

**METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION* UNTUK
PREDIKSI KADAR UNSUR HARA DALAM TANAH**

(Tesis)

Witaningsih

NPM 2225031008



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION* UNTUK
PREDIKSI KADAR UNSUR HARA DALAM TANAH**

**Oleh
Witaningsih**

TESIS

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN *BACKPROPAGATION* UNTUK PREDIKSI KADAR UNSUR HARA DALAM TANAH

Oleh

Witaningsih

Ketersediaan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sangat memengaruhi produktivitas tanaman. Analisis laboratorium untuk mengukur kadar hara bersifat mahal dan memakan waktu, sehingga dibutuhkan metode prediksi yang efisien. Parameter fisik tanah seperti pH, suhu, kelengasan, dan resistansi memiliki keterkaitan dengan kadar hara dan berpotensi menjadi input prediktif. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan parameter fisik terhadap kadar N, P, dan K, serta membangun sistem *forecasting* menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Data diperoleh dari tanah podsolik merah kuning dengan perlakuan pupuk berbeda. Data dinormalisasi, lalu diproses menggunakan JST berarsitektur 4 input, 2 hidden layer (masing-masing 5 node), dan 1 output dilatih menggunakan metode *backpropagation* dengan berbagai fungsi aktivasi untuk memperoleh konfigurasi optimal.

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa seluruh parameter fisik memiliki kecenderungan hubungan terhadap kadar hara, meskipun dengan pola yang berbeda. Pelatihan model menunjukkan bahwa nitrogen menghasilkan R^2 sebesar 0,9642, fosfor sebesar 1, dan kalium sebesar 0,9996. Pada tahap validasi, diperoleh R^2 sebesar 0,7218 untuk nitrogen, 0,6479 untuk fosfor, dan 0,6137 untuk kalium. Model JST yang dikembangkan memiliki akurasi tinggi pada tahap pelatihan serta performa cukup baik saat validasi, sehingga mendukung potensi penerapan sistem prediksi kadar hara berbasis data fisik tanah secara efisien dan tepat guna.

Kata kunci: nitrogen, fosfor, kalium, parameter fisik tanah, jaringan syaraf tiruan, prediksi

ABSTRACT

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BACKPROPAGATION METHOD FOR PREDICTING SOIL NUTRIENT CONTENT

By

Witaningsih

The availability of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) significantly influences crop productivity. Laboratory analysis to determine soil nutrient content is costly and time-consuming, necessitating an efficient predictive approach. Physical soil parameters such as pH, temperature, moisture, and resistance are known to correlate with nutrient levels and hold potential as predictive inputs. This study aims to analyze the relationship between physical parameters and N, P, and K levels, as well as to develop a forecasting system using an Artificial Neural Network (ANN). The data were obtained from yellow-red podzolic soil subjected to different fertilizer treatments. The data were normalized and processed using an ANN architecture consisting of 4 input nodes, 2 hidden layers (each with 5 nodes), and 1 output node, trained using the backpropagation method with various activation functions to achieve optimal configuration.

The training results indicate that all physical parameters show a tendency to relate to nutrient levels, although with different patterns. The training phase produced R^2 values of 0.9642 for nitrogen, 1 for phosphorus, and 0.9996 for potassium. During validation, the model achieved R^2 values of 0.7218 for nitrogen, 0.6479 for phosphorus, and 0.6137 for potassium. The developed ANN model demonstrated high accuracy during training and reasonably good performance during validation, supporting the potential application of soil nutrient prediction systems based on easily measured physical parameters.

Keywords: nitrogen, phosphorus, potassium, soil physical parameters, artificial neural network, prediction

Judul Tesis : METODE JARINGAN SYARAF
TIRUAN *BACKPROPAGATION*
UNTUK PREDIKSI KADAR UNSUR
HARA DALAM TANAH

Nama Mahasiswa : Witaningsih

Nomor Pokok Mahasiswa : 2225031008

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing II


Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.
NIP 19651021 199512 2 001


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

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro


Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.
NIP 19651021 199512 2 001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji 1

Ketua Komisi Penguji

(Pembimbing I)

: **Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.**



Sekretaris Komisi Penguji

(Pembimbing II)

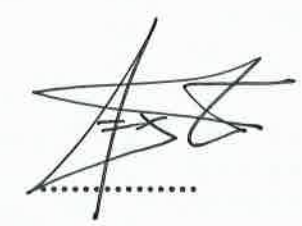
: **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.**



Anggota Komisi Penguji

(Penguji I)

: **Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.**



Anggota Komisi Penguji

(Penguji II)

: **Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 197509282001121002



3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 196403261989021001



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **01 Agustus 2025**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dan Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya hasil orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Tesis dengan judul “Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* untuk Prediksi Kadar Unsur Hara dalam Tanah” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.
2. Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025



Witaningsih

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Ciptawaras, 02 Mei 1998. Penulis merupakan anak ke-tiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Santa Wijaya dan Ibu Siti Nuih. Mengenai riwayat pendidikan penulis, penulis lulus dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 01 Trimulyo, Lampung Barat pada tahun 2010, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 01 Gedung Surian pada tahun 2013, lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 01 Waytenong pada tahun 2016 dan diterima di Universitas Lampung di Jurusan Teknik Pertanian dan meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2022. Penulis melakukan praktik kerja lapangan (PKL) di PT Great Giant Pineapple (GGP) Plantation Group 4, Lampung Timur pada tahun 2019. Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro di Universitas Lampung, penulis melakukan penelitian pada bidang Otomasi Industri dengan judul tesis “Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* untuk Prediksi Kadar Unsur Hara dalam Tanah” di bawah bimbingan Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T. dan Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

Penulis



PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT, teriring sholawat kepada Nabi Muhammad SAW

Bapak dan Ibu Tercinta,

Sebagai tanda bakti, hormat dan terima kasih yang tiada hingga kupersembahkan tesis ini untuk kedua orangtua tercinta saya Bapak Santa Wijaya dan Ibu Siti Nuih, yang selalu senantiasa memberikan saya kasih sayang tiada tara, dukungan, dan ridho yang tidak bisa saya balas melalui selembar kertas ini. Semoga hal ini dapat menjadi langkah awal bagi saya untuk dapat membuat bapak dan mamah selalu bahagia, walaupun saya masih belum dapat membalas apa yang beliau-beliau berikan kepada saya. Terima kasih untuk selalu mendoakan dan menasehati saya untuk terus melangkah menjadi orang yang lebih baik dengan selalu memberikan keridhoan disetiap langkah. Terima kasih mama papa. Semoga selalu dalam lindungan Allah S.W.T.

Saudara Terkasih

Sebagai tanda terima kasih aku persembahkan tesis ini untuk kakakku Emilia Wati dan Rosita Wijaya, adikku Wahyu Fernando, kakak iparku Ali Ariansyah dan Tias Andriana, keponakanku Adeeva, Alishba, dan Reyga. Terima kasih selalu senantiasa memberikan semangat dan selalu memberikan bantuan dalam penyelesaian tesis ini. Semoga doa dan segala hal yang terbaik yang engkau berikan dapat menjadikan ku orang yang baik dan berguna bagi sekitar. Terima kasih.

Dosen Teknik Elektro,

Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

Keluarga Besar MTE 2022,

Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang, dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan

Almamaterku,

Universitas Lampung



MOTTO

يُسْرًا أَلَسْرَ مَعَ فَإِنَّ

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 6)

“It’s okay to pause. There’s no need to run without even knowing the reason.”

— BTS, "Paradise"

SANWACANA

Assalamu'alaikum, Wr.Wb. Alhamdulillahirobbil'alamiin. Puji syukur Penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan baik. Tidak lupa, shalawat dan salam senantiasa penulis ucapkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang menjadi suri teladan mulia yang membawa kita kepada cahaya kehidupan dan iman.. Tesis dengan judul “Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* untuk Prediksi Kadar Unsur Hara dalam Tanah” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan dan penelitian, penulis telah mendapatkan banyak hal berharga, baik berupa dukungan, bimbingan, semangat, motivasi maupun kontribusi dari berbagai pihak. Sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Progam Pascasarjana, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan selaku Penguji Pendamping penulis yang senantiasa memberikan bimbingan, ilmu, saran, dan kritik dalam penyelesaian tesis ini.
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyaniti, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Lampung, dan selaku dosen Pembimbing Utama tugas akhir penulis atas kesediannya dalam membimbing, memberikan nasehat, serta dorongan motivasi kepada penulis sehingga tesis ini dapat

terselesaikan dengan baik.

6. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan masukan dan arahan untuk penyelesaian tesis ini.
7. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku dosen Penguji Utama atas kesediaannya dalam memberikan saran dan kritik kepada penulis.
8. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
9. Untuk kedua orangtua penulis Bapak Santa Wijaya dan Ibu Siti Nuih yang telah membesarkan dan memberi kasih sayang. Terima kasih atas kerja keras dan selalu mendukung penulis berupa doa atau perilaku dalam memberi semangat. Sehingga penulis dapat mencapai titik yang tidak bias penulis bayangkan tanpa bantuan dan doa kedua orangtua penulis.
10. Emilia Wati, Rosita Wijaya, dan Wahyu Fernando selaku saudara penulis yang senantiasa memberikan support tanpa henti.
11. Teman-teman Magister Teknik Elektro 2022, yang saling memberikan support selama perkuliahan.
12. Terima kasih kepada Linasari selaku teman yang selalu senantiasa memberikan semangat dalam penyelesaian tesis ini.
13. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Kakak Deeva, Adik Aish, dan Abang Rey sebagai *support system* yang selalu senantiasa memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan yang mungkin terdapat dalam penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak serta turut berkontribusi dalam memperkaya khazanah ilmu pengetahuan. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025
Penulis,

Witaningsih

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
1.4. Hipotesis.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pentingnya Peranan Pertanian dalam Masyarakat.....	5
2.2. Tanah Podsolik Merah Kuning.....	5

2.3. Kadar Unsur Hara dalam Tanah	7
2.4. Hara Nitrogen, Fosfor, dan Kalium	9
2.5. Jaringan Syaraf Tiruan	10
2.6. Forecasting dan Prediksi Nutrisi Tanaman	12
III. METODE PENELITIAN	15
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	15
3.3. Prosedur Penelitian.....	15
3.4. Parameter Pengamatan	18
3.5. Kriteria Desain	19
3.6. Pembuatan Model Jaringan Syaraf Tiruan	20
3.7. Pembuatan Model Matematika.....	23
3.8. Alur Kerja Program	24
3.9. Analisis Data	25
3.9.1. Normalisasi Data.....	25
3.9.2. Kalibrasi Model JST	26
3.9.3. Validasi Model.....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Nilai Kadar N, P, dan K pada Sampel Tanah	29
4.2. Interaksi Unsur Hara Makro N, P, dan K dalam Tanah	31
4.3. Proses Pengukuran Nilai Masukan Kelengasan, pH, Resistansi, dan Suhu Tanah	33
4.4. Hubungan antara Nilai Kadar Unsur Hara dengan Nilai masukkan Data .	34
4.4.1. Hubungan nilai pH, Kelengasan tanah, Suhu, dan Resistansi terhadap Kadar Nitrogen.....	34

4.4.2. Hubungan nilai pH, Kelengasan tanah, Suhu, dan Resistansi terhadap Kadar Fosfor	38
4.4.3. Hubungan nilai pH, Kelengasan tanah, Suhu, dan Resistansi terhadap Kadar Kalium	43
4.5. Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan	47
4.5.1. Pelatihan dan Pengujian Model Jaringan Syaraf Tiruan	47
4.5.2. Persamaan Matematika dari Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan.....	54
4.6. Integrasi Model Jaringan Syaraf Tiruan	66
4.7. Hasil Rancangan Alat Prediksi Unsur Hara	67
4.8. Normalisasi, Kalibrasi, dan Validasi Model JST	69
V. KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	87
Lampiran 1. Data Penelitian.....	88
Lampiran 2. Proses perlakuan sampel tanah	97
Lampiran 3. Variasi Fungsi Aktivasi	100
Lampiran 4. Simulasi pemodelan JST.....	101
Lampiran 5. Skematik rangkaian alat prediksi kadar hara	105
Lampiran 6. Syntax arduino uno alat prediksi kadar hara.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ringkasan Penelitian Terkait <i>Forecasting</i> dan Prediksi Nutrisi Tanaman	13
2. Unit percobaan penelitian	18
3. Data Pengukuran	19
4. Nilai rata-rata kadar N, P, dan K pada sampel tanah	30
5. Hasil pelatihan model jaringan syaraf tiruan dengan variasi fungsi aktivasi....	51
6. Data kadar lengas tanah	88
7. Data latih dan pengujian jaringan syaraf tiruan	91
8. Nilai pengujian alat dengan nilai aktual kadar nitrogen.....	94
9. Nilai pengujian alat dengan nilai aktual kadar fosfor	95
10. Nilai pengujian alat dengan nilai aktual kadar kalium.....	96
11. Variasi fungsi aktivasi untuk pelatihan model JST	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Penelitian	17
2. Desain Model Alat prediksi kadar unsur hara dalam tanah.	20
3. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan.....	21
4. Proses Pengembangan Model pada JST.....	22
5. Model Matematis JST	23
6. Alur diagram pemrograman	25
7. Desain Probe Resistansi tanah	33
8. Hubungan antara nilai pH terhadap kadar nitrogen	34
9. Hubungan antara nilai kelengasan tanah terhadap kadar nitrogen.....	35
10. Hubungan antara nilai suhu tanah terhadap kadar nitrogen	37
11. Hubungan antara nilai resistansi tanah terhadap kadar nitrogen.....	38
12. Hubungan antara nilai pH terhadap kadar fosfor	39
13. Hubungan antara nilai kelengasan tanah terhadap kadar fosfor.....	40
14. Hubungan antara nilai suhu tanah terhadap kadar fosfor.....	41
15. Hubungan antara nilai resistansi tanah terhadap kadar fosfor	42
16. Hubungan antara nilai pH terhadap kadar kalium.....	43
17. Hubungan antara nilai kelengasan tanah terhadap kadar kalium	44
18. Hubungan antara nilai suhu tanah terhadap kadar kalium	45
19. Hubungan antara nilai resistansi tanah terhadap kadar kalium.....	47

20. Tampilan layar <i>running</i> pelatihan JST	49
21. Grafik perbandingan nilai observasi dan prediksi pada pelatihan JST	50
22. Grafik pelatihan model JST keluaran nitrogen	53
23. Grafik pelatihan model JST keluaran fosfor	53
24. Grafik pelatihan model JST keluaran kalium.....	53
25. Tampilan bahasa pemrograman arduino yang telah diunggah.....	67
26. Alat prediksi kadar NPK	67
27. Komponen alat prediksi kadar NPK	68
28. Proses validasi pada alat	72
29. Tampilan alat prediksi kadar NPK.....	73
30. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat prediksi pada output nitrogen	74
31. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat prediksi pada output fosfor	74
32. Grafik validasi nilai aktual pengujian alat prediksi pada output kalium.....	75
33. Proses pengayakan sampel tanah podsolik merah kuning	97
34. Penimbangan dan pelarutan pupuk	97
35. Sampel tanah dengan perlakuan penambahan pupuk urea.....	98
36. Sampel tanah dengan perlakuan penambahan pupuk TSP.....	98
37. Sampel tanah dengan perlakuan penambahan pupuk KCl.....	98
38. Proses pengeringan sampel tanah menggunakan oven	99
39. Proses pengukuran resistansi menggunakan multimeter analog.....	99
40. Data latih pada file Ms. Excel	101
41. Data uji pada notepad.....	101
42. Tampilan aplikasi Matlab.....	102
43. Tampilan proses pelatihan.....	102
44. Tampilan penyesuaian bobot bias, node, dan fungsi aktivasi	103

45. Tampilan <i>Neural network training</i> , grafik hasil latih, dan <i>current folder</i>	103
46. Tampilan proses pengujian	104
47. Skematik Rangkaian	105

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertanian menjadi sektor utama dalam perekonomian Indonesia karena sebagian besar penduduknya menggantungkan hidup pada kegiatan bertani. Berdasarkan Sensus Pertanian 2023 oleh Badan Pusat Statistik (BPS), terdapat 27.368.114 rumah tangga petani di Indonesia. Sebanyak 15.550.786 rumah tangga mengusahakan subsektor tanaman pangan, 12.046.143 rumah tangga bergerak di bidang peternakan, dan 10.877.356 rumah tangga pada subsektor perkebunan [1].

Salah satu proses penting dalam kegiatan bertani adalah pemupukan. Pemupukan bertujuan untuk mencukupi kebutuhan unsur hara dalam tanah agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan optimal. Untuk mencapai pemupukan yang efektif dan efisien, diperlukan informasi mengenai kadar unsur hara dalam tanah, khususnya unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Unsur hara tersebut memiliki peran penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman. Unsur hara membantu dalam pembentukan protein dan mineral yang sangat diperlukan oleh tanaman. Unsur hara juga berperan dalam mengedarkan energi ke seluruh bagian tanaman, merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar, mempercepat pembungaan dan pembuahan tanaman, serta mempercepat pemasakan biji dan buah [2].

Unsur hara dibagi menjadi dua kategori, yaitu makro dan mikro. Unsur hara makro dibutuhkan dalam jumlah besar, misalnya N, P, dan K, sedangkan unsur mikro seperti Fe, Cu, dan Zn dibutuhkan dalam jumlah kecil namun tetap penting bagi pertumbuhan tanaman [3].

Pemberian pupuk menjadi cara yang umum dilakukan untuk menambah ketersediaan unsur hara dalam tanah. Penambahan pupuk yang sesuai akan

membantu tanaman mencapai hasil optimal. Salah satu pupuk yang sering digunakan oleh petani adalah pupuk NPK. Pupuk ini merupakan pupuk buatan berbentuk cair maupun padat yang mengandung unsur hara utama nitrogen, fosfor, dan kalium. Penggunaan pupuk anorganik memang dapat meningkatkan hasil produksi tanaman, tetapi penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jangka panjang dapat berdampak negatif terhadap kesuburan tanah [4]. Oleh karena itu, perlu diterapkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan pupuk, khususnya dengan mengetahui terlebih dahulu kondisi kesuburan tanah secara tepat sebelum proses pemupukan dilakukan.

Kandungan unsur hara dalam tanah umumnya diketahui melalui uji laboratorium. Meskipun akurat, metode ini memiliki beberapa kekurangan seperti biaya yang relatif tinggi, waktu yang cukup lama, serta akses petani terhadap laboratorium yang terbatas [5] [6]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya suatu alat atau metode yang dapat memprediksi kadar hara tanah secara cepat, efisien, dan dapat digunakan secara langsung di lapangan.

Salah satu teknologi yang mulai banyak dimanfaatkan dalam prediksi kadar hara tanah adalah jaringan syaraf tiruan (JST). Teknologi ini mampu memodelkan hubungan kompleks antara berbagai parameter tanah dengan kandungan unsur haranya [7] [8] [9]. JST juga telah digunakan secara luas dalam bidang pertanian, terutama untuk sistem presisi dan pengambilan keputusan berbasis data. Kemampuan JST dalam melakukan klasifikasi dan prediksi menjadikannya sebagai alternatif utama dari pendekatan pemodelan matematika tradisional. Salah satu metode JST yang sering digunakan adalah *backpropagation*. Metode ini telah dikembangkan dengan penambahan parameter momentum yang bertujuan untuk mempercepat proses konvergensi dan menjaga stabilitas pelatihan jaringan. Momentum dalam jaringan syaraf tiruan memungkinkan penyesuaian bobot lebih cepat ketika arah gradien tetap sama dalam beberapa pola pelatihan, sehingga proses pelatihan menjadi lebih efisien [10] [11].

Penelitian terkait alat pengukur kadar unsur hara NPK telah dilakukan dengan pendekatan yang beragam. Salah satu pendekatan menggunakan metode induksi medan magnet untuk mendeteksi kadar unsur hara dalam tanah. Hasil pengukuran

menunjukkan bahwa metode ini belum dapat mendeteksi kadar unsur hara dengan baik jika konsentrasinya di bawah 20% [12]. Penelitian lain mengembangkan sistem monitoring unsur hara menggunakan sensor analog NPK dan Raspberry Pi. Sistem tersebut memiliki tingkat akurasi pembacaan unsur N, P, dan K yang cukup tinggi, yaitu di atas 80% [13].

Penelitian ini mengembangkan alat prediksi kadar unsur hara dalam tanah berdasarkan nilai konduktivitas listrik (resistansi), kelengasan, pH, dan suhu tanah. Korelasi antara parameter-parameter tersebut terhadap ketersediaan unsur hara telah dibuktikan oleh berbagai penelitian. Nilai konduktivitas listrik memiliki hubungan dengan kandungan ion dalam tanah, yang berkaitan dengan keberadaan unsur hara makro. Kelengasan atau kadar air tanah berpengaruh terhadap pelepasan unsur hara dari partikel tanah ke dalam larutan tanah, sedangkan suhu tanah memengaruhi mobilitas unsur hara karena meningkatkan vibrasi atom dan ion tanah [14] [15].

Nilai resistansi, kelengasan, suhu, dan pH akan digunakan sebagai input untuk memprediksi nilai nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah. Hasil pengukuran ditampilkan pada *liquid crystal display* (LCD). Alat ini mengintegrasikan teknologi jaringan syaraf tiruan dan mikrokontroler sehingga dapat menghasilkan prediksi kadar unsur hara dengan presisi tinggi dan mudah digunakan di lapangan. Diharapkan, alat ini dapat menjadi solusi praktis dan efisien bagi petani dalam menentukan kebutuhan pemupukan yang lebih tepat guna dan berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan antara parameter fisik tanah, yaitu resistansi, suhu, pH, dan kelengasan, terhadap kadar unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).
2. Mengetahui nilai koefisien determinasi (R^2) dari hasil pelatihan jaringan syaraf tiruan (JST) dalam memprediksi kadar unsur hara N, P, dan K.
3. Mengetahui nilai koefisien determinasi (R^2) dari hasil validasi sistem untuk menilai kemampuan model dalam memprediksi kadar unsur hara tanah.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberikan informasi ilmiah tentang kadar hara nitrogen, fosfor, dan nitrogen pada tanah, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menghadirkan solusi inovatif yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian, serta mengurangi ketergantungan pada metode konvensional yang mahal dan sulit diakses.

1.4. Hipotesis

Adapun hipotesis penelitian ini adalah terciptanya alat prediksi kadar hara nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah. Selain itu, alat ini mampu mengetahui berapa banyak kadar hara nitrogen, fosfor, dan kalium pada tanah berdasarkan kelengasan tanah, suhu, resistansi, dan pH.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian terbatas pada tanah podsolik merah kuning (PMK).
2. Model kecerdasan buatan yang digunakan hanya berupa jaringan syaraf tiruan (JST) dengan metode pelatihan.
3. Data input yang digunakan terbatas pada empat parameter tanah, yaitu resistansi, suhu, pH, dan kelengasan, yang diperoleh melalui pengukuran manual, bukan menggunakan sensor otomatis.
4. Prediksi kadar hara hanya difokuskan pada unsur hara makro, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), tanpa menyertakan unsur hara mikro lainnya.
5. Pelatihan dan validasi model dilakukan menggunakan dataset yang bersumber dari hasil pengukuran laboratorium, tanpa pengujian langsung di lapangan (*on-site testing*).
6. Proses normalisasi dilakukan menggunakan nilai maksimum dari masing-masing parameter dalam dataset hasil eksperimen, bukan berdasarkan nilai maksimum secara global. Oleh karena itu, hasil model lebih tepat dikategorikan sebagai prediksi terbatas berdasarkan ruang lingkup data lokal.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pentingnya Peranan Pertanian dalam Masyarakat

Indonesia merupakan negara agraris dengan lahan pertanian yang luas, sumber daya alam yang beragam dan melimpah. Di negara-negara agraris, pertanian memegang peranan yang sangat penting baik dalam memenuhi kebutuhan dasar maupun sebagai penggerak sektor sosial, ekonomi, dan bisnis. Sebagian besar penduduk Indonesia merupakan petani. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat, penduduk Indonesia paling banyak bekerja di sektor pertanian selama tahun 2022. Penduduk yang bekerja di sektor pertanian mencapai atau sekitar 1,86 juta orang atau naik 29,96% [16].

Sebaliknya, produktivitas petani di negara berkembang dan jumlah pekerjaan pertanian tidak sesuai, karena sektor pertanian tidak berjalan sebagaimana mestinya, hal ini memberikan tekanan pada produksi pangan. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan produksi pertanian yaitu dengan mengandalkan teknik yang dapat meminimalisir efek yang tidak diinginkan seperti pengasaman dan penggunaan pupuk yang efisien. Sistem pemupukan otomatis akan mengurangi penggunaan pupuk yang berlebihan. Sistem pemupukan yang otomatis akan menghemat waktu dan sumber daya karena nutrisi berupa pupuk dan air diberikan ketika benar-benar dibutuhkan dan dengan jumlah yang tepat [17].

2.2. Tanah Podsolik Merah Kuning

Indonesia memiliki keragaman jenis tanah yang sangat luas, salah satunya adalah tanah Podsolik Merah Kuning (PMK), yang dalam sistem klasifikasi USDA Soil Taxonomy dikategorikan sebagai Ultisol. Ultisol terbentuk melalui proses pelapukan intensif di iklim tropis basah yang menyebabkan pencucian unsur hara,

akumulasi oksida besi dan aluminium, serta kejenuhan basa yang rendah. Tanah podsolik merah kuning (PMK) merupakan jenis tanah yang banyak tersebar di sumatra dan Kalimantan. Ultisol adalah tanah mineral yang telah mengalami pelapukan dan pencucian intensif, cenderung masam dengan kejenuhan basa rendah. Kendala fisik, kimia, dan biologi seperti kandungan bahan organik yang rendah, tingkat keasaman yang tinggi, serta ketersediaan unsur hara yang rendah membuat PMK rentan terhadap erosi. Tanah PMK memiliki pH yang rendah berkisar 3,6 – 4,9 bernuansa masam dan sulit untuk dinaikkan lebih dari 4,9, sebab didominasi oleh pelapukan bahan induk yang mengandung logam Fe dan Al [18]. Karakteristik ini menyebabkan tanah menjadi masam dan memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah.

Sifat kimia tanah Podsolik Merah Kuning umumnya menunjukkan kecenderungan memiliki tingkat keasaman yang sangat hingga agak tinggi, kadar karbon organik yang rendah hingga sedang, fosfor yang rendah hingga sedang, serta konsentrasi kalium, kalsium, magnesium, natrium, dan kejenuhan basa lainnya yang rendah hingga sangat rendah. Kondisi ini diperparah dengan rendahnya kandungan bahan organik serta unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sehingga menjadikan Ultisol sebagai tanah marginal dengan tingkat kesuburan yang rendah [19].

Secara fisik, tanah PMK memiliki tekstur lempung hingga berpasir, struktur gumpal, dan konsistensi yang lekat. Tanah ini juga rentan terhadap erosi, memiliki tingkat infiltrasi dan perkolasi air yang rendah, serta kandungan aluminium (Al) yang tinggi yang dapat bersifat toksik terhadap tanaman. Meskipun demikian, tanah Ultisol dapat dioptimalkan melalui pengelolaan yang tepat. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah penambahan bahan organik seperti kompos dan pupuk kandang untuk meningkatkan struktur tanah serta kandungan unsur hara. Penambahan biochar juga dilaporkan mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah Ultisol, termasuk meningkatkan KTK dan ketersediaan hara [19].

Kapasitas pertanian tanah pada tanaman bergantung pada tingkat drainase dan kesehatan tanah. Kesuburan dan kesehatan tanah pada jenis Podsolik Merah Kuning

cenderung rendah karena kondisi fisika dan kimianya yang buruk. Oleh karena itu, penggunaan bahan organik sebagai pembenah tanah menjadi penting untuk meningkatkan kesehatan fisik tanah dan memberikan nutrisi yang dibutuhkan. Efisiensi dan efektivitas tanah dalam menyediakan nutrisi dipengaruhi oleh peranan koloid tanah, khususnya koloid organik [18].

Strategi pengelolaan lain yang terbukti efektif meliputi integrasi antara pupuk organik dan anorganik serta penerapan teknik konservasi tanah seperti pembuatan terasering dan pengaturan sistem irigasi. Penggunaan kompos dari tanaman cepat tumbuh seperti *Tithonia diversifolia* dan aplikasi biochar dari limbah pertanian telah memberikan hasil positif dalam meningkatkan produktivitas pada tanah Ultisol. Oleh karena itu, walaupun Ultisol memiliki berbagai kendala dalam aspek fisik, kimia, dan biologi tanah, pengelolaan yang terintegrasi dan berkelanjutan dapat mengubah lahan ini menjadi sumber daya pertanian yang produktif [20].

2.3. Kadar Unsur Hara dalam Tanah

Tanah merupakan media tumbuh terpenting bagi tanaman. Suatu tanaman dapat tumbuh dengan sempurna pada tanah yang sehat. Tanah dapat dikatakan sehat apabila tanah tersebut terbebas dari logam berat, subur, serta memiliki sifat fisik dan kimia yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Kondisi tanah yang sehat secara fisik dapat dilihat secara visual, dengan cara mengamati struktur, tekstur, dan kelengkapan tanah. Sifat kimia tanah berkaitan dengan jumlah unsur hara yang dibutuhkan tanaman, dimana jumlah yang dibutuhkan berbeda pada setiap fase pertumbuhan [21].

Kesuburan tanah sangat ditentukan oleh ketersediaan unsur hara dalam tanah. Kandungan unsur hara terdiri atas unsur hara makro, unsur hara sekunder dan unsur hara mikro. Unsur hara makro atau Makronutrien terdiri atas nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K). Nutrisi sekunder meliputi kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan belerang (S). Setiap tanaman membutuhkan makronutrien dalam jumlah besar seperti nitrogen (N), potasium (P) dan Kalium (K). Semua tanaman membutuhkan

makronutrien, terutama selama fase pertumbuhan. Kandungan unsur hara mikro tetap dibutuhkan oleh tanaman meskipun dalam jumlah yang sedikit [22].

Penambahan unsur hara oleh petani biasanya disesuaikan dengan dosis takaran per fase tanaman, hal ini mengakibatkan jumlah hara yang dibutuhkan menjadi tidak seimbang, atau pada fase tertentu tanaman kekurangan unsur hara dan pada fase lainnya tanaman kelebihan unsur hara. Implikasi hal ini mengakibatkan upaya pemupukan tidak efisien dari segi ekonomi dan tidak ramah lingkungan. Kelebihan hara dapat mengakibatkan pencemaran tanah yang mengakibatkan unsur hara tersebut menjadi racun bagi tanaman. Dampak hal ini terjadinya kerusakan jaringan tanaman sehingga tanaman tidak mampu memproduksi secara ideal [4].

Oleh sebab itu, deteksi atau pendugaan kadar unsur hara pada tanah harus dilakukan guna memonitor kondisi kesehatan dan kesuburan tanah, terutama tanah yang digunakan untuk aktivitas pertanian dan peternakan. Tindakan monitoring ini dilakukan agar petani dapat menentukan tindakan pencegahan ataupun tindakan lanjutan yang harus dilakukan guna menjaga kondisi kesehatan dan kesuburan tanah [23].

Peningkatan nilai konduktivitas listrik tanah akan diikuti dengan kenaikan nilai pH, kadar hara fosfor, dan kalium, sedangkan nilai nitrogen mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan nilai konduktivitas dipengaruhi oleh pH, nitrogen, fosfor, dan kalium meskipun berkorelasi cenderung rendah [14]. Sensor nitrogen, fosfor dan kalium tanah atau Sensor tanah NPK adalah sensor yang cocok untuk mendeteksi kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah, serta menilai kesuburan tanah dengan mendeteksi kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah, sehingga memudahkan penilaian kesuburan tanah secara sistematis. Probe baja tahan karat dari sensor NPK tanah dapat dikubur di dalam tanah untuk waktu yang lama dan tahan terhadap elektrolisis jangka panjang, garam, dan korosi alkali. Ini dapat diterapkan untuk mendeteksi tanah alkalin, tanah asam, tanah substrat, tanah persemaian dan tanah dedak kelapa [24].

2.4. Hara Nitrogen, Fosfor, dan Kalium

Nitrogen, sebagai unsur nutrisi utama bagi tanaman, sangat penting untuk pembentukan dan pertumbuhan bagian vegetatif seperti daun, batang, dan akar. Namun, jika terlalu berlebihan, nitrogen dapat menghambat proses pembungaan dan pembuahan tanaman. Defisiensi nitrogen dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan menyebabkan klorosis, yang sering dimulai dari daun bagian bawah dan dapat menyebabkan kematian tanaman. Fungsi nitrogen dalam tanaman meliputi peningkatan pertumbuhan, kesehatan daun, kadar protein, kualitas tanaman, dan juga mendukung perkembangbiakan mikroorganisme dalam tanah [25]

Fosfor, dalam bentuk phitin, nuklein, dan fostide, merupakan komponen penting dari protoplasma dan inti sel. Fosfor memiliki peran kunci dalam pembelahan sel dan perkembangan jaringan meristem. Tanaman menyerap P dalam bentuk ortofosfat primer dan ortofosfat sekunder. Dalam bentuk Ortofosfat primer apabila pH rendah, sedangkan diserap dalam ortofosfat sekunder apabila pH tinggi. pH mempengaruhi serapan P karena pH mempengaruhi ketersediaan P, terikat atau tidak terikat. Fungsi fosfor mencakup percepatan pertumbuhan akar, penguatan pertumbuhan tanaman muda menjadi dewasa, mempercepat pembungaan, pemasakan buah, dan meningkatkan produksi biji. Kekurangan fosfor dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil, pertumbuhan tidak optimal, meruncingnya akar atau ranting, keterlambatan pemasakan buah, serta penurunan kualitas dan hasil biji [26].

Kalium, yang merupakan unsur kedua terbanyak setelah nitrogen dalam tanaman, diserap dalam bentuk K^+ monovalensi. Kalium memiliki peran penting dalam membentuk protein dan karbohidrat, serta dalam mengeraskan jerami dan bagian bawah kayu tanaman. Selain itu, kalium juga membantu meningkatkan daya tahan tanaman terhadap penyakit dan meningkatkan kualitas buah/biji. Peran kalium dalam tanaman termasuk netralisasi asam organik, regulasi osmosis, peran dalam transportasi membran sel, dan aktivasi enzim [26].

2.5. Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) salah satu cabang ilmu kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didesain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah. Jaringan syaraf didefinisikan sebagai suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia [27]. *Backpropagation* merupakan salah satu metode jaringan syaraf tiruan yang menggunakan pelatihan *multiplayer* yang bekerja secara sistematis berdasarkan ilmu matematis yang sangat kuat serta objektif melalui model-model arsitektur jaringan yang dikembangkan sehingga diharapkan mampu melakukan prediksi dengan baik. *Backpropagation* menggunakan banyak lapisan untuk melakukan perubahan bobot-bobot [28].

Saat ini, banyak penelitian yang menggunakan teknologi untuk mempermudah tugas manusia, termasuk penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) [29] [30]. JST merupakan salah satu cabang dari ilmu kecerdasan buatan yang memodelkan jaringan syaraf pada manusia [27]. Dalam JST, terdapat berbagai metode, salah satunya adalah *Backpropagation*, yang terbukti efektif dalam masalah peramalan [31]. Beberapa penelitian yang memanfaatkan JST di bidang pertanian diantaranya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Mohmed (2023), penelitian ini mengembangkan model JST berbasis *Bayesian Neural Network* untuk memprediksi respons pertumbuhan tanaman terhadap kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, CO₂, dan radiasi cahaya di rumah kaca surya Tiongkok. Model ini membantu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan hasil panen [8]. Selain itu, penelitian yang dilakukan Lopez-Aguilar (2022), studi ini menggunakan JST dengan algoritma *backpropagation* untuk mensimulasikan akumulasi biomassa dan hasil buah tomat di rumah kaca. Model dengan tiga lapisan tersembunyi menunjukkan korelasi tinggi ($R > 0.94$) antara data simulasi dan observasi [7].

Backpropagation neural network merupakan tipe jaringan syaraf tiruan yang menggunakan metode pembelajaran terbimbing (*supervised learning*). Pada *supervised learning* terdapat pasangan data *input* dan *output* yang dipakai untuk melatih JST hingga diperoleh bobot penimbang (*weight*) yang diinginkan.

Penimbang itu sendiri adalah sambungan antar lapis dalam JST. Algoritma ini memiliki proses pelatihan yang didasarkan pada interkoneksi yang sederhana, yaitu apabila keluaran memberikan hasil yang salah, maka penimbang dikoreksi agar galat dapat diperkecil dan tanggapan JST selanjutnya diharapkan dapat mendekati nilai yang benar [7].

Dalam metode JST, terdapat beberapa fungsi aktivasi yang dapat digunakan, seperti *Sigmoid Biner*, *Sigmoid Bipolar*, dan *Tangen Hiperbolik*. Karakteristik yang esensial dari fungsi aktivasi tersebut adalah kontinuitas, diferensialitas, dan ketiadaan penurunan monotonik [32]. Algoritma pelatihan yang umum digunakan dalam Jaringan Syaraf Tiruan untuk memperbaiki bobot adalah *backpropagation*. Algoritma ini terdiri dari dua tahap utama: tahap *feedforward* dan tahap *backpropagation*. Pada tahap *backpropagation*, bobot-bobot dalam jaringan diperbaiki, dimulai dari bobot antara lapisan *output* dan lapisan tersembunyi, kemudian bergerak mundur untuk memperbaiki bobot antara lapisan tersembunyi dan lapisan *input*.

Setiap perubahan bobot bertujuan untuk mengurangi kesalahan (*error*). Setelah bobot diperbaiki, mereka dipropagasi kembali melalui jaringan menggunakan tahap *feedforward*. Iterasi dari kedua proses ini dilakukan pada seluruh data pelatihan hingga kondisi berhenti terpenuhi. Fase *feedforward* merupakan tahap di mana *input* diteruskan melalui jaringan untuk diproses dan menghasilkan *output* (*input-proses-output*). Proses ini berjalan searah, dimulai dari lapisan *input*, melalui lapisan tersembunyi, dan akhirnya ke lapisan *output* untuk menghasilkan keluaran jaringan serta menghitung kesalahan yang terjadi [33].

Jaringan syaraf tiruan pernah digunakan untuk melakukan identifikasi jenis teh, pada penelitian tersebut fitur yang digunakan yaitu berupa fitur warna RGB dan HSI [34]. Jaringan syaraf tiruan (JST) digunakan sebagai algoritma klasifikasi. Penelitian tersebut memperoleh akurasi pada saat training mencapai 62,7% sedangkan pada saat prediksi mencapai 42,31% [34]. Selain itu JST digunakan untuk mengetahui potensi gangguan padamata seperti glaukoma dan diabetic retinopathy. Hasil penelitian tersebut memberikan hasil 91,06%. JST juga

digunakan dalam penelitian [35] untuk mengklasifikasikan jenis kacang-kacangan berdasarkan teksturnya. Hasil penelitian ini diperoleh 99,8% untuk accuracy, 99,6% untuk precision dan 99,8% untuk recall dengan menggunakan 20 *neuron* pada *hidden layer* [36].

2.6. Forecasting dan Prediksi Nutrisi Tanaman

Kemajuan teknologi dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dan pembelajaran mesin (*Machine Learning/ML*) telah membuka peluang besar untuk mengoptimalkan sektor pertanian, khususnya dalam hal prediksi kebutuhan nutrisi tanaman. Prediksi kebutuhan hara yang akurat sangat penting untuk menunjang pertumbuhan tanaman dan efisiensi penggunaan pupuk, terutama dalam konteks pertanian presisi. Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk memperkirakan kandungan unsur hara tanah atau menentukan dosis pupuk yang sesuai menggunakan data numerik maupun spasial.

Beberapa studi menunjukkan bahwa model prediksi berbasis data numerik seperti *Artificial Neural Network (ANN)*, *Random Forest*, serta *Deep Learning* memiliki performa yang cukup tinggi dalam menghasilkan estimasi yang akurat terhadap parameter pertanian. Model-model ini telah digunakan tidak hanya untuk klasifikasi atau deteksi citra, tetapi juga untuk memproyeksikan kebutuhan nutrisi berdasarkan data historis, sensor tanah, citra satelit, hingga data cuaca.

Berbagai hasil studi juga mengindikasikan bahwa keakuratan prediksi sangat dipengaruhi oleh kualitas data pelatihan, keragaman variabel input, serta kemampuan model dalam menggeneralisasi pada kondisi lingkungan yang berbeda. Model yang hanya dilatih menggunakan data statis cenderung mengalami penurunan akurasi ketika diterapkan pada kondisi baru yang dinamis atau *out-of-sample*.

Tabel berikut merangkum beberapa penelitian yang relevan terkait penerapan metode *forecasting* dan prediksi dalam konteks nutrisi tanaman dan kualitas tanah:

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terkait *Forecasting* dan Prediksi Nutrisi Tanaman

Author	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
Benidis <i>et al.</i>	2020	<i>Deep Learning for Time Series Forecasting</i>	Penelitian ini menunjukkan bahwa metode deep learning untuk forecasting time-series memiliki performa tinggi dalam berbagai aplikasi industri. Keakuratan model dipengaruhi oleh kualitas data dan kompleksitas arsitektur. Dalam kompetisi M4 dan M5, performa model sangat bergantung pada keberadaan fitur temporal yang memadai.
Folorunso <i>et al.</i>	2023	<i>Systematic Review on ML for Soil Quality</i>	Hasil telaah sistematis menunjukkan bahwa ML efektif dalam memprediksi kualitas tanah dan kadar hara. Namun, model mengalami penurunan akurasi saat digunakan untuk forecasting jangka panjang. Model Random Forest dan deep learning lebih cocok untuk prediksi langsung berbasis data statis.
Kammerlander <i>et al.</i>	2025	<i>AgroLens Project</i>	Model multitasking ML yang dikembangkan mampu memprediksi kadar NPK menggunakan citra satelit dan data cuaca. Model menunjukkan nilai R^2 yang tinggi dalam prediksi langsung, tetapi performanya menurun saat diaplikasikan untuk forecasting jangka panjang karena adanya fluktuasi cuaca dan faktor eksternal yang sulit dimodelkan.
Kumar <i>et al.</i>	2025	<i>Forecasting NPK with Neural Networks</i>	Model neural network diterapkan untuk memprediksi kandungan NPK dari larutan sintesis. Hasil menunjukkan error prediksi sekitar 16–27% pada data uji dengan kondisi berbeda. Hal ini mengindikasikan keterbatasan model dalam melakukan generalisasi untuk forecasting dibanding prediksi berbasis kondisi statis.

Author	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
Amertet & Gebresenbet	2024	<i>Forecasting the Right Crop Nutrients for Specific Crops Using ANN</i>	Penelitian ini mengembangkan ANN untuk memprediksi nutrisi tanaman berdasarkan data numerik dari MNIST. Hasil simulasi menunjukkan akurasi sebesar 99,996–99,997% pada proses pelatihan, validasi, dan pengujian. Model ini dinilai sangat efektif untuk forecasting kebutuhan nutrisi secara numerik dalam lingkungan pertanian presisi.

Berdasarkan tinjauan pustaka tersebut, pendekatan berbasis *machine learning* dan *deep learning* terbukti mampu memberikan hasil prediksi yang cukup akurat, terutama pada data yang bersifat terstruktur dan berskala besar. Walaupun demikian, ketergantungan terhadap kualitas dan kelengkapan data menjadi tantangan utama. Sebuah model yang menunjukkan performa tinggi dalam skenario pelatihan belum tentu mampu mempertahankan performanya saat diterapkan pada kondisi lingkungan yang berbeda atau pada data yang belum pernah ditemui sebelumnya [37].

Untuk menghasilkan sistem *forecasting* yang andal, diperlukan kombinasi antara pemilihan model yang tepat, proses pelatihan yang optimal, serta data yang representatif dan konsisten. Penelitian ini mengangkat kebutuhan akan model yang tidak hanya akurat, tetapi juga mampu beradaptasi dengan dinamika lingkungan pertanian yang kompleks dan berubah-ubah.

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada periode bulan Maret hingga Desember 2024 di Laboratorium Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain pH meter untuk mengukur tingkat keasaman sample tanah, sensor kelengasan tanah untuk mengukur kandungan kadar air tanah, untuk mengukur suhu digunakan thermometer digital. Selain sensor, peralatan lainnya mencakup Arduino Uno R3, probe elektroda, dan berbagai kabel jumper yang memungkinkan koneksi antar komponen tanpa perlu solder. Berbagai peralatan lainnya termasuk multimeter, potensiometer, dan mikrokontroler sebagai pengontrol rangkaian elektronika. Demikian pula, penggunaan LCD sebagai tampilan data, laptop untuk pemrograman dan kontrol. Bahan yang digunakan ialah tanah podsolik merah kuning, pupuk Urea (Nitrogen 46%), Pupuk TSP (Fosfor 44–46%), dan Pupuk KCl (Kalium Klorida) (60–62% K_2O).

3.3. Prosedur Penelitian

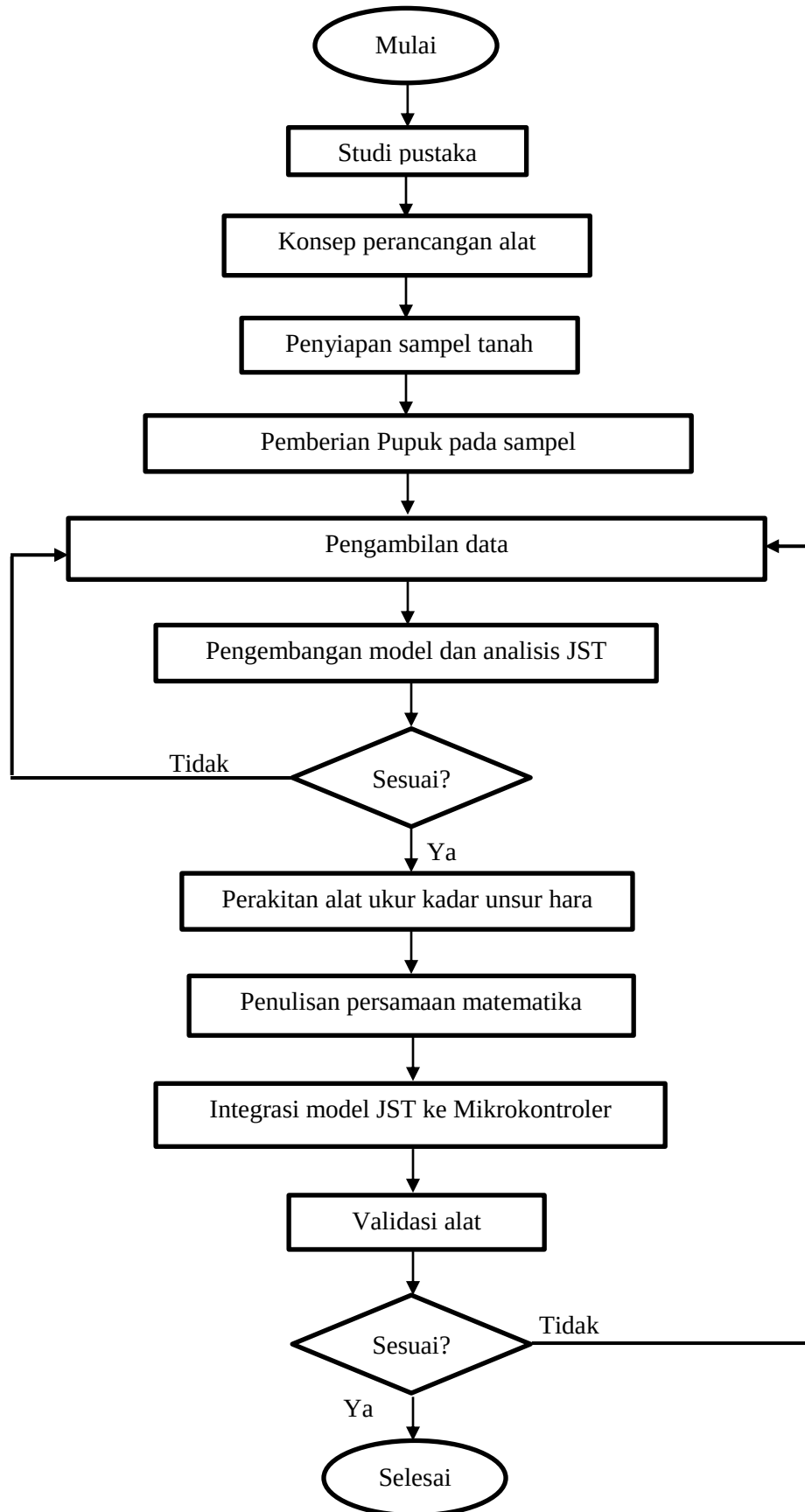
Prosedur penelitian dimulai dengan studi pustaka yaitu mencari literatur jurnal, dan buku yang berhubungan dengan kadar unsur hara dan jenis tanah yang mencakup dalam penelitian ini. Selanjutnya mempersiapkan tanah (podsolik merah kuning) yang akan digunakan, kemudian dilakukan proses pengayakan pada masing-masing tanah tersebut. Sampel tanah yang diambil pada penelitian ini hanya dibatasi pada

tanah perakaran saja. Tanah di tempatkan pada wadah plastik berbentuk tabung transparan dengan diameter 10 cm.

Objek yang akan ditambahkan pada tanah adalah pupuk anorganik tunggal, berupa pupuk Urea (Nitrogen 46%), Pupuk TSP (Fosfor 44–46%), dan Pupuk KCl (Kalium Klorida) (60–62% K_2O). Pupuk berbentuk butiran dan akan dilakukan pelarutan terhadap air, untuk larutan pupuk dengan variasi massa, masing-masing pupuk akan dilarutkan dengan perbandingan massa 0g, 5 g, 15 g, dan 25 g yang akan dilarutkan dalam 200 ml air.

Alat untuk memprediksi kadar hara dilengkapi dengan beberapa perangkat sensor. Sensor-sensor ini berfungsi untuk mendeteksi berbagai variabel fisika atau kimia, yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik [38]. Dalam penelitian ini, digunakan sensor kelengasan tanah, sensor pH tanah, dan sensor suhu. Sensor suhu yang dimanfaatkan adalah jenis termokopel, yang dibentuk dari penggabungan dua konduktor listrik dari logam atau paduan yang berbeda dalam satu sirkuit. Meskipun termokopel memiliki toleransi suhu yang tinggi dan umur pakai yang lama, namun membutuhkan kabel ekstensi khusus [39]. Selain sensor, alat ini juga menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk mengolah data, serta didukung oleh jaringan syaraf tiruan dengan metode *backpropagation*.

Setelah itu, dilakukan pengambilan nilai resistansi dengan menggunakan multimeter. Nilai resistansi yang telah diperoleh digunakan untuk pengembangan model jaringan. Pembuatan rancangan model jaringan merupakan langkah untuk mengetahui hasil pengembangan model matematika dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Model matematika yang sudah didapat kemudian dimasukkan kedalam mikrokontroler melalui *syntax*. Setelah alat yang dirancang telah sesuai maka dilakukan pengujian. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.4. Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan dimulai dari pengambilan nilai resistansi pada setiap sample di dalam toples, dimulai dari kondisi tanah sebelum diberi pupuk dan tanah yang telah diberi perlakuan dengan menambahkan massa pupuk sebesar 5 g, 15 g, dan 25 g dilarutkan dalam 200 ml air. Unit percobaan ditunjukkan oleh Tabel 2. Nilai NPK yang diperoleh berdasarkan nilai resistansi, kelengasan, pH, dan suhu pada tanah kemudian akan dicatat pada tabel pengukuran. Tabel pengukuran dari data yang telah diperoleh disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Unit percobaan penelitian

Faktor 1	Faktor 2	Unit Percobaan	
Urea (N 46%)	M1	NM1U1	NM1U2
	M2	NM2U1	NM2U2
	M3	NM3U1	NM3U2
TSP (P 44-46%)	M1	PM1U1	PM1U2
	M2	PM2U1	PM2U2
	M3	PM3U1	PM3U2
Kalsium Sulfat (K 52%)	M1	KM1U1	KM1U2
	M2	KM2U1	KM2U2
	M3	KM3U1	KM3U2
Kontrol	-	KontrolU1	KontrolU2

Keterangan :

M1 : Penambahan massa pupuk 5 gram
 M2 : Penambahan massa pupuk 15 gram
 M3 : Penambahan massa pupuk 25 gram
 U1 : Ulangan 1
 U2 : Ulangan 2
 Kontrol : Tanpa penambahan massa pupuk

Tabel 3. Data Pengukuran

No	Jenis tanah	Jenis Pupuk	Massa pupuk (gram)	Resistansi (ohm)	Kelengasan tanah (%)	pH	Suhu tanah (°C)	Kadar Unsur Hara (ppm)		
								N	P	K
1.	PMK	Urea (N 46%)	5							
2.	PMK	Urea (N 46%)	5							
3.	PMK	Urea (N 46%)	15							
4.	PMK	Urea (N 46%)	15							
5.	PMK	Urea (N 46%)	25							
6.	PMK	Urea (N 46%)	25							
7.	PMK	TSP (P 44–46%)	5							
8.	PMK	TSP (P 44–46%)	5							
9.	PMK	TSP (P 44–46%)	15							
10.	PMK	TSP (P 44–46%)	15							
11.	PMK	TSP (P 44–46%)	25							
12.	PMK	TSP (P 44–46%)	25							
13.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	5							
14.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	5							
15.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	15							
16.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	15							
17.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	25							
18.	PMK	KCl (Kalium Klorida) (60–62% K ₂ O)	25							
19.	Kontrol	Ulangan 1	-							
20.	Kontrol	Ulangan 2	-							

3.5. Kriteria Desain

Alat ini dirancang untuk mengukur kadar unsur hara dalam tanah berdasarkan faktor kelengasan, resistansi, suhu, dan pH tanah. Kadar unsur hara didapat dengan cara memasukkan nilai kelengasan tanah, suhu tanah, pH tanah, dan nilai resistansi yang diperoleh dengan menggunakan multimeter analog. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk menemukan model matematika yang sudah dihitung dan kemudian dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Selanjutnya nilai yang sudah dimasukkan ke dalam mikrokontroler diputar menggunakan potensiometer yang sudah dirancang. Proses perhitungan dilakukan oleh mikrokontroler dan hasil nilai

kelengasan tanah akan muncul di layar monitor *Liquid Crystal Display* (LCD) pada alat yang telah dirancang. Adapun desain alat prediksi kadar unsur hara dalam tanah ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Desain Model Alat prediksi kadar unsur hara dalam tanah.

Keterangan:

I. *Liquid Crystal Display* (LCD)

II. Potensiometer

- a) Potensiometer 1 = pH tanah
- b) Potensiometer 2 = kelengasan tanah
- c) Potensiometer 3 = suhu tanah
- d) Potensiometer 4 = nilai resistansi

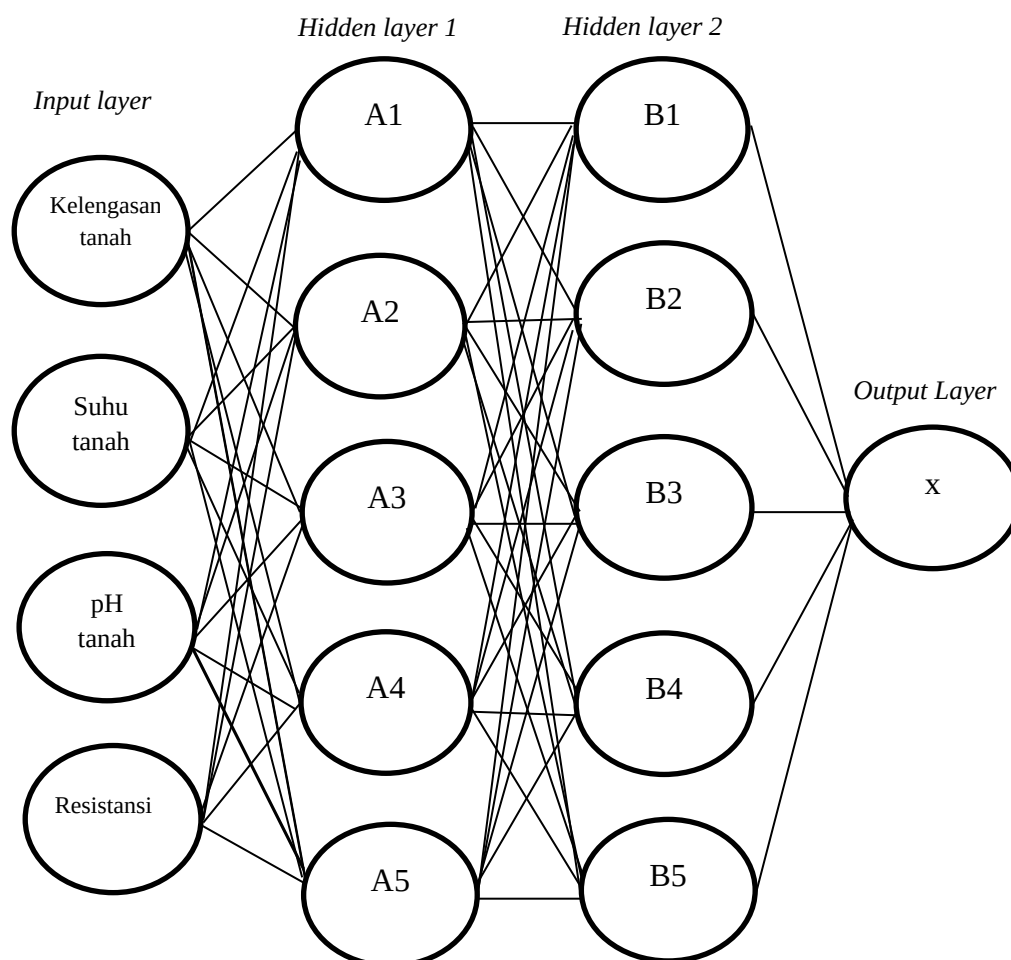
III. Kotak berisi komponen pendukung lainnya

3.6. Pembuatan Model Jaringan Syaraf Tiruan

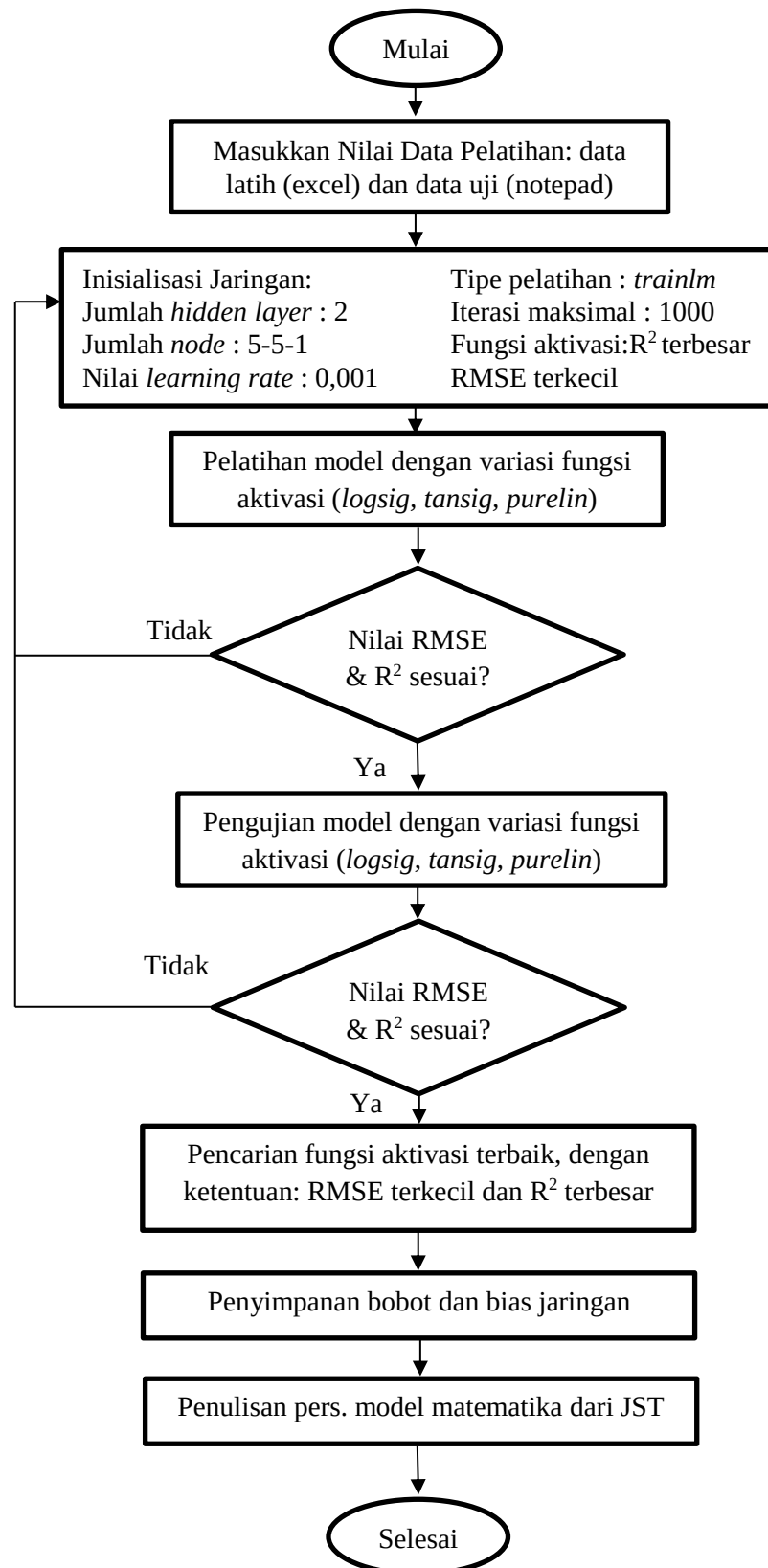
Pembuatan model jaringan syaraf tiruan dimulai dengan membuat arsitektur jaringan syaraf tiruan sesuai dengan data yang dihasilkan. Salah satu pedoman umum dalam perancangan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah jumlah node pada hidden layer sebaiknya tidak melebihi dua kali jumlah node pada input layer, untuk menghindari overfitting dan menjaga efisiensi model. Berdasarkan pedoman tersebut, dalam penelitian ini digunakan 4 variabel input, 2 *hidden layer* masing-masing dengan 5 node, dan 1 variabel output. *Input layer* berfungsi menerima data

yang akan dipelajari atau di proses jaringan. *Hidden layer* yaitu lapisan yang menjembatani antara lapisan *input* dan *output*. *Output layer* merupakan lapisan terakhir yang menghasilkan nilai *output system*.

Proses pelatihan dan pengujian jaringan menggunakan variasi fungsi aktivasi (Lampiran 3), supaya mendapatkan R^2 dan RMSE terbaik. Ketentuan fungsi aktivasi terbaik yaitu R^2 terbesar dan RMSE terkecil. Nilai koefisien determinasi (R^2) berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai yang diperoleh mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa variabel bebas terhadap variabel terikat berpengaruh besar. Artinya, model yang digunakan berarti baik untuk menjelaskan pengaruh variabel tersebut. Arsitektur jaringan dapat dilihat pada Gambar 3 dan proses pengembangan model pada JST dapat dilihat pada Gambar 4. Pada penelitian ini, dilakukan 3 kali pengulangan simulasi menggunakan arsitektur jaringan yang sama untuk menentukan nilai keluaran nitrogen, fosfor, dan kalium.



Gambar 3. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

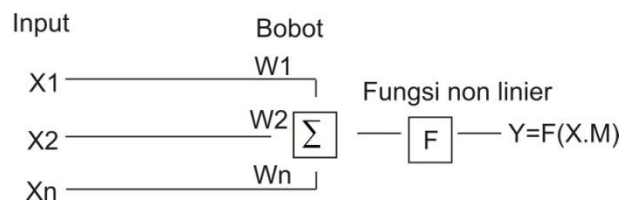


Gambar 4. Proses Pengembangan Model pada JST

3.7. Pembuatan Model Matematika

Model adalah suatu bentuk representasi dari fenomena atau kejadian yang diamati di dunia nyata, yang bertujuan untuk menggambarkan sistem secara lebih sederhana namun tetap mempertahankan karakteristik utamanya. Salah satu pendekatan dalam menggambarkan sistem yang kompleks adalah melalui model matematika, yaitu suatu sistem persamaan yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan antar variabel dalam suatu fenomena [40].

Model matematika mencakup unsur-unsur seperti variabel, parameter, serta fungsi-fungsi yang menyatakan relasi antar elemen tersebut. Model ini memfasilitasi pemahaman terhadap sistem yang kompleks melalui struktur yang lebih terdefinisi dan terukur. Secara umum, model matematika dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama: model fenomenologis (*phenomenological model*) dan model mekanistik (*mechanistic model*) [40].



Gambar 5. Model Matematis JST

Jika dinyatakan dalam notasi matematika sebagai berikut:

$$y = f(x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_mw_m) \text{ atau } y = f(x.w) \quad (3.1)$$

f = fungsi non linear atau fungsi aktivasi

Model matematika didapat dari fungsi aktivasi terbaik, dimana fungsi aktivasi tersebut memiliki bobot dan bias. Bobot adalah suatu nilai yang mendefinisikan tingkat atau kepentingan hubungan antara suatu *node* dengan *node* yang lain. Bias adalah salah satu *node input* yang bersifat khusus karena selalu bernilai 1, penggunaan bias dapat mempercepat pelatihan, hal ini dapat terjadi karena keberadaan bias berguna sebagai faktor koreksi terhadap kecukupan variabel-variabel *input* yang telah ditetapkan. Bobot dan bias yang didapat dari fungsi aktivasi terbaik kemudian akan diubah kedalam persamaan model matematika.

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

Bobot I_H1

2,1578524e+000	-1,5290972e+000	-3,3822891e+000	-3,1974623e+000
-5,6073777e-001	-1,4215435e+000	2,2704934e+000	-4,1494145e+000
-7,4048440e+000	8,9992974e+000	1,8701650e+001	-1,1080871e+001

Bias I_H1

-6,1283873e+000

1,4672940e+000

-3,0982030e+000

$Y_1 = 2,1578524(X_1) - 1,5290972(X_2) - 3,3822891(X_3) - 3,1974623$

$Y_2 = -5,6073777(X_1) - 1,4215435(X_2) + 2,2704934(X_3) - 4,1494145$

$Y_3 = -7,4048440(X_1) + 8,999297(X_2) + 1,8701650(X_3) - 1,1080871$

$$Y_4 = \frac{(1 - \exp(-2Y_1))}{(1 + \exp(-2Y_1))}$$

$$Y_5 = \frac{(1 - \exp(-2Y_2))}{(1 + \exp(+2Y_2))}$$

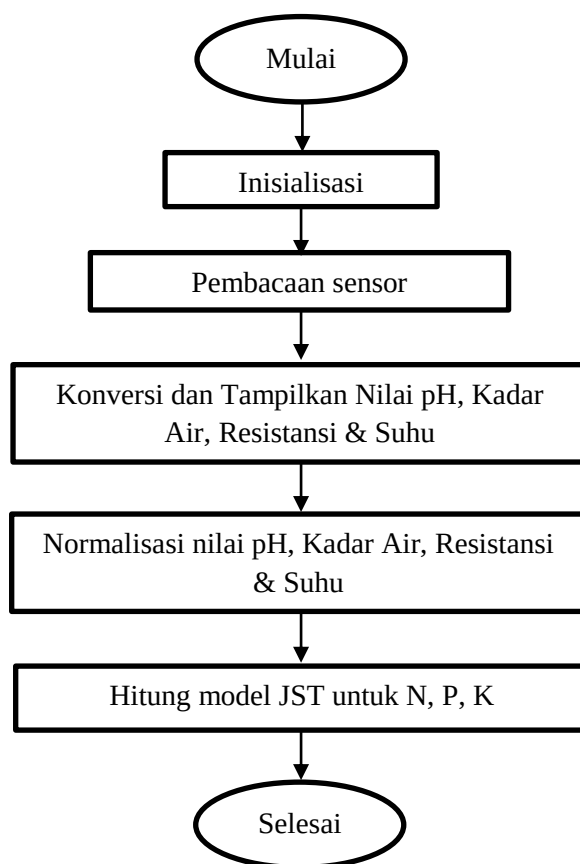
$$Y_6 = \frac{1}{(1 + \exp(-Y_3))}$$

Nilai Bobot I_H1 dan Bias I_H1 dihasilkan dari persamaan *logsig*, nilai Bobot H1_H2 dan Bias H1_H2 dihasilkan dari persamaan *logsig*, dan Bobot H2_O dan Bias H2_O menggunakan persamaan *logsig*.

3.8. Alur Kerja Program

Alur kerja program dimulai dengan proses inisialisasi yang mencakup pengaktifan perangkat keras seperti LCD dan komunikasi serial. Program kemudian membaca data dari empat potensiometer yang merepresentasikan nilai pH, kandungan Kalium (KA), suhu, dan resistansi tanah.

Setiap data sensor dikonversi ke skala tertentu dan ditampilkan pada layar LCD jika terjadi perubahan nilai dari pembacaan sebelumnya. Nilai-nilai tersebut juga dikirim ke Serial Monitor untuk keperluan pemantauan. Data yang telah terbaca dinormalisasi dan digunakan sebagai input pada model jaringan syaraf tiruan (JST) dengan algoritma *backpropagation*. Model JST terdiri dari dua lapisan, yaitu *hidden layer* dan *output layer*, yang menghasilkan prediksi kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) tanah. Hasil prediksi ditampilkan pada LCD dan ditampilkan melalui Serial Monitor. Program berjalan secara berulang selama sistem aktif.



Gambar 6. Alur diagram pemrograman

3.9. Analisis Data

3.9.1. Normalisasi Data

Proses normalisasi bertujuan untuk menyetarakan skala masing-masing variabel input agar tidak terjadi dominasi variabel tertentu dalam proses pelatihan model.

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan dengan cara membagi setiap nilai input terhadap nilai maksimum dari masing-masing parameter berdasarkan data hasil pengukuran laboratorium. Pendekatan ini dipilih karena data yang digunakan bersifat lokal dan terbatas pada jenis tanah PMK, sehingga model dikembangkan dalam ruang lingkup data eksperimen yang tersedia.

3.9.2. Kalibrasi Model JST

Kalibrasi model jaringan syaraf tiruan dilakukan melalui penyesuaian parameter pelatihan, seperti jumlah neuron pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*), jumlah epoch, dan nilai *learning rate*. Tujuannya adalah untuk memperoleh konfigurasi terbaik yang menghasilkan nilai galat (*error*) serendah mungkin. Proses kalibrasi dilakukan secara bertahap hingga diperoleh performa model yang optimal pada data latih.

3.9.3. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengukur kemampuan model dalam memprediksi data baru yang belum dikenali sebelumnya. Dataset dibagi menjadi dua bagian, yaitu data latih (*training data*) sebesar 80% dan data uji (*testing data*) sebesar 20%. Setelah model dilatih menggunakan data latih, performanya dievaluasi dengan menggunakan data uji. Kinerja model diukur berdasarkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebagai indikator akurasi hasil prediksi.

1. Perhitungan *Root Mean Square Error*

Perhitungan *Root Mean Square Error* dalam pengujian data validasi digunakan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya kesalahan pendugaan dari alat ukur cepat yang dikembangkan [41]. Berikut merupakan rumus perhitungan RMSE:

$$RMSE = [n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

$$RRMSE = \frac{[n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{1/2}}{\frac{1}{N} \sum y} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dimana:

n = jumlah data

e = nilai *error*

Indikator RMSE dan deviasi standar tidak dapat dibandingkan jika suatu model yang sama ditempatkan di wilayah studi yang berbeda, karena nilai-nilainya akan tergantung pada ukuran besarnya matriks, T dan sebagainya. Persentase dari akar kesalahan kuadrat rata-rata (%RMSE) dapat mengatasi hal ini, dan didefinisikan sebagai:

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{T_1} \times 100\% \quad (3.4)$$

Semakin besar nilai RMSE, %RRMSE, deviasi standard dan C_v berarti hasil estimasi model yang dihasilkan semakin tidak tepat bila dibandingkan dengan pengamatan. RMSE adalah cara standar dan populer untuk mengukur kesalahan suatu model dalam memprediksi data kuantitatif yang menunjukkan seberapa tersebar data di sekitar garis yang paling cocok. Maka dari itu dilihat dari persamaan kedua rumus akan menghasilkan nilai yang dikatakan sama, RMSE bias disebut sebagai deviasi standar atau sebaliknya.

2. Uji koefisien determinasi (R^2)

Perhitungan koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat yaitu data kalibrator dan data alat ukur cepat. Berikut merupakan rumus perhitungan koefisien determinasi:

$$R^2 = \frac{[n\sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

n = jumlah data

$\sum x$ = jumlah data x

$\sum y$ = jumlah data y

Besarnya kontribusi variabel bebas terhadap variabel terikat ditentukan menggunakan koefisien determinasi. Nilai determinasi terletak diantara 0 dan 1, nilai koefisien determinasi adalah mendekati 1 jika semua nilai observasi terletak dekat sekali dengan garis regresi. Nilai koefisien determinasi semakin kecil jika nilai observasi semakin menjauh dan berpecah. Untuk mengetahui seberapa besar nilai koefisien determinasi maka perlu dilakukan pengeplotan grafik menggunakan

nilai prediksi sebagai variabel tergantung (Y) dengan nilai validasi sebagai variabel bebas (X) dengan menggunakan *software Microsoft Excel*.

Koefisien determinan (R^2) merupakan konstanta yang menunjukkan besarnya variasi Y_i setiap terjadi perubahan satu satuan X_i . Dalam implementasi keseharian, bisa diartikan sebagai besarnya pengaruh variabel X_i terhadap variabel Y yang dinyatakan dalam persen. Standar deviasi adalah simpangan baku dari data yang telah disusun dalam tabel hasil pengolahan [40]. Standar deviasi menginformasikan tentang seberapa jauh bervariasi data terhadap nilai rata-ratanya. Jika nilai standar deviasi jauh lebih besar dibandingkan nilai rata-rata, maka nilai rata-rata merupakan representasi yang buruk dari keseluruhan data. Semakin besar nilai standar deviasi semakin bervariasi data (heterogen) dan sebaliknya. Sedangkan jika nilai SD sangat kecil dibandingkan nilai rata-rata, maka nilai rata-rata merupakan representasi yang baik yang dapat digunakan sebagai representasi dari keseluruhan data.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Seluruh parameter fisik tanah menunjukkan kecenderungan hubungan terhadap kadar nitrogen, fosfor, dan kalium. Masing-masing parameter memiliki pola pengaruh yang berbeda, tergantung pada sifat kimia unsur hara dan kondisi tanah. Temuan ini menguatkan bahwa variabel input yang digunakan dalam model JST relevan secara agronomis dan dapat mendukung akurasi prediksi kadar hara tanah.
2. Hasil pelatihan model Jaringan Syaraf Tiruan menunjukkan bahwa:
 - a) Keluaran nitrogen, model dengan konfigurasi fungsi aktivasi *logsig-logsig-purelin* mampu menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9642, yang menunjukkan bahwa model dapat menjelaskan hampir seluruh variasi data nitrogen. Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,0126 dan Relative RMSE (RRMSE) sebesar 8,5048% menunjukkan bahwa model ini memiliki akurasi prediksi yang sangat baik.
 - b) Keluaran fosfor, model menggunakan fungsi aktivasi *tansig-logsig-purelin* dan mampu menghasilkan nilai R^2 sempurna sebesar 1, yang berarti seluruh variasi data dapat dijelaskan oleh model. Nilai RMSE sebesar 10,5386 dan RRMSE sangat rendah yaitu 0,7999%, model ini menunjukkan performa prediksi yang sangat akurat dan stabil.
 - c) Keluaran kalium, model menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9996, yang menandakan bahwa prediksi hampir seluruhnya sesuai dengan data aktual.

Nilai RMSE sebesar 0,0165 dan RRMSE sebesar 1,5811%, model ini juga tergolong sangat baik dalam melakukan prediksi kadar hara kalium.

3. Uji validasi menunjukkan bahwa sistem mampu memprediksi kadar nitrogen dengan akurasi yang cukup tinggi ($R^2 = 0,7218$). Hasil uji validasi untuk fosfor menunjukkan hubungan yang cukup baik antara nilai prediksi dan aktual ($R^2 = 0,6479$). Uji validasi terhadap kadar kalium juga menunjukkan hasil yang cukup akurat ($R^2 = 0,6137$).

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data dari berbagai jenis tanah dan kondisi lingkungan yang lebih beragam, serta menerapkan nilai normalisasi berdasarkan rentang global agar model lebih adaptif dan dapat digunakan secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Hasil Sensus Pertanian 2023," 2023. [Online]. Available: <https://sensus.bps.go.id/st2023/>.
- [2] Hotomo and Mahyudin, "Manfaat Unsur Hara Bagi Tanaman," 17 September 2022.
- [3] D. Triadiawarman, D. Aryanto and J. Krisbiyantoro, "Peran Unsur Hara Makro Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah (*Allium cepa* L.)," *Jurnal Agrifor*, vol. 12, no. 1, pp. 27-32, 2022.
- [4] P. Santhoshkumar, G. Sridevi, S. Thiyageshwari, M. Maheswari and M. Gnanachitra, "Long-Term Impact of Inorganic Fertilizers and Manures on Maize Yield and Soil Nutrient Status in a Calcareous Inceptisol in India," *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 35, no. 18, p. 29, 2023.
- [5] Rustan, F.D. Ramadhan, M.F. Afrianto, M. Peslinof, L. Handayani, A.P. Lestari and F. Manin, "Perancangan Alat Pengukur Kadar Unsur Hara NPK Pupuk," *journal online of physics*, vol. VIII, no. 1, pp. 55-60, November 2022.
- [6] M.M. Amri and R. Sumiharto, "Sistem Pengukuran Nitrogen, Fosfor, Kalium Dengan Local Binary Pattern Dan Analisis Regresi," *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)*., vol. IX, no. 2, 2019.
- [7] K. López-Aguilar, A. Benavides-Mendoza, S. González-Morales, A. Juárez-Maldonado, P. Chiñas-Sánchez and A. Morelos-Moreno, "Artificial Neural Network Modeling of Greenhouse Tomato Yield and Aerial Dry Matter," *Agriculture*, vol. 10, no. 4, p. 97, 2020.

- [8] G. Mohmed, X. Heynes, A. Naser, W. Sun, K. Hardy, S. Grundy and C. Lu, "Modelling daily plant growth response to environmental conditions in Chinese solar greenhouse using Bayesian neural network," *Scientific Reports*, vol. 13, p. 4379, 2023.
- [9] S. Kujawa and G. Niedbała, "Artificial Neural Networks in Agriculture," *Agriculture*, p. 497, 2021.
- [10] V. Ampelakiotis, I. Perikos, I. Hatzilygeroudis and G. Tsihrintzis, "Optical Recognition of Handwritten Logic Formulas Using Neural Networks," *Electronics*, vol. 10, no. 22, p. 2761, 2022.
- [11] A. Suryadibrata and D. P. Chandra, "Implementasi Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* untuk Pengenalan Karakter pada Dokumen Tercetak," *Ultima Computing : Jurnal Sistem Komputer*, vol. 11, no. 2, pp. 81-89, 2019.
- [12] D. Salsabila, D. Darmawan and A. Qurthobi, "Studi Pendekatan Metode Induksi Medan Magnet Dalam Penentuan Kadar Unsur Hara NPK Pada Tanah," in *e-Proceeding of Engineering*, Bandung, 2021.
- [13] C.H. As'ari, D.N. Ramadan and T.N. Damayanti, "Perancangan Dan Realisasi Sistem Monitoring Unsur Hara Dan Kelembaban Tanah Menggunakan raspberry Pi," in *e-Proceeding of Applied Science.*, Bandung, 2022.
- [14] M.A.W. Sari, O. Ivansyah and Nurhasanah, "Hubungan Konduktivitas Listrik Tanah dengan Unsur Hara NPK dan pH Pada Lahan Pertanian Gambut," *PRISMA FISIKA*, vol. VII, no. 2, 2019.
- [15] A.K. Salam, Ilmu Tanah, Bandar Lampung: Global Madani Press, 2020.
- [16] BPS, "Persentase Tenaga Kerja Informal Sektor Pertanian (Persen," 2022. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id>. [Accessed 17th January 2023].
- [17] J. Veda, M. Rivai and Suwito, "Sistem Kontrol dan Monitoring Pemupukan NPK Tanaman dengan Mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknik ITS*, vol. XI, no. 3, 2022.

- [18] M.H. Abdillah and M. Aldi, "Aplikasi Limbah Padat Karet Remah Pada Tanah Podsolik Merah Kuning Terhadap Ketersediaan Hara Makro Dan Perbaikan Sifat Fisika Tanah," *EnviroScienteeae*, vol. 16, no. 2, pp. 264-275, 2020.
- [19] I.S. Aditya, F.F. Adji and Kamillah, "Karakteristik kimia dan fisika tanah PMK (podsolik merah kuning) akibat penggunaan lahan yang berbeda," *Agrienvi*, vol. 13, no. 1, pp. 1-7, 2024.
- [20] Suwardi, "Utilization and Improvement of Marginal Soils for Agricultural Development in Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 383, p. 012047, 2019.
- [21] K. Wang, Y. Zhao, Z. Yang, Z. Lin, Z. Tan, L. Du and C. Liu, "Concentration and characterization of groundwater colloids from the northwest edge of Sichuan basin, China.," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 537, pp. 85-91, January 2018.
- [22] Z. Xing, K. Tian, C. Du, C. Li, J. Zhou and Z. Chen, "Agricultural soil characterization by FTIR spectroscopy at micrometer scales: Depth profiling by photoacoustic spectroscopy," *Geoderma*, vol. 335, pp. 94-103, February 2019.
- [23] D. Devianti, Sufardi, Zulfahrizal and A.A. Munawar, "Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Fast and Simultaneous Method to Predict Soil Macro Nutrients in Agricultural Soil," *Agritech*, vol. 39, no. 1, pp. 12-19, 2019.
- [24] H. Pratama, A. Yunan and R.A. Candra, "Design and Build a Soil Nutrient Measurement Tool for Citrus Plants Using NPK Soil Sensors Based on the Internet of Things," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 1, November 2018.
- [25] D. Setyaningrum, U. Kasanah and Z. Anisa, "Analysis of pH and Total Nitrogen Content Using the Kjeldah Method on Solid Organic Fertilizer,"

CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan, vol. 2, no. 2, pp. 122-127, 2024.

- [26] M. Sutejo, Pupuk dan cara pemupukan, Jakarta: Rineka Cipta, 1990.
- [27] A.P. Windarto, D. Nasution, A. Wanto, F. Tambunan, M. S. Hasibuan, M. N. H. Siregar, M. R. Lubis, S. Y. Fadillah and D. Nofriansyah, Jaringan Saraf Tiruan: Algoritma Prediksi dan Implementasi, J. Simarmata, Ed., Medan: Yayasan Kita Menulis, 2020.
- [28] A. Wanto, "Prediksi Produktivitas jagung Indonesia Tahun 2019-2020 Sebagai Upaya Antisipasi Impor Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation*," *Sintech Journal*, vol. II, no. 1, pp. 53-62, 2019.
- [29] F.J. Simanungkalit and H. Manurung, "Artificial Neural Network Model to Predict OBrix and pH of Banana Based on Color Parameters," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 13, no. 3, pp. 739-749, 2024.
- [30] G. Ramadhona, B.D. Setiawan and F. A. Bachtiar, "Prediksi Produktivitas Padi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, pp. 6048-6057, 2018.
- [31] A. Firmansyah, M. Solahudin and Supriyanto, "Artificial Neural Network Model for Shallot Disease Severity Prediction Using Drone Multispectral Imagery," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 14, no. 2, pp. 623-637, 2025.
- [32] Encord, "Activation functions in neural networks: Types and how to choose.," 2023. [Online]. Available: <https://encord.com/blog/activation-functions-neural-networks/>.
- [33] J. Brownlee, "How to choose an activation function for deep learning," Machine Learning Mastery, 2021. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/choose-an-activation-function-for-deep-learning/>.

- [34] M. Effendi, Fitriyah and U. Effendi, "Identifikasi Jenis Dan Mutu Teh Menggunakan Pengolahan Citra Digital Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Teknotan*, vol. XI, no. 2, August 2017.
- [35] M.E.A. Rivan, N. Rachmat and M.R. Ayustin, "Klasifikasi Jenis Kacang-Kacangan Berdasarkan Tekstur Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, vol. VI, no. 1, Mei 2020.
- [36] M.E.A. Rivan and T. Juangkara, "Identifikasi Potensi Glaukoma Dan Diabetes Retinopati Melalui Citra Fundus Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. VI, no. 1, September 2019.
- [37] S. Amertet and G. Gebresenbet, "Forecasting the Right Crop Nutrients for Specific Crops Based on Collected Data Using an Artificial Neural Network (ANN)," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 6, no. 3, pp. 1936-1952, 2024.
- [38] S.R. Sulistiyanti, A.U. Darajat and K. Karyanto, *Teknologi Sensor*, 1st ed., Yogyakarta: Graha Ilmu, 2020.
- [39] S.R. Sulistiyanti, S. Purwiyanti and G.A. Pauzi, *Sensor & Prinsip Kerjanya*, Bandar Lampung: Pusaka Media, 2020.
- [40] R. Aprilia and D.J. Panjaitan, *Pemodelan Matematika*, Medan: Penerbit LPPM UMNAW , 2022.
- [41] K.M. Sujon, R.B. Hassan, Z.T. Towshi, M.A. Othman, M.A. Samad and K. Choi, "When to Use Standardization and Normalization: Empirical Evidence From Machine Learning Models and XAI," *IEEE Access*, Vols. 12,, p. 135300–135314, 2024.
- [42] A. Trisanto, *Penetapan Nitrogen Total Metode Kjeldahl Laporan Praktikum Dasar Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Dan Bisnis Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga.*, Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga, 2017.
- [43] R. Dermawan, A.D. Susila, P. Purwono, B. Nugroho and M. Faried, "Comparison of five phosphorus (P) and potassium (K) extraction methods in

- tomato cultivation (*Solanum lycopersicum*) in Andisols and Inceptisols," *Malaysian Journal of Soil Science*, vol. 28, pp. 321-331, 2024.
- [44] L. Lisa, M. Basir and U. Hasanah, "Status Hara Nitrogen, Fosfor, Kalium dan Tingkat Kesuburan Tanah pada Tiga Penggunaan Lahan Berbeda di Kecamatan Dolo Kabupaten Sigi," *Mitra Sains*, vol. 10, no. 1, pp. 23-32, 2022.
- [45] T.J. Mattila, A. I. Girz and M. Pihlatie, "Do carbon farming practices build bioavailable nitrogen pools?," *Soil Use and Management*, vol. 39, pp. 1532-1544, 2023.
- [46] Z. Mukhtamar, L. Lifia and T. Adiprasetyo, "Phosphorus availability as affected by the application of organic amendments in Ultisols," *Sains Tanah*, vol. 17, no. 1, 2020.
- [47] G.R. Charankumar, B. Jayasree, P. Kalitha and V. Munaswamy, "Dynamics of Soil Potassium under Different Cropping Systems," *Innovations in Life Science Research*, vol. 1, no. 2, pp. 9-19, 2021.
- [48] Y. Wang, Y.-F. Chen and W.-H. Wu, "Potassium and phosphorus transport and signaling in plants," *J. Integr. Plant Biol.*, vol. 63, p. 34-52, 2021.
- [49] S.M. Yahaya, A.A. Mahmud, M. Abdullahi and A. Haruna, "Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review," *Pedosphere*, vol. 33, no. 3, pp. 385-406, 2023.
- [50] M.K. Alwi, F. Razie and A. Kurnain, "Hubungan Ketersediaan Fosfor dan Kelarutan Fe pada Tanah Sawah Sulfat Masam," *Acta Solum*, vol. 1, no. 2, pp. 61-67, 2023.
- [51] T. Elsken, J.H. Metzen and F. Hutter, "Neural Architecture Search: A Survey," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 20, no. 55, pp. 1-21, 2019.
- [52] M.Ö. Efe, B. Kürkcü, C.K. glu, Z. Mohamed and Z. Liu, "A Modified Levenberg Marquardt Algorithm for Simultaneous Learning of Multiple

- Datasets," *IEEE Transactions On Circuits And Systems*, vol. 71, no. 4, pp. 2379-2383, 2024.
- [53] MathWorks, "trainlm: Levenberg-Marquardt *backpropagation*," MATLAB Documentation, 2023. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html>. [Accessed April 2025].
- [54] Normah, B. Rifai, S. Vambudi and R. Maulana, "Analisa Sentimen Perkembangan Vtuber Dengan Metode Support Vector Machine Berbasis SMOTE," *Jurnal Teknik Komputer AMIK BSI*, vol. 8, no. 2, pp. 174-180, 2022.
- [55] S. Mostafa and H. Amano, "Effect of clustering data in improving machine learning model accuracy," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 97, no. 21, p. 2973–2981, 2019.
- [56] A.T. Nurani, A. Setiawan and B. Susanto, "Perbandingan Kinerja Regresi Decision Tree dan Regresi Linear Berganda untuk Prediksi BMI pada Dataset Asthma," *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, vol. 6, no. 1, pp. 34-43, 2023.
- [57] K. Benidis, S.S. Rangapuram, V. Flunkert, Y. Wang, D. Maddix, C. Turkmen, J. Gasthaus, M. Bohlke-Schneider, D. Salinas, L. Stella, F.-X. Aubet, L. Callot and T. Januschowski, "Deep Learning for Time Series Forecasting: Tutorial and Literature Survey," *ACM Computing Surveys*, vol. 55, no. 6, pp. 1-36, 2022.
- [58] O. Folorunso, O. Ojo, M. Busari, M. Adebayo, A. Joshua, D. Folorunso, C. Okechukwu Ugwunna, O. Olabanjo and O. Olabanjo, "Exploring Machine Learning Models for Soil Nutrient Properties Prediction: A Systematic Review," *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 7, no. 2, p. 113, 2023.
- [59] C. Kammerlander, V. Kolb, M. Luegmair, L. Scheermann, M. Schmailzl, M. Seufert, J. Zhang, D. Dalic and T. Schön, "Machine Learning Models for Soil Parameter Prediction Based on Satellite, Weather, Clay and Yield Data,"

Agrolens Project, Technische Hochschule Ingolstadt, Vols. 23-24, pp. 1-21, 2025.

- [60] M. Kumar, D. Jain, Z. Saifi and S. D. Krishnananda, "Predicting Soil Macronutrient Levels: A Machine Learning Approach Models Trained on pH, Conductivity, and Average Power of Acid-Base Solutions," *Arxiv*, p. 04138, 2025.