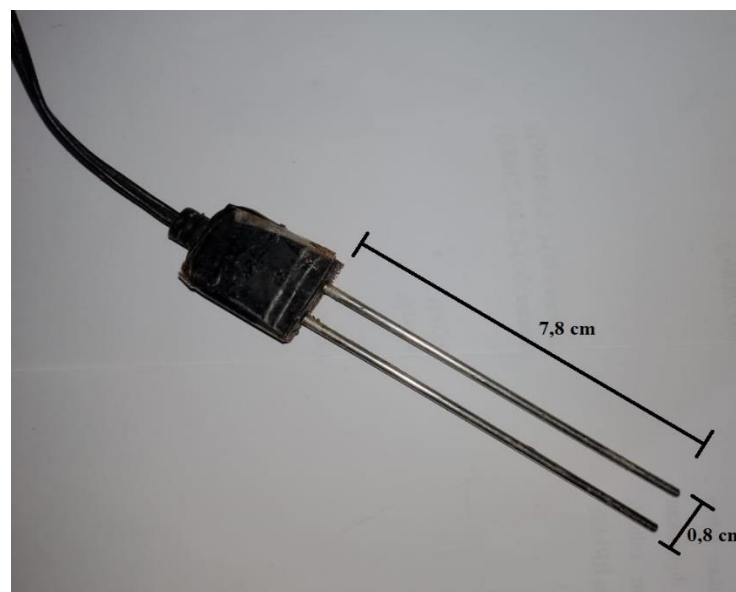
Function	Range	Accuracy
DCV	0,1 V	$\pm 5\%$
	0,25V / 2,5V / 10V / 50V	$\pm 3\%$
	250V / 1000V	$\pm 3\%$
ACV	10V / 50V / 250V / 750V	$\pm 4\%$
DCA	50 μ a / 2,5 mA / 0,25mA	$\pm 3\%$
Ω	2k Ω / 20 k Ω / 200 k Ω / 2M Ω	$\pm 3\%$
	200 M Ω	$\pm 5\%$

Multimeter analog tipe YX-360TRD memiliki spesifikasi sebagai berikut : pada tegangan DC dengan range 0.1 volt memiliki akurasi sebesar $\pm 5\%$, pada range 0.25 volt, 2.5 volt, 10 volt dan 50 volt memiliki akurasi sebesar $\pm 3\%$, sedangkan dengan range 250 volt dan 1000 volt memiliki akurasi sebesar $\pm 3\%$. Pada tegangan AC dengan range 10 volt, 50 volt, 250 volt, dan 750 volt memiliki tingkat akurasi sebesar $\pm 4\%$. Pada arus DC dengan range 50 μ a, 2.5 mA, dan 0.25mA memiliki nilai akurasi sebesar $\pm 3\%$. Pada spesifikasi hambatan dengan range 2k Ω , 20 k Ω , 200 k Ω , dan 2M Ω

memiliki akurasi sebesar $\pm 3\%$, sedangkan dengan range $200\text{ M}\Omega$ memiliki nilai akurasi sebesar $\pm 5\%$.

c. Probe Kelengasan Tanah

Probe atau elektroda kelengasan tanah digunakan untuk mendapatkan nilai konduktivitas elektrik tanah. Konduktivitas tanah diperoleh dengan menancapkan probe kelengasan tanah ke dalam sampel vermikompos, lalu pada ujung kabel probe kelengasan dihubungkan dengan probe multimeter analog.

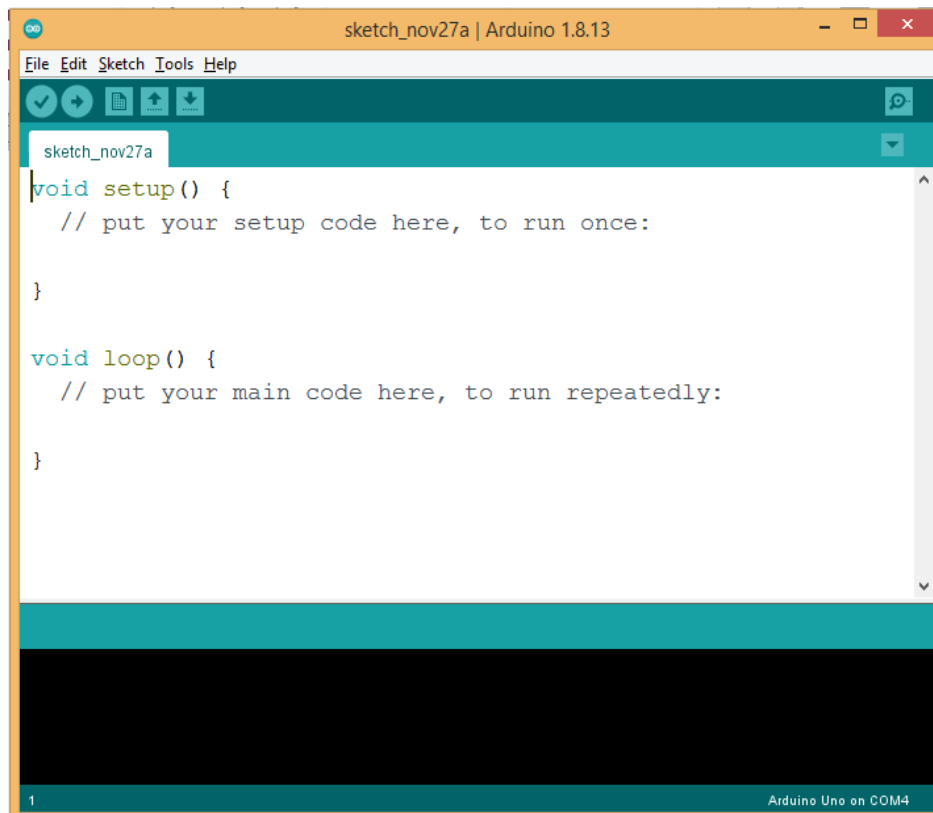


Gambar 16. Probe kelengasan

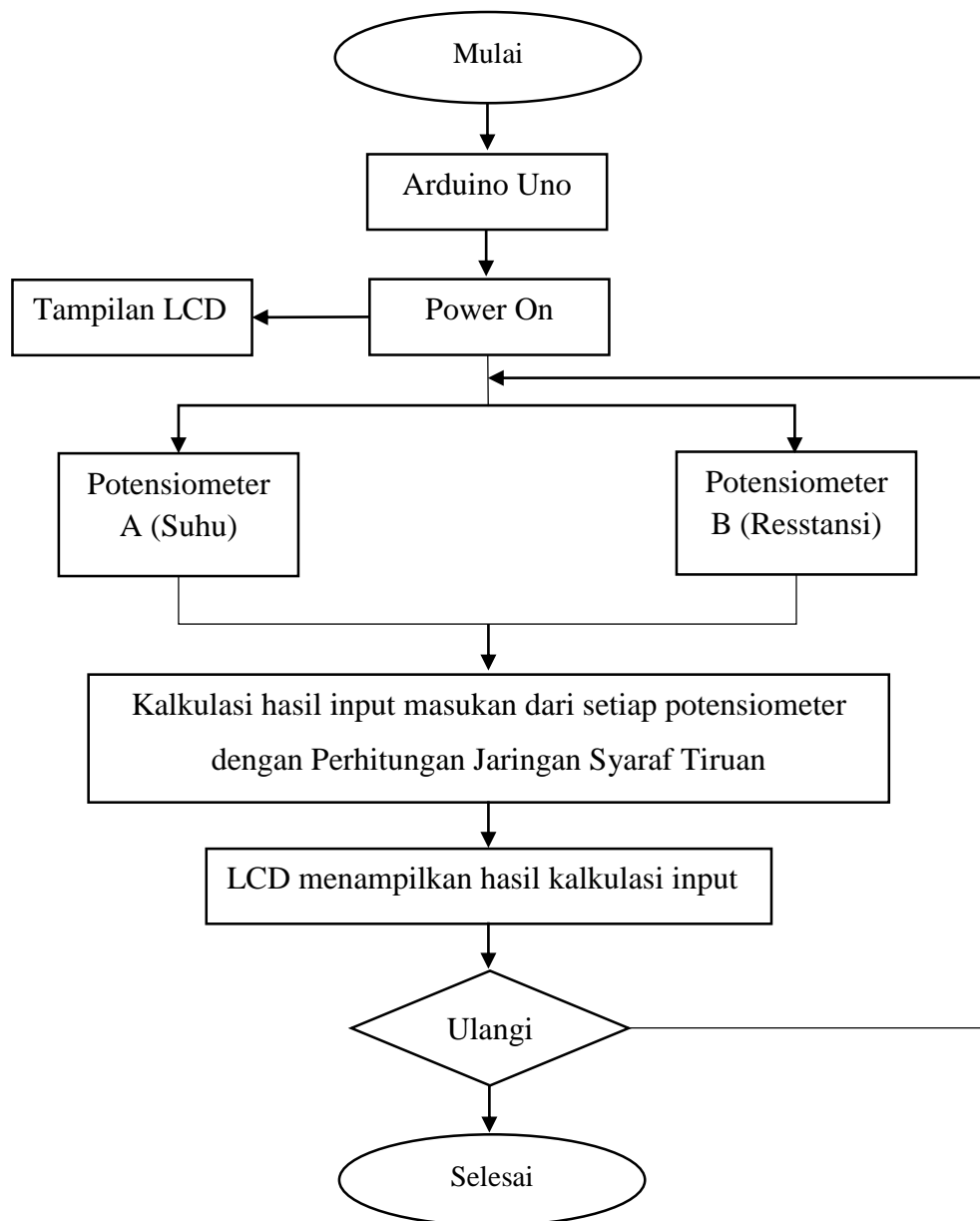
3.9. Pemrograman

Pada penelitian ini penulisan kode pemrograman dilakukan dengan bantuan software Arduino IDE v.1.8.13 yang sudah terinstal pada laptop. Software Arduino IDE (Integrated Development Environment) digunakan untuk membuat program, menulis program, memvalidasi dan mengupload program pada board Arduino sesuai dengan kebutuhan. Bahasa pemrograman yang digunakan pada software Arduino adalah bahasa C. Software akan mengecek kebenaran dengan verifikasi, jika ada peringatan pada penulisan pemrograman maka program yang tidak dapat dijalankan. Sedangkan jika tidak ada peringatan kesalahan, program

dapat dijalankan. Berikut merupakan tampilan awal dari software Arduino IDE diagram alir dari alur pemrograman.



Gambar 17. Tampilan awal Arduino IDE



Gambar 18. Diagram alir pemrograman

3.10. Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu koefisien determinasi (R^2), RMSE (Root Mean Square Error) dan RRMSE (Relative Root Mean Square), dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Koefisien Determinasi (R^2) digunakan untuk menentukan nilai kontribusi variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y). Nilai koefisien determinasi

(R^2) berada pada rentang antara 0 sampai dengan 1. Nilai R^2 diperoleh dengan membuat grafik scatter nilai observasi dan nilai prediksi pada Microsoft Excel. Pada grafik ditambahkan tradeline lalu dipilih tipe regresi linier dan menampilkan nilai dari koefisien determinasi (R^2). Jika nilai yang diperoleh mendekati satu maka prediksi dianggap baik, sebaliknya jika nilai yang diperoleh semakin jauh maka garis regresi tidak dapat digunakan.

2. RMSE (Root Mean Square Error) merupakan sebuah metode untuk mengetahui besar kesalahan pendugaan. RMSE adalah akar dari total kuadrat rata-rata simpangan dari data observasi dengan prediksi model. Jika nilai RMSE semakin kecil dapat dikatakan hasil prediksi semakin akurat. RRMSE (Relative Root Mean Square Error) merupakan tahap berikutnya setelah RMSE (Root Mean Square Error). RRMSE digunakan sebagai metode untuk mengetahui ketidakakuratan dalam sebuah pengukuran dalam bentuk persen. Akurasi model dinyatakan sangat baik jika nilai RRMSE <10%, baik jika nilai RRMSE 10% - 20%, cukup jika nilai RRMSE 20% - 30%, dan lemah jika nilai RRMSE >30% (Li, et al., 2013). Rumus perhitungan RMSE dan RRMSE dapat dilihat pada persamaan dan persamaan (Triyono dkk, 2021).

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

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

Keterangan

n = jumlah data

e = nilai error

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dengan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kelengasan dan suhu mempengaruhi sifat resistivitas pada vermikompos. Suhu mempengaruhi kelengasan pada vermikompos, kelengasan vermikompos akan rendah pada suhu tinggi sehingga resistivitas vermikompos menjadi tinggi.
2. Nilai RMSE (Root Mean Square Error) dan nilai koefisien determinasi (R^2) dari hasil pelatihan model jaringan syaraf tiruan ialah 4,1868 dan 0,8808 atau sebesar 88,08%. Sedangkan pada pengujian model jaringan syaraf tiruan nilai RMSE dan R^2 yang diperoleh ialah sebesar 4,2867 dan 0,8774 atau sebesar 87,74%. Hasil pelatihan dan hasil pengujian menghasilkan logsig-logsig-logsig sebagai fungsi aktivasi terbaik.
3. Validasi aktual dengan integrasi model matematika ke dalam mikrokontroler menghasilkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,9696 atau 96,96%, dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9403 atau 94,03%, serta nilai RMSE sebesar 3,81.

5.2. Saran

Berdasarkan dengan penelitian yang telah dilaksanakan, maka perlu adanya penelitian lanjutan dengan penambahan input data berupa pH vermikompos, panjang elektroda (probe) yang digunakan, serta kepadatan pada vermikompos.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, A., Haryati, U. & Juarsah, I. 2006. *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya Penetapan Kadar Air Tanah dengan Metode Gravimetri*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Adi, C., Holil, B. & Riyadi, A.M. 2005. *Karakteristik Film Polisulfon Sebagai Bahan Dielektrik Sensor Jenis Kapasitif*. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.
- Arduino. 2015. Arduino UNO dan Genuino UNO.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Diakses pada tanggal 21 Juli pukul 16:40 WIB.
- Bachman, G.R. & J.D Metzger. 2008. *Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost*. Biores. Technol.
- Bila, S., Harkouss, Y., Ibrahim, M., Rousset, J., N’Goya, E., Baillargeat, D., Verdeyme, S., Aubourg, M. & Guillon, P. 1999. *An Accurate Wavelet Neural-network Based Model for Electromagnetic Optimization of Microwave Circuits*. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering: 297–306.
- Brusca, R.C. & Brusca, G.J. 2003. *Invertebrates Massachusetts (US)*. Sinauer Associates Inc Publ.
- Chandra, M., Rini, S. & Permana, R. 2015. *Analisis Metode Backpropagation Untuk Memprediksi Indeks Harga Saham Indofood Sukses Makmur TBL (INDF)*. Jurnal KomTekInfo Fakultas Ilmu Komputer, 2: 1.

- Chaniago, N. & Inriyani, Y. 2019. *Pengaruh Jenis Bahan Organik Dan Lamanya Proses Pengomposan Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Vermikompos*. 15(1): 14.
- Dharma, P.A.F.S. & Abdurohman, M. 2018. *Prototipe Pemantauan Kadar Air Tanah atau Kelembaban pada Tanah Menggunakan Arduino dan Protokol Zigbee/IEEE 802.15.4. Pada Platform M2M*. e-Proceeding of Engineering, 2(2): 6049.
- Dominguez, A. Edward, C. A. & Subler, S. 1997. *Comparison of Vermicomposting and Composting*. Bio Cycle
- Edwards, C. A., Dominguez, J. & Neuhauser, E.F. 1998. *Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management*. Biology and Fertility of Soils, 27(2): 155-161.
- Ekosari, R., Aminatun, T., Putu, I., Djuwanto & Fathurahman, N.F. 2013. *Petunjuk Praktikum Biologi Tanah*. Yogyakarta. Universitas Yogyakarta.
- Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Network, Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- Funk R.C., 2014. *Comparing organic and inorganic fertilizer*. <http://www.Neweng-landisa.org/FunkHandoutsOrganicInorganicFertilizes.pdf>
- Hakim, Nurhajati dkk. 1986. *Dasar Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. Lampung.
- Hapsari, G.I. & Chaidir, R. 2016. *Pengukuran Konduktivitas Cairan Berbasis Mikrokontroler AT89C205*. Telka. 2(2): 12.
- Hasibuan, B.E. 2006. *Pupuk dan Pemupukan*. USU-Press. Medan.
- Hermawan, A. 2006. *Jaringan Syaraf Tiruan Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta. CV Andi.
- Hermawan, B. 2005. *Monitoring Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik Pada Lahan Jagung*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 7(15).

- Hermawan, B. 2004. *Penetapan Kadar Air Tanah Melalui Pengukuran Sifat Dielektrik Pada Berbagai Tingkat Kepadatan*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 6(2).
- Hilman, Y. & Rosliani, R. 2002. *Pemanfaatan Cacing Tanah (Lumbricus Rubellus) Untuk Meningkatkan Kualitas Hara Limbah Organik Dan Hasil Tanaman Mentimun*. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hortikultura Jakarta. 12: 148–157.
- Ioannidis, M.A., Chatzis, I. & Sudicky, E.A. 1993. *The Effect of Spatial Correlations on the Accessibility Characteristics of Three-Dimensional Cubic Networks as Related to Drainage Displacements in Porous Media*. Water Resources Research. 9.
- Kadir, A. 2013. *Buku Pintar Programmer Pemula PHP*. Yogyakarta. Mediakom.
- Karato, S.-I. & Wang, D. 2013. *Electrical Conductivity of Minerals and Rocks*. In S.-I. Karato, ed. *Physics and Chemistry of the Deep Earth*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd: 145–182.
- Karmakar, S., Brahmachari, K., Gangopadhyay, A. & Choudhury, S.R. 2012. *Recycling of Different Available Organic Wastes through Vermicomposting*. E-Journal of Chemistry, 9(2): 801–806.
- Kusumawati, N. 2011. *Evaluasi Perubahan Temperatur, pH Dan Kelembaban Media Pada Pembuatan Vermikompos Dari Campuran Jerami Padi Dan Kotoran Sapi Menggunakan Lumbricus Rubellus*. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya.
- Lahallo, M. 2019. *Rancang Bangun Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Bahan Stenlis Steel Tipe 304 Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Makasar. Universitas Cokroaminoto Palopo.
- Latupeirissa, E. 2011. *Pengaruh Pemberian Fermentasi Urine Ternak Sapi Dan Rizho Starter Terhadap Populasi Dan Biomassa Cacing Tanah Dan Kualitas Vermikompos*. Universitas Hasanuddin. Makassar.

- Li, M.-F., Tang, X.-P., Wu, W. & Liu, H.-B. 2013. General models for estimating daily global solar radiation for different solar radiation zones in mainland China. *Energy Conversion and Management*, 70: 139–148.
- Lutfiyana, Hudallah, N. & Suryanto, A. 2017. *Rancang Bangun Alat Ukur Suhu Tanah, Kelembaban Tanah, dan Resistansi*. *Jurnal Teknik Elektro*. 9(2): 7.
- Malik, M.S. & Shukla, J.P. 2014. *Estimation Of Soil Moisture By Remote Sensing and Field Methods: A Review*. *International Journal of Remote Sensing and Geoscience*, 3.
- Manengal, V.D., Lumenta, A.S.M. & Rumagit, A.M. 2014. *Perancangan Sistem Monitoring Mengajar Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535*. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*. 7.
- Marpaung, N. L. & Ervianto, E. 2009. *Analisis Pengendalian Pengukuran Konduktansi Dari Suatu Cairan Berbasis Mikrokontroler*. Repository Universitas Riau. Riau.
- Mashur. 2001. *Vermikompos (Kompos Cacing Tanah) Pupuk Organik Berkualitas dan Ramah Lingkungan*. Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian (IPPTP).
- Muallifah, F. 2009. *Perancangan Dan Pembuatan Alat Ukur Resistivitas Tanah*. *Jurnal Neutrino*. 1(2).
- Muñoz-Carpena, R. 2012. *Field Devices For Monitoring Soil Water Content*. Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida.
- Najwa, M., Warsito, B. & Ispriyanti, D. 2017. *Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Algoritma One Step Secant Backpropagation Dalam Return Kurs Rupiah Terhadap Dolar Amerika Serikat*. *Jurnal Gaussian*. 6(1): 10.
- Nugraha, K.A., Santoso, A.J. & Suselo, T. 2013. *Algoritma Backpropagation Pada Jaringan Saraf Tiruan Untuk Pengenalan Pola Wayang Kulit*. *Seminar Nasional Informatika 2013*: 6.

- Nurmaningsih & Syamsussabri, M. 2021 *Komposisi dan Distribusi Cacing Tanah (Lumbricus terrestris) di Daerah Lembab dan Daerah Kering*. Indonesian Journal of Engineering. 2: 9.
- Nursaniansyah, F.R. 2021. *Rancang Bangun Perangkat Identifikasi Kemurnian Aroma Campuran Blending Biji Kopi Sangrai Natural Luwak dan Natural Arabica Menggunakan Electronic Nose dengan Metode Pembelajaran Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation*. Lampung. Universitas Lampung.
- Octavianus, W. 2014. *Kajian Tentang Perlakuan Bentuk Konfigurasi Elektroda Terhadap Kinerja Sensor Konduktivitas Listrik Tanah Jenis Kapasitif*. Universitas Udayana.
- Patterson, L., Paparin, C., Muarin, R., Mule, C., Peace, C., Washington, 2004. *The Worm Guide: A Vermicompost Guide for Teachers*. The California Integrated Waste Management Board. California.
- Prasetyo, A. & Firmansyah, E. 2016. Perancangan Dan Pengujian Untuk Kerja Sistem Monitoring Kadar Lengas Berbasis Gypsum Block Untuk Memantau Dinamika Tanah Polietilen, Polistiren dan Other. Jurnal Teknologi Technoscientia 8(2):7.
- Safitri, R.N. 2019. *Rancang Bangun Sensor Kelengasan dan Suhu Tanah Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan*. Lampung. Universitas Lampung.
- Sari, D.V. & Surtono, A. 2016. *Sistem Pengukuran Suhu Tanah Menggunakan Sensor DS18B20 dan Perhitungan Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. 4: 8.
- Seo, K.-K. 2013. *A Simulation Study on an Artificial Neural Network based Automatic Control System of a Plant Factory*. International Journal of Control and Automation, 6(5): 127–136.

- Shrivastav, S. & Kumbhar, B.K. 2009. *Modeling and optimization for prediction of moisture content, drying rates and moisture ratio*. International Journal Agricultural & Biological Engineering. 2(1): 8.
- Suharyatun, S., Rahmawati, W. & Sugianti, C. 2019. *Jaringan Syaraf Tiruan untuk Pendugaan Porositas Tanah*. : 8.
- Suprpto, N, M. 2006. *Uji Konduktivitas Listrik Terhadap Kadar Air Tanah Dermaga Bogor dan Metode Wenner dan Sifat Fisik Tanahnya*. Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan IPB.
- Sutedjo, M.M. 2012. *Pupuk Dan Cara Pemupukan*. Cet. 8. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suprayogi, I., Trimaijon & Mahyudin. 2014. *Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST)*, 1: 1.
- Tan, K.H. 1993. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Telaumbanua, M., Purwanta, B., Sutiarto, L., dan Fajar, M. 2015. *Model Pengendalian Iklim Mikro dan Nutrisi Otomatis Pada Pertumbuhan Sawi (Brassica rappa va. Parachinensis L.) Secara Hidroponik*. Yogyakarta.
- Triyono, S., Telaumbanua, M., Martinus, Haryanto, A. & Wisnu, F.K. 2021. *Pengembangan Teknologi Deteksi Cepat Kualitas Air Limbah Pabrik Pengolahan Sawit Berbasis IoT untuk Mendukung Sustainability*. Lembaga Penelitian Dan Pengembangan Perguruan Tinggi.
- Topp, G.C. & Ferre, P.A. Ferre, 2002, *The Soil Phase. Methods Of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. SSSA Book Series. No 5. Soil Science Society Of America, Madison, WI 5371, Usa..
- Wahyu, D.A. 2021. *Rancang Bangun Alat Ukur Kelengasan Tanah Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan pada Beberapa Jenis Tanah*. Lampung. Universitas Lampung.
- Wibawa, M.S. 2016. *Pengaruh Fungsi Aktivasi, Optimisasi dan Jumlah Epoch Terhadap Performa Jaringan Saraf Tiruan*. *Jurnal Sistem dan Informatika*. 11(1).