

**IDENTIFIKASI KADAR NITROGEN PADA LAHAN MARGINAL
MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN
(*BACKPROPAGATION*)**

Tesis

Oleh

RITA ANGGRAINI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**IDENTIFIKASI KADAR NITROGEN PADA LAHAN MARGINAL
MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN
(*BACKPROPAGATION*)**

**Oleh
Rita Anggraini**

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

IDENTIFIKASI KADAR NITROGEN PADA LAHAN MARGINAL MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN (*BACKPROPAGATION*)

Oleh
RITA ANGGRAINI

Produktivitas pertanian di Indonesia sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara tanah, khususnya nitrogen (N) yang berperan penting dalam pertumbuhan vegetatif tanaman. Namun, proses pengukuran kadar nitrogen total (N-total) tanah umumnya masih dilakukan di laboratorium, sehingga membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga yang besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang mampu memprediksi kadar N-total tanah marginal berdasarkan parameter karakteristik tanah yaitu pH, kadar air, dan resistansi. Penelitian dilakukan menggunakan 96 data sampel tanah yang berasal dari lima jenis lahan berbeda: tanah pasca perkebunan sawit, tanah pesisir pantai, tanah ultisol, tanah podsolik merah kuning, dan tanah tailing pasca tambang timah. Model JST dikembangkan menggunakan algoritma *backpropagation* dengan fungsi pelatihan trainbr (*Bayesian Regularization*) dan variasi arsitektur dua lapisan tersembunyi (*hidden layer*) berjumlah neuron 5–5, 8–8, dan 12–12. Kombinasi fungsi aktivasi yang diuji meliputi logsig–logsig, logsig–tansig, tansig–logsig, dan tansig–tansig.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik diperoleh pada kombinasi fungsi aktivasi tansig–tansig dengan jumlah neuron 8–8 menghasilkan performa paling optimal. Model ini kemudian diimplementasikan dalam Graphical User Interface (GUI) menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil validasi sistem menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,9324 dan RMSE sebesar 0,0476, yang menandakan bahwa sekitar 93,24% variasi kadar nitrogen aktual dapat dijelaskan oleh model JST ini.

Kata kunci: *Backpropagation*, GUI, Jaringan Saraf Tiruan, MATLAB, Nitrogen, Tanah Marginal.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SOIL NITROGEN CONTENT IN MARGINAL LAND USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (BACKPROPAGATION)

By

RITA ANGGRAINI

Agricultural productivity in Indonesia highly depends on the availability of soil nutrients, particularly nitrogen (N), which plays a crucial role in vegetative plant growth. However, the measurement of total soil nitrogen (N-total) is generally conducted through laboratory analysis, requiring considerable time, cost, and labor. Therefore, this study aims to develop an Artificial Neural Network (ANN) model capable of predicting N-total content in marginal soils based on soil characteristics parameters, namely pH, moisture content, and resistivity. Total of 96 soil samples were collected from five different land types: post-oil palm plantation soil, coastal soil, ultisol, red-yellow podzolic soil, and post-tin mining tailing soil. The ANN model was developed using the Backpropagation algorithm with the trainbr (Bayesian Regularization) training function and various architectures consisting of two hidden layers with 5–5, 8–8, and 12–12 neurons. The activation function combinations tested included logsig–logsig, logsig–tansig, tansig–logsig, and tansig–tansig.

The experimental results showed that the best configuration was obtained using the tansig–tansig activation function with 8–8 neurons, providing the most optimal performance. The model was then implemented in a Graphical User Interface (GUI) using MATLAB software. System validation results showed an R^2 value of 0.9324 and an RMSE of 0.0476, indicating that approximately 93.24% of the actual nitrogen content variation could be explained by the ANN model.

Key words: Artificial Neural Network, Backpropagation, GUI Nitrogen, MATLAB, Marginal Soil.

Judul Tesis

: IDENTIFIKASI KADAR NITROGEN PADA
LAHAN MARGINAL MENGGUNAKAN
METODE JARINGAN SARAF TIRUAN
(BACKPROPAGATION)

Nama Mahasiswa

: Rita Anggraini

Nomor Pokok Mahasiswa : 2325031012

Program Studi

: Magister Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

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

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji 1

Ketua Komisi Penguji

(Pembimbing I) : Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.



Sekretaris Komisi Penguji

(Pembimbing II) : Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

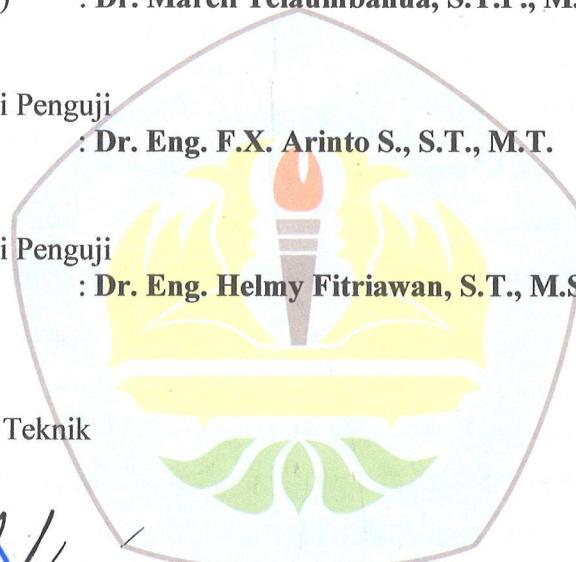


Anggota Komisi Penguji

(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



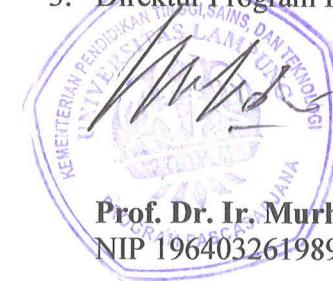
2. Dekan Fakultas Teknik



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 : 05 November 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rita Anggraini
NIM : 2325031012
Tahun terdaftar : 2023
Program studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis saya dengan judul “Identifikasi Kadar Nitrogen Pada Lahan Marginal Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (*Backpropagation*)” Yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dalam 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. 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 November 2025



Rita Anggraini
NPM. 2325031012

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, 13 Agustus 1997. Penulis merupakan anak ke-lima dari emam bersaudara dari pasangan Bapak Rusli dan Ibu Rumaniah. Mengenai riwayat pendidikan penulis, penulis lulus dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 05 Mulang-Maya tahun 2009, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 03 Kotabumi tahun 2012 , lulus Sekolah Menegah Atas (SMA) di SMAN 04 Kotabumi pada tahun 2015 dan diterima di Universitas Lampung di Jurusan Teknik Pertanian dan meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) pada tahun 2019. Pada tahun 2021 sampai 2023 Penulis bekerja di Bank Pembangunan Daerah (BPD) Lampung. Pada tahun 2023 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Lampung, penulis melakukan penelitian pada bidang Otomasi Industri dengan judul tesis “Identifikasi Kadar Nitrogen Pada Lahan Marginal Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (*Backpropagation*)” dibawah bimbingan Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T. dan Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

Bandar Lampung, November 2025

Penulis



PERSEMBAHAN

Atas rahmat Allah SWT, saya persembahkan karya tulis sederhana ini untuk kedua orangtua saya , ayahanda Rusli dan ibunda Rumaniah. Yang telah memberikan kasih sayang, cinta, dukungan, pengorbanan serta doa yang terbatas untuk saya selama proses pendidikan magister ini. Semoga Mamak dan Abi Allah berikan Umur yang panjang dan selalu dalam lindungan Allah SWT.
Kepada saudara saudari saya ; Syamsul Rizal , Zelvi Riani, Mirna Wati, Melda Rianti, Rohayanti, Nur Sahara, Wira Hadi Kesuma, Mulyadi, jemi Agus. Atas cinta, kasih dan dukungan materil dan imateril.
Keponakan-keponakanku Abrizam, Aqmar, Shanum, Annisa, Syahreza, Gibran, dan Zafran; Semoga tulisan ini dapat menjadikan motivasi untuk kalian belajar dan mengejar masa depan yang cerah.

Dosen Teknik Elektro,

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

Keluarga Besar Magister Teknik Elektro 2023,

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

Almamater,

Universitas Lampung



يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحَ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ انْشُرُوا فَانْشُرُوا
يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أَوْتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

“Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: "Berlapang-lapanglah dalam majlis", maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu", maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(QS. Al-Mujadalah : 11)

“Barangsiaapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga”

(HR Muslim)

“Be brave. Take risks. Nothing can substitute experience.”

— Paulo Coelho

SANWACANA

Assalamu'alaikum, Wr.Wb. Alhamdulillahirobbil'alamiiin. Puji syukur Penulis haturkan atas kehadirat 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 "Identifikasi Kadar Nitrogen Pada Lahan Marginal Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (*Backpropagation*)" 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 terselsaikan 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 Pengaji 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 Prof. Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, 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 masukkan dan arahan untuk penyelesaian tesis ini.
7. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku dosen Pengaji 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 Rusli dan Ibu Rumaniah yang telah membesar dan memberi kasih sayang. Terima kasih atas kerja keras dan selalu mendukung penulis. Sehingga penulis dapat mencapai titik yang tidak bias penulis bayangkan tanpa bantuan dan doa kedua orangtua.
10. Teman-teman Magister Teknik Elektro 2023, yang saling memberikan support selama perkuliahan.
11. Terima kasih kepada Anggelia Fitri dan Calla.id, karena kerja keras dan pengertiannya studi ini dapat diselesaikan hingga lulus.
12. Terima kasih juga penulis ucapan kepada Abrizam, Aqmar, Shanum, Annisa, Syahreza, Gibran, dan Zafran. yang selalu membagi kebahagiannnya 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, 17 Noveber 2025
Penulis,

Rita Anggraini

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
1.4. Rumusan Masalah	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Lahan Marginal	6
2.1.1. Karakteristik Lahan Marginal	6
2.1.2. Jenis-Jenis Lahan Marginal	8
2.2. Nitrogen Tanah	14
2.2.1. Bentuk-Bentuk Nitrogen di Dalam Tanah	15
2.2.2. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kadar Nitrogen Tanah	17
2.3. Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network)	21
2.3.1. JST Perambatan Balik (<i>backpropagation</i>).....	21
2.3.2. Graphical User Interface (GUI)	26

2.4. Tinjauan Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III. METODE PENELITIAN	31
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2. Alat dan Bahan	31
3.2.1. Alat Penelitian	31
3.2.2. Bahan Penelitian.....	32
3.3. Prosedur Penelitian	32
3.4. Data Sampel Tanah.....	33
3.5. Sistem Identifikasi Nitrogen.....	37
3.6. Akurasi dan Validasi Model JST.....	41
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Nilai Nitrogen Sampel Tanah.....	45
4.2. Hubungan antara Nitrogen terhadap pH, Kadar Air dan Resistansi.....	49
4.2.2. Hubungan antara Kadar Air Tanah dan Nitrogen	50
4.2.3. Hubungan Antara pH Tanah dan Nitrogen	52
4.2.4. Hubungan antara Resistansi Tanah dan Nitrogen	55
4.3. Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan.....	57
4.4. Perancangan dan Implementasi Sistem	63
4.5. Akurasi pelatihan dan pengujian sistem	67
4.6. Validasi Data Prediksi Model GUI.....	73
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel

2. 1. Beberapa Indikator Kesesuaian Lahan untuk Pertanian.....	7
2. 2. Ringkasan Penelitian terkait Penggunaan JST dan Nitrogen Tanah.....	29
3. 1. Sampel Tanah Perlakuan.....	34
4. 1. Data Sampel tanah sebagai Pelatihan dalam model jaringan saraf tiruan.....	47
4. 2. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pelatihan trainbr dan fungsi aktivasi Logsig- Logsig.....	68
4. 3. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pengujian trainbr dan fungsi aktivasi Logsig- Logsig.....	68
4. 4. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pelatihan <i>trainbr</i> dan fungsi aktivasi <i>Logsig-Tansig</i>	69
4. 5. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pengujian trainbr dan fungsi aktivasi Logsig-Tansig	69
4. 6. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pelatihan trainbr dan fungsi aktivasi Tansig- Logsig	70
4. 7. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pengujian trainbr dan fungsi aktivasi Tansig- Logsig	70
4. 8. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pelatihan trainbr dan fungsi aktivasi Tansig-Tansig	71
4. 9. Hasil akurasi sistem dengan fungsi pengujian trainbr dan fungsi aktivasi Tansig- Tansig	72
4. 10. Nilai pengujian model dengan nilai aktual kadar nitrogen	73
4. 11. Nilai confusion matrix untuk 4 kelas	76
4. 12. Validasi nilai nitrogen berdasarkan kelas	78

6. 1. Data Tanah Pasca Perkebunan Sawit (T1)	87
6. 2. Data Tanah ultisol (T2)	87
6. 3. Data Tanah Pesisir Pantai (T3)	88
6. 4. Data Tanah Tailing Timah (T4)	89
6. 5. Data Tanah Podsolik Merah Kuning (T5).....	90
6. 6. Tabel keseluruhan data tanah yang diurutkan dari terkecil ke terbesar	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan.....	22
3. 1. Diagram alir penelitian.....	33
3. 2. Diagram alir pelatihan jaringan.....	39
3. 3. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation.....	40
4. 1. Grafik hubungan kadar air tanah terhadap N	50
4. 2. Grafik sebaran kadar air pada tiap sampel tanah	51
4. 3. Grafik hubungan pH tanah terhadap N	53
4. 4. Grafik sebaran pH pada tiap sampel tanah.....	54
4. 5. Grafik hubungan Resistansi tanah terhadap N	56
4. 6. Grafik sebaran resistansi pada tiap sampel tanah.....	56
4. 7.Tampilan proses pelatihan jaringan. (a) hidden layers 5-5	60
4. 8. Grafik Perbandingan Nilai Observasi dan Prediksi pada Data Latih Fold ke-5	60
4. 9. Grafik Perbandingan Nilai Observasi dan Prediksi pada Data Uji	61
4. 10. Grafik Perbandingan Nilai Observasi dan Prediksi pada Data Uji (Hold-Out Test)	62
4. 11. logo aplikasi GUI.....	63
4. 12. Tampilan Antar Muka Halaman Depan	64
4. 13. Tampilan Antar muka halaman Identifikasi awal	64

4. 14. Tampilan antar muka halaman identifikasi sesudah muncul nilai N	66
4. 15. Grafik Nilai Aktual dan Nilai Prediksi Nitrogen Tanah Pada Aplikasi GUI	76
4. 16. Grafik confusion matrix untuk 4 kelas.....	77
6. 1. Lokaasi pengambilan sampel tanah di Lampung Selatan	94
6. 2. Lokasi pengambilan sampel tanah di Bandar Lampung	94
6. 3. Lokasi Pengambilan Sampel tanah di Bangka Belitung	95
6. 4. Proses pengayakan sampel tanah podsolik merah kuning	95
6. 5. Penimbangan pupuk dan pelarutan	96
6. 6. Penimbangan sampel tanah	96
6. 7. Sampel tanah setelah di campur pupuk dan air.....	97
6. 8. Pengeringan tanah untuk pengukuran pH	97
6. 9. Pengukuran nilai resistansi tanah	98

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk besar , lebih dari 270 juta penduduk dan laju pertumbuhan hingga 0,7% (BPS,2021). Besarnya jumlah penduduk menyebabkan tingginya kebutuhan makanan pokok di Indonesia. Angka konsumsi makanan pokok khususnya beras di Indonesia mencapai 1.554 kg/kapita/minggu. Sebagai Upaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut pemerintah melakukan berbagai upaya meningkatkan produktivitas pertanian dan membuka lahan lahan baru seperti pembukaan hutan menjadi lahan pertanian ataupun memanfaatkan lahan tandus untuk menjadi lahan pertanian produktif (Kaparang dan Eko,2013).

Pada umumnya pembukaan lahan baru untuk produktivitas pertanian baik itu dari pembukaan hutan hingga penggunaan lahan tandus dan terbengkalai memiliki kondisi tanah yang miskin hara atau disebut tanah marginal. menurut Prof. Dr. Mahfud Arifin, Ir., M.S. pada pidatonya di Universitas Padjajaran (2022) terdapat 126 juta hektar tanah di Indonesia yang masuk kedalam kategori lahan suboptimal atau marginal. Angka ini lebih besar dari luasan lahan potensial pertanian yang tersedia dan siap digunakan, yaitu sekira 34,58 juta hektar. Pemanfaatan lahan marginal menjadi lahan pertanian produktif membutuhkan beberapa proses observasi agar lahan menjadi layak tanam. Di Indonesia praktik pengolahan lahan marginal / reklamasi lahan yang tidak tepat dalam usaha bertanam dapat menyebabkan gagal panen (Indraningsih, 2016). Sebab utama kesalahan ini ialah ketidak-cukupan pengetahuan dan pengalaman, perencanaan dan pelaksanaan yang buruk, hingga ketidakcukupan penyelidikan tentang karakter tanah dan kandungan hara tersedia pada tanah tersebut.

Tanah pada dasarnya mengandung unsur hara makro dan mikro yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah relatif besar, seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S), yang berfungsi dalam pembentukan jaringan, metabolisme, serta pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Sebaliknya, unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), molibdenum (Mo), boron (B), dan klor (Cl), yang berperan dalam aktivasi enzim, reaksi biokimia, dan menjaga keseimbangan metabolisme tanaman.

Nitrogen sendiri merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Ketersediaan nitrogen yang cukup akan mendorong pertumbuhan vegetatif tanaman, meningkatkan luas daun, dan mempercepat pembelahan sel, sedangkan kekurangan nitrogen dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat, daun menguning, dan hasil panen menurun (Yuwono, 2009) . Nitrogen dalam tanah umumnya dibedakan menjadi nitrogen total (N total) dan nitrogen tersedia (N tersedia). N total (%) mencakup seluruh bentuk nitrogen yang terdapat di dalam tanah, baik dalam bentuk organik maupun anorganik, sehingga menggambarkan jumlah keseluruhan cadangan nitrogen. Sementara itu, N tersedia adalah bagian dari nitrogen yang dapat langsung diserap dan dimanfaatkan oleh tanaman, umumnya dalam bentuk ion nitrat (NO_3^-) dan ammonium (NH_4^+), sehingga lebih berperan langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Namun tidak semua lahan pertanian memiliki kadar nitrogen yang memadai, terutama pada lahan marginal sehingga penting dilakukan pengukuran kadar N total atau N tersedia pada tanah sebelum proses budidaya dilakukan.

Pengukuran kadar N total dan N tersedia umumnya dilakukan di laboratorium yang jauh dari kawasan budidaya pertanian sehingga menjadi tidak efektif karena membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga yang besar. Jika proses uji kadar hara pada tanah khususnya tanah marginal diabaikan hal ini dapat menyebabkan gagal panen dan kerugian besar. Produktivitas pertanian yang optimal sangat tergantung pada

kondisi tanah dan pemupukan yang tepat, maka dari itu petani atau pengelola lahan harus mengetahui kadar unsur hara pada tanah tersebut.

Parameter kondisi tanah lain seperti pH, kadar air dan beberapa hal lainnya dapat dilakukan dengan teknologi instrumentasi yang lebih *compact* dan *mobile*. Namun untuk saat ini belum tersedia teknologi yang dapat mengukur atau memprediksi kadar N total tanah dengan cepat, sederhana dan praktis untuk digunakan langsung di lapangan.

Pengukuran atau identifikasi nilai N total tanah dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi modern, teknologi yang mampu menganalisis hingga memprediksi sesuatu secara akurat dengan mengkolaborasikan beberapa parameter lain. Maka pengukuran atau identifikasi N total tanah perlu dikembangkan melalui pemanfaatan teknologi modern yang mampu menganalisis sekaligus memprediksi kandungan N tanah secara akurat dengan memanfaatkan kolaborasi berbagai parameter tanah. Salah satu teknologi yang memiliki potensi besar dalam hal ini adalah Jaringan Saraf Tiruan (JST). Pada penelitian ini, fokus utama prediksi yang dilakukan dengan JST adalah N total tanah, karena unsur ini memiliki peran krusial sebagai indikator utama ketersediaan nitrogen yang mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

Pada prinsipnya JST bekerja seperti otak manusia yang dapat memproses informasi yang di input kedalam sistem JST, lalu di proses dan menghasilkan output berupa nilai atau output yang kita inginkan. Penggunaan JST dalam pertanian, khususnya untuk identifikasi kadar nitrogen pada lahan marginal, memiliki potensi besar untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pada proses pemupukan. JST dapat menganalisis berbagai parameter tanah dan lingkungan, seperti kadar hara, pH tanah, kelembaban, dan lain lain untuk memprediksi kadar nitrogen secara lebih tepat. Implementasi sistem cerdas ini diharapkan dapat membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih baik terkait pemupukan, sehingga dapat meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan.

Analisis kualitas dan prediksi nilai dengan menggunakan JST sudah banyak

digunakan salah satunya pada penelitian penentuan kualitas kesegaran daging dengan metode jaringan saraf tiruan, dihasilkan sistem JST yang mampu mengukur kualitas dengan mengklasifikasikan Tingkat kesegaran daging sapi dengan akurasi yang tinggi (Firmansyah dkk, 2019). Pada penelitian lain oleh (Aziz dkk, 2006) meneliti tentang penerapan JST guna evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman pangan. Dalam penelitian-penelitian tersebut penggunaan metode JST cocok digunakan untuk prediksi ataupun identifikasi suatu nilai yang dibutuhkan. Namun penelitian metode JST pada kadar N tanah belum banyak dilakukan khususnya pada tanah marginal. Sehingga diperlukan adanya penelitian terkait identifikasi kebutuhan unsur hara tanah Khususnya Nitrogen total dengan metode jaringan saraf tiruan (JST).

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi dan mengklasifikasikan kadar nitrogen total pada tanah marginal berdasarkan data karakteristik tanah yang diterapkan pada desain *user interface* (GUI)
2. Mengetahui nilai akurasi pelatihan dan pengujian model Jaringan Saraf Tiruan dan mendapatkan pola terbaik dari fungsi pelatihan dan fungsi aktivasi model JST.
3. Mengetahui nilai R^2 , RMSE, *precision*, *recall*, dan *F1 score* dari hasil validasi sistem untuk menilai kemampuan model dalam memprediksi kadar nitrogen total tanah.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian Ini diharapkan memberikan informasi ilmiah bagi ilmu pengetahuan keteknikan maupun praktik pertanian dan model JST yang dihasilkan dapat digunakan oleh petani atau penyuluh pertanian atau pelaku pertanian lainnya untuk mengidentifikasi kadar Nitrogen pada tanah khususnya pada tanah marginal

sebelum dilakukan budidaya pertanian, guna mengoptimalkan produktivitas pertanian.

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengembangkan model JST yang efektif untuk mengidentifikasi nilai nitrogen pada lahan pertanian ?
2. Apa saja parameter tanah yang berpengaruh terhadap nilai nitrogen pada lahan marginal ?
3. Bagaimana membangun *User Interface* pada model JST ini agar dapat digunakan oleh kalangan umum.

1.5. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data dari Sampel tanah yang digunakan dalam pada penelitian ini menggunakan sampel tanah dari lima titik lokasi dan karakteristik tanah yang berbeda diantaranya : tanah pasca perkebunan sawit, Tanah daerah pesisir pantai, tanah tailing pasca tambang timah, tanah ultisol dan tanah podsolik merah kuning.
2. Penelitian ini hanya menggunakan parameter tanah secara umum berpengaruh signifikan terhadap kadar nitrogen yaitu : pH , kadar air, dan resistansi tanah.
3. Pelatihan model dilakukan menggunakan dataset yang diperoleh dari hasil pengukuran laboratorium, tanpa pengujian langsung di lapangan (*on-site testing*).
4. Nitrogen tanah yang diprediksi dalam penelitian ini berupa identifikasi nilai nitrogen total (%) tanah dan klasifikasi nitrogen total tanah.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lahan Marginal

2.1.1. Karakteristik Lahan Marginal

Lahan marginal merupakan lahan yang memiliki kandungan hara terbatas. Lahan marginal memiliki produktivitas rendah akibat keterbatasan sifat fisik, kimia, atau biologi tanah yang tidak optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan . Pada usaha tani lahan marginal, bila ditanami dengan tanaman semusim, produktivitas relatif rendah serta mengalami permasalahan sosial ekonomi seperti tekanan penduduk yang terus meningkat dan masalah biofisik. Lahan marginal dapat diartikan sebagai lahan yang memiliki mutu rendah karena memiliki beberapa faktor pembatas jika digunakan untuk suatu keperluan tertentu. Sebenarnya faktor pembatas tersebut dapat diatasi dengan masukan, atau biaya yang harus dibelanjakan. Tanpa masukan yang berarti budidaya pertanian di lahan marginal tidak akan memberikan keuntungan.

Di Indonesia lahan marginal dijumpai baik pada lahan basah maupun lahan kering. Lahan basah berupa lahan gambut, lahan sulfat masam dan rawa pasang surut seluas 24 juta ha, sementara lahan kering berupa tanah Ultisol 47,5 juta ha dan Oxisol 18 juta ha (Suprapto, 2003). Untuk mengetahui apakah suatu lahan termasuk marginal jika digunakan untuk budidaya pertanian dapat dilakukan evaluasi kesesuaian lahan (Tabel 2.1). Semakin banyak sifat tanah yang memiliki harkat tidak sesuai, menunjukkan lahan tersebut marginal (Yuwono, 2009). Teknologi dan masukan yang diterapkan pada suatu lahan dapat mengubah sifat tanah sehingga harkatnya menjadi lebih sesuai untuk pertanian.

Tabel 2. 1. Beberapa Indikator Kesesuaian Lahan untuk Pertanian

	Sangat Sesuai	Sesuai	Kurang Sesuai	Tidak Sesuai
Sifat Intrinsik				
Jeluk mempan perakaran (cm)	> 120	120-70	70-30	<30
Tekstur	Seimbang	Agak berat	Berat	Ringan
Bahan Kasar (%)	< 10	10-30	30-60	>60
Struktur	Halus sedang 3, 2	Kasar, 1	Butir Tunggal, 0	Pejal, 0
Lapisan padat (cm)	Nihil	Sedang >60	Sedang >20 atau kuat >60	Kuat <30
Lengas Tersedia (mm)	>100	100-60	60-20	<20
Permetabilitas (cm/jam)	>2	2-0,5	0,5-0,1	<0,1
Bahan Organik (%)	>5	5-2	2-1	<1
Kapasitas Pertukaran kation (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	>40	40-20	20-10	<10
Kejenuhan basa (%)	>75	75-50	50-25	<25
pH	7,3-6,7	6,7-5,5 7,3-8,0	5,5-4,5 8,0-9,0	<4,5 >9,0
Karbonat (%)	<7	7-15	15-25	>25
Kegaraman (sSm ⁻¹)	<2	2-6	6-12	>12

Kesuburan tanah dipengaruhi oleh sifat fisika (Mansyur dkk, 2023) : tekstur tanah, struktur tanah, kedalaman solum, kelerengan tanah, sifat kimia : pH tanah, kandungan unsur hara, kapasitas tukar kation (KTK), dan kejenuhan basa. Pada (Tabel 2.1) terdapat beberapa faktor yang mengkategorikan kesesuaian tanah menjadi lahan budidaya pertanian dan dalam penelitian ini berfokus pada sifat intrinsiknya khususnya bahan organik tanah berupa nilai N dan faktor lainnya seperti pH dan kelengasan tanah.

2.1.2. Jenis-Jenis Lahan Marginal

Indonesia memiliki berbagai tipe lahan marginal yang terbentuk akibat faktor geologi, iklim, maupun aktivitas manusia. Beberapa contoh marginal di Indonesia yang dijadikan sampel data pada penelitian ini meliputi:

1. Lahan Podsolik Merah Kuning (PMK) dan Ultisol

Tanah Podsolik Merah Kuning merupakan salah satu jenis tanah yang banyak dijumpai di wilayah tropika basah, termasuk Indonesia. Tanah ini terbentuk dari proses pelapukan intensif bahan induk yang kaya akan mineral primer seperti kuarsa, feldspar, dan mika di bawah kondisi iklim yang memiliki curah hujan tinggi dan suhu yang relatif panas sepanjang tahun. Proses pelapukan tersebut menyebabkan terjadinya pencucian (leaching) unsur hara basa seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), dan natrium (Na), serta akumulasi oksida besi (Fe) dan aluminium (Al), yang memberikan warna merah hingga kekuningan pada tanah ini (Hardjowigeno, 2010).

Secara umum, tanah Podsolik Merah Kuning memiliki reaksi tanah yang masam dengan nilai pH antara 4,0–5,5. Keasaman yang tinggi disebabkan oleh dominasi kation Al^{3+} dan H^+ yang terjerap pada kompleks jerapan tanah. Kondisi ini menyebabkan kapasitas tukar kation (KTK) rendah serta kejenuhan basa yang juga rendah, sehingga ketersediaan unsur hara makro seperti N, P, dan K relatif terbatas bagi tanaman (Subagyo dkk., 2004). Sifat fisik tanah PMK umumnya memiliki tekstur lempung hingga lempung liat, struktur remah sampai gumpal, dan permeabilitas sedang hingga lambat. Kandungan bahan organik biasanya rendah karena dekomposisi cepat pada kondisi iklim tropis. Namun, penambahan bahan organik, pupuk hijau, dan amelioran seperti kapur dapat memperbaiki struktur, meningkatkan pH, serta memperbaiki ketersediaan unsur hara dalam tanah.

Tanah podsolik merah kuning banyak dijumpai di daerah dataran rendah hingga perbukitan dengan ketinggian antara 0–700 meter di atas permukaan laut. Penyebarannya meliputi Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan sebagian Jawa. Meskipun tergolong tanah marjinal untuk pertanian intensif, tanah ini masih dapat

diolah secara produktif dengan pengelolaan kesuburan tanah yang tepat, seperti pengapuran, pemupukan berimbang, dan penggunaan varietas tanaman toleran terhadap kemasaman (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

Secara keseluruhan, karakter tanah Podsolik Merah Kuning yang masam, miskin bahan organik, dan rendah kejenuhan basa menyebabkan ketersediaan nitrogen menjadi rendah dan fluktuatif. Hal ini menjadikan nitrogen sebagai parameter penting yang perlu dikaji dan diprediksi dalam pengelolaan kesuburan tanah PMK. Oleh karena itu, pendekatan berbasis komputasi seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST) dapat dimanfaatkan untuk memodelkan hubungan antara variabel karakteristik tanah (pH, kadar air, resistansi) dengan kadar nitrogen yang dihasilkan, sehingga mampu memberikan estimasi cepat dan akurat.

2. Lahan Pesisir Pantai

Lahan pesisir pantai merupakan wilayah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang memiliki karakteristik unik akibat pengaruh proses pasang surut, intrusi air laut, dan aktivitas geomorfologi pantai. Secara umum, lahan ini terbentuk dari hasil sedimentasi material halus seperti pasir, debu, dan lumpur yang terbawa aliran sungai atau gelombang laut, sehingga menghasilkan jenis tanah dengan tingkat kesuburan yang sangat bervariasi tergantung pada asal-usul dan kandungan mineralnya (Arsyad, 2010).

Ciri khas lahan pesisir pantai adalah kandungan garam (NaCl) yang relatif tinggi, terutama pada daerah yang sering tergenang atau terpengaruh intrusi air laut. Kondisi salinitas ini dapat menyebabkan stres osmotik pada tanaman, menurunkan ketersediaan air bagi akar, dan menghambat penyerapan unsur hara. Selain itu, pH tanah pesisir dapat bervariasi dari netral hingga masam tergantung pada komposisi mineral dan kadar garam terlarut. Pada segi fisik, tanah di lahan pesisir memiliki tekstur pasir hingga lempung berpasir, dengan drainase yang cepat, kapasitas menahan air rendah, dan bahan organik sedikit. Namun, di beberapa daerah yang menerima masukan sedimen organik tinggi (misalnya di sekitar muara sungai dan

hutan mangrove), kandungan bahan organik bisa tinggi dan berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah.

Ketersediaan nitrogen (N) di lahan pesisir pantai sangat dipengaruhi oleh salinitas tanah, kadar air, pH, dan kandungan bahan organik. Kondisi salin (kadar garam tinggi) dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada mikroorganisme tanah, sehingga aktivitas dekomposisi bahan organik dan proses mineralisasi nitrogen menjadi lambat. Akibatnya, bentuk N tersedia seperti amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) menjadi terbatas (Rengasamy, 2010). Selain itu, salinitas tinggi meningkatkan tekanan osmotik, sehingga tanaman sulit menyerap air dan hara, termasuk nitrogen. Pada tanah yang tergenang atau jenuh air (umum di daerah pasang surut), kondisi anaerob dapat mempercepat denitrifikasi, yaitu proses kehilangan nitrogen ke atmosfer dalam bentuk gas (N_2 dan N_2O). Hal ini menyebabkan ketersediaan nitrogen semakin menurun, terutama pada musim hujan atau saat genangan tinggi. dengan demikian, karakter lahan pesisir pantai yang rentan terhadap salinitas, perubahan kadar air, dan kemasaman menyebabkan fluktuasi kadar nitrogen cukup tinggi. Hal ini menjadikan nitrogen sebagai indikator penting dalam pengelolaan lahan pesisir dan sekaligus variabel target yang relevan untuk dikaji melalui pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST). JST dapat digunakan untuk memprediksi kadar nitrogen berdasarkan parameter-parameter tanah seperti pH, kadar air, dan resistansi,

3. Tanah Pasca Perkebunan Sawit

Lahan pasca perkebunan sawit merupakan areal bekas budidaya kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) yang sudah tidak produktif atau telah melalui tahap replanting. Tanah pada lahan jenis ini umumnya telah mengalami perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi akibat aktivitas budidaya jangka panjang, penggunaan pupuk kimia intensif, serta pengelolaan lahan yang berulang (Heryani & Sutrisno, 2018). Secara umum, tanah pada lahan pasca perkebunan sawit di Indonesia banyak berkembang dari jenis tanah Ultisol, Podsolik, atau Latosol, tergantung lokasi geografisnya. Setelah periode budidaya panjang (20–30 tahun), karakter tanah biasanya mengalami penurunan kesuburan alami, ditandai oleh:

1. pH tanah yang rendah (4,0–5,5) akibat akumulasi asam organik dan residu pupuk nitrogen sintetis;
2. kejemuhan basa rendah, karena pencucian unsur hara basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+);
3. KTK sedang hingga rendah, bergantung pada kandungan liat dan bahan organik;
4. penurunan bahan organik, terutama jika sisa tandan kosong sawit tidak dikembalikan ke lahan (Prasetyo dkk., 2016).

Dari sisi fisik, tanah bekas sawit umumnya mengalami pemedatan lapisan bawah akibat pergerakan alat berat dan lalu lintas panen, yang menurunkan porositas dan infiltrasi air. Pemedatan ini dapat menurunkan aerasi, memperlambat pergerakan akar, serta memengaruhi dinamika air dan unsur hara di zona perakaran.

Dari aspek biologi, lahan pasca sawit sering mengalami penurunan populasi mikroorganisme tanah karena berkurangnya suplai bahan organik segar. Namun, pada beberapa kasus, sisa perakaran dan serasah daun sawit dapat menjadi sumber bahan organik potensial jika dikelola dengan baik (Rahmawati dkk, 2021).

Penurunan bahan organik akibat tidak adanya penambahan residu tanaman juga menyebabkan sumber nitrogen alami tanah menurun. Padahal, bahan organik berperan sebagai reservoir nitrogen yang dilepaskan secara perlahan melalui dekomposisi. Bila bahan organik rendah, maka tanah kehilangan kemampuan menahan nitrogen, sehingga ketersediaan N sangat fluktuatif (Rahmawati dkk., 2021). Kondisi fisik tanah yang padat dan aerasi rendah turut memengaruhi siklus nitrogen. Aerasi yang buruk menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi, sementara pada bagian tanah yang tergenang air, proses denitrifikasi dapat meningkat, menyebabkan kehilangan nitrogen dalam bentuk gas (N_2 dan N_2O).

Dengan demikian, kadar nitrogen pada lahan pasca perkebunan sawit sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

1. pH tanah (reaksi kimia) — menentukan aktivitas mikroba dan bentuk N tersedia;
2. kadar air tanah (kondisi fisik) — memengaruhi proses nitrifikasi–denitrifikasi;

3. resistansi tanah (indikator konduktivitas listrik dan kelembapan) — merepresentasikan status ion dan tingkat kejemuhan air tanah.

Karena hubungan antar faktor tersebut bersifat nonlinier dan kompleks, pendekatan berbasis data seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST) dapat digunakan untuk memprediksi kadar nitrogen dengan akurasi tinggi berdasarkan kombinasi variabel karakteristik tanah (pH, kadar air, dan resistansi).

4. Tanah Paska tambang

Tanah paska tambang timah, atau yang biasa disebut tanah tailing timah, merupakan sisa hasil proses pencucian bijih timah (kasiterit, SnO_2) yang dilakukan secara mekanis maupun hidrolik. Lahan tailing ini banyak dijumpai di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, terutama di wilayah Bangka Tengah, Bangka Selatan, dan Bangka Barat, yang merupakan daerah utama aktivitas penambangan timah. Secara umum, tanah tailing timah memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sangat miskin unsur hara karena sebagian besar lapisan atas tanah (topsoil) telah hilang selama proses penambangan. Material sisa yang tersisa umumnya terdiri dari pasir kuarsa kasar (SiO_2), kaolin, serta fraksi mineral berat lain seperti ilmenit, zirkon, dan rutil (Arifin dkk., 2014). Upaya pemanfaatan lahan paska tambang menjadi lahan pertanian produktif terus dilakukan melalui berbagai penelitian. Hal ini dimaksudkan agar luas lahan paska tambang ini menjadi lebih bermanfaat bagi Masyarakat.

Ciri khas tanah tailing timah meliputi:

1. Tekstur sangat kasar (pasir–pasir kasar), sehingga memiliki kapasitas menahan air dan hara yang sangat rendah;
2. Struktur tanah lepas (loose) dengan porositas tinggi dan infiltrasi cepat;
3. Kandungan bahan organik sangat rendah (<1%) karena hilangnya vegetasi alami;
4. Reaksi tanah masam (pH 4,0–5,5) akibat oksidasi mineral sulfida (seperti pirit, FeS_2) selama proses terbuka terhadap udara;
5. Kandungan unsur hara makro dan mikro sangat rendah, terutama nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Secara ekologis, lahan paska tambang timah tergolong lahan kritis, karena selain miskin hara dan organik, strukturnya mudah tererosi serta tidak mampu menopang siklus biogeokimia alami. Oleh karena itu, rehabilitasi tanah tailing umumnya dilakukan dengan penambahan topsoil, pupuk organik, biochar, serta penanaman vegetasi penutup tanah (leguminosa) untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Utami dkk., 2018).

Ketersediaan nitrogen (N) di tanah tailing timah sangat rendah dan menjadi faktor pembatas utama bagi pertumbuhan tanaman. Kondisi ini disebabkan oleh beberapa hal:

1. Kandungan bahan organik sangat rendah hampir tidak ada sumber nitrogen alami dari dekomposisi bahan organik. Tanpa asupan bahan organik, proses mineralisasi N oleh mikroorganisme tidak dapat berlangsung optimal (Utami dkk., 2018).
2. pH tanah yang masam aktivitas mikroba tanah, terutama bakteri nitrifikasi seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, sangat rendah pada kondisi asam (pH < 5), sehingga proses perubahan ammonium (NH_4^+) menjadi nitrat (NO_3^-) terhambat.
3. Struktur tanah berpasir dan porositas tinggi menyebabkan hilangnya nitrogen melalui pencucian (leaching). Bentuk nitrat (NO_3^-) yang mudah larut akan cepat terbawa air hujan ke lapisan bawah, sehingga kadar N tersedia di lapisan atas tanah sangat rendah.
4. Suhu permukaan tanah tinggi dan kelembapan rendah akibat minimnya vegetasi, sehingga aktivitas biologi tanah menurun dan siklus nitrogen tidak seimbang.

Akibat kombinasi faktor tersebut, kadar nitrogen total maupun N tersedia (NH_4^+ dan NO_3^-) pada tanah tailing timah umumnya sangat rendah (<0,05%), sehingga sulit mendukung pertumbuhan tanaman tanpa intervensi.

Upaya peningkatan ketersediaan nitrogen pada tanah tailing timah dapat dilakukan melalui:

1. Penambahan bahan organik (kompos, pupuk kandang, biochar) untuk meningkatkan C-organik dan sumber N;
2. Penanaman leguminosa (misalnya *Centrosema*, *Calopogonium*, atau *Mucuna*) untuk memperbaiki siklus nitrogen melalui fiksasi biologis N₂;
3. Revegetasi berlapis dengan kombinasi tanaman pionir dan tanaman penutup tanah yang toleran terhadap kondisi miskin hara.

Dalam konteks penelitian berbasis model prediksi, karakteristik tanah tailing timah seperti pH, kadar air, dan resistansi dapat dijadikan variabel input untuk memprediksi kadar nitrogen tanah. Ketiga parameter ini merepresentasikan sifat kimia (pH), fisik (kelembapan), dan konduktivitas listrik (resistansi) tanah, yang berhubungan langsung dengan ketersediaan nitrogen. Melalui pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST), hubungan kompleks antar-parameter tersebut dapat dipelajari secara matematis untuk menghasilkan prediksi kadar N yang cepat, efisien, dan akurat pada lahan paska tambang timah.

2.2. Nitrogen Tanah

Nitrogen pada tanah merupakan unsur hara makro esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Nitrogen dalam tanah diserap tanaman untuk seluruh proses dan paling besar pada fase vegetatif, sehingga Nitrogen tanah dalam tanaman sangat dibutuhkan untuk menentukan perkembangan lanjutan pada tanaman khususnya tanaman pangan. Terdapat beberapa fungsi dari unsur nitrogen bagi tanaman yaitu; untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, menyehatkan pertumbuhan daun, daun tanaman lebar dengan warna yang lebih hijau (pada daun muda berwarna kuning dan dapat meningkatkan kadar protein dalam tubuh tanaman (Oriska, 2012).

Tanah yang memiliki kadar nitrogen rendah dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman kerdil, rusaknya jaringan daun tanaman jaringan daun mati, yang ditandai dengan perubahan warna daun menjadi kuning lengkap, kemudian kering dan berwarna merah kecoklatan hingga menyebabkan gagal panen. Tanaman yang kekurangan nitrogen akan sulit untuk tumbuh baik pada perakaran, pertumbuhan batang, hingga pertumbuhan daun. Bentuk dan pertumbuhan daun yang tidak

sempurna menyebabkan proses fotosintesis yang tidak maksimal pula. Sehingga nitrogen menjadi faktor yang berpengaruh besar dalam proses pertumbuhan tanaman hingga panen. Kadar nitrogen dalam tanah sangat dipengaruhi oleh kadar pH tanah tersebut dikarenakan pH tanah memengaruhi aktivitas mikroorganisme dan proses nitrifikasi (Siswanto, 2018).

pH merupakan salah satu parameter penting suatu tanaman dapat tumbuh atau tidak. Semakin rendah pH tanah maka semakin sulit tanaman untuk tumbuh karena tanah bersifat masam dan mengandung toksik (racun). Sebaliknya, jika pH tanah tinggi maka tanah bersifat basa dan mengandung kapur (Rusdiana, 2012). Reaksi tanah (pH) merupakan sifat kimia yang penting dari tanah sebagai media pertumbuhan tanaman. Ketersediaan beberapa unsur hara esensial untuk pertumbuhan. Tanaman dipengaruhi oleh pH tanah. Reaksi tanah dirumuskan dengan $pH = - \log [H^+]$. Kemasaman tanah dibedakan atas kemasaman aktif dan kemasaman cadangan (potensial). Kemasaman aktif disebabkan oleh adanya ion-ion H^+ bebas di dalam larutan tanah, sedang kemasaman cadangan disebabkan oleh adanya ion-ion H^+ dan Al^{3+} yang teradsorpsi pada permukaan kompleks adsorpsi (Sugeng, 2013).

pH tanah sangat berpengaruh semasa pertumbuhan vegetasi tanaman. Pengukuran dan pendekripsi pH sangat penting karena dapat membantu kita untuk mengelola tanah dengan baik sehingga tanaman bisa tumbuh dengan subur dan sempurna. Jika tanah terlalu masam maka akan menyebabkan kerusakan pada akar sehingga menurunkan kualitas dan hasil panen. Sedangkan jika pH tanah terlalu basa akan menyebabkan tingginya kandungan alkali pada tanah sehingga menghambat laju pertumbuhan tanaman. Hal ini juga ditunjukkan dengan terdapatnya vegetasi alang-alang dan kombi-komba di sekitar tempat pengambilan keempat sampel tanah.

2.2.1. Bentuk-Bentuk Nitrogen di Dalam Tanah

Nitrogen tidak hanya terdapat dalam satu bentuk, tetapi mengalami siklus yang kompleks antara bentuk organik dan anorganik melalui proses biokimia seperti mineralisasi, nitrifikasi, fiksasi, dan denitrifikasi. Secara umum, bentuk nitrogen di

dalam tanah dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu nitrogen organik dan nitrogen anorganik.

1. Nitrogen Organik

Nitrogen organik merupakan bentuk N yang terikat dalam senyawa organik tanah, seperti bahan organik, humus, residu tanaman, dan biomassa mikroba. Umumnya, lebih dari 90% total nitrogen tanah berada dalam bentuk organik (Hakim dkk., 1986).

Bentuk utama nitrogen organik meliputi:

1. Protein dan asam amino, yang berasal dari sisa tanaman dan mikroorganisme yang terdekomposisi.
2. Asam nukleat (DNA dan RNA), yang menjadi sumber N bagi mikroorganisme tanah.
3. Humus nitrogen, yaitu bentuk nitrogen yang telah mengalami humifikasi dan sulit terurai.

Nitrogen organik tidak dapat langsung diserap oleh tanaman, melainkan harus diubah menjadi bentuk anorganik melalui proses mineralisasi oleh mikroorganisme tanah (Yuwono, 2009).

2. Nitrogen Anorganik

Nitrogen anorganik adalah bentuk nitrogen yang tersedia bagi tanaman dan mudah diserap melalui akar. Bentuk utama nitrogen anorganik meliputi:

- a. Ion Amonium (NH_4^+) Amonium terbentuk dari hasil amonifikasi, yaitu proses penguraian bahan organik oleh mikroba heterotrof menjadi NH_4^+ . Ion ini bersifat positif (kation) sehingga dapat diikat oleh koloid tanah liat dan humus, sehingga tidak mudah tercuci. NH_4^+ lebih stabil pada tanah bereaksi masam dan anaerob (Hardjowigeno, 2010).
- b. Ion Nitrat (NO_3^-) Nitrat merupakan hasil oksidasi ammonium oleh bakteri nitrifikasi (Nitrosomonas dan Nitrobacter). Bentuk ini bersifat negatif (anion) dan mudah tercuci, terutama pada tanah berpasir atau berdrainase cepat. Meskipun demikian, NO_3^- merupakan bentuk nitrogen yang paling mudah diserap oleh tanaman (Siswanto, 2018).

- c. Nitrit (NO_2^-) Nitrit adalah bentuk antara dalam proses nitrifikasi, dari NH_4^+ menuju NO_3^- . Keberadaannya di tanah sangat sementara karena cepat dioksidasi menjadi nitrat. Pada konsentrasi tinggi, NO_2^- bersifat toksik bagi tanaman (Hakim dkk., 1986).
- d. Gas Nitrogen (N_2), Amonia (NH_3), dan Oksida Nitrogen (N_2O , NO)

Proses-proses ini sangat dipengaruhi oleh pH tanah, kadar air, suhu, ketersediaan oksigen, dan bahan organik (Setyaningrum dkk., 2024). Tanah yang terlalu masam atau terlalu basah akan memperlambat nitrifikasi, sedangkan tanah dengan aerasi baik dan pH netral mendukung ketersediaan nitrogen dalam bentuk nitrat yang optimal untuk pertumbuhan tanaman (Siswanto, 2018; Yuwono, 2009).

Pada konteks penelitian berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST), parameter seperti pH, kadar air, dan resistansi tanah dapat merepresentasikan kondisi yang memengaruhi dinamika bentuk-bentuk nitrogen tersebut.

1. pH berpengaruh terhadap keseimbangan $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ dan aktivitas mikroba nitrifikasi.
2. Kadar air memengaruhi oksigenasi dan laju nitrifikasi/denitrifikasi.
3. Resistansi tanah (konduktivitas listrik) merefleksikan kandungan ion, termasuk ion nitrogen anorganik.

Dengan demikian, analisis berbasis data terhadap variabel tersebut dapat membantu memprediksi kadar total nitrogen tanah (N-total) dengan tingkat akurasi tinggi.

2.2.2. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kadar Nitrogen Tanah

Dinamika nitrogen sangat dipengaruhi oleh faktor fisik, kimia, dan biologi tanah yang saling berinteraksi. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini penting untuk menjelaskan variasi kandungan nitrogen pada berbagai jenis tanah serta dalam pengembangan model prediksi seperti *Jaringan Saraf Tiruan (JST)*. Secara umum, faktor-faktor utama yang memengaruhi kadar nitrogen tanah meliputi pH tanah, kadar air, tekstur tanah, bahan organik, suhu, dan aktivitas mikroorganisme tanah.

1. pH Tanah

Reaksi tanah (pH) merupakan salah satu faktor kimia utama yang memengaruhi bentuk dan ketersediaan nitrogen. Pada kondisi tanah masam ($\text{pH} < 5,5$), aktivitas bakteri nitrifikasi menurun, sehingga proses perubahan amonium (NH_4^+) menjadi nitrat (NO_3^-) terhambat (Hardjowigeno, 2010). Akibatnya, nitrogen lebih banyak berada dalam bentuk NH_4^+ yang relatif stabil namun kurang mudah diserap tanaman.

Sebaliknya, pada pH netral hingga agak basa (6,5–7,5), aktivitas mikroba nitrifikasi meningkat sehingga kandungan NO_3^- dalam tanah bertambah (Yuwono, 2009). Namun, pada pH terlalu tinggi (>8), dapat terjadi kehilangan nitrogen melalui volatilisasi amonia (NH_3) ke udara.

2. Kadar Air Tanah

Kadar air tanah berpengaruh terhadap ketersediaan oksigen dan aktivitas mikroorganisme. Pada kondisi kelembapan optimal (field capacity), proses nitrifikasi berjalan baik karena ketersediaan oksigen cukup. Namun pada tanah yang jenuh air (anaerob), proses denitrifikasi meningkat sehingga nitrat (NO_3^-) direduksi menjadi gas N_2O dan N_2 yang lepas ke atmosfer (Hakim dkk., 1986). Dengan demikian, kadar air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah sama-sama dapat menurunkan kandungan N tersedia di dalam tanah (Siswanto, 2018).

3. Bahan Organik Tanah

Bahan organik merupakan sumber utama nitrogen dalam tanah. Sebagian besar nitrogen (lebih dari 90%) tersimpan dalam bentuk nitrogen organik pada bahan organik dan humus (Hakim dkk., 1986). Melalui proses mineralisasi, nitrogen organik diubah menjadi amonium (NH_4^+) oleh mikroorganisme tanah. Semakin tinggi kandungan bahan organik, semakin besar pula potensi nitrogen total tanah. Sebaliknya, tanah-tanah miskin bahan organik seperti Ultisol atau tanah paska tambang biasanya memiliki kadar nitrogen rendah akibat terbatasnya sumber bahan organik yang terdekomposisi (Prasetyo & Suriadikarta, 2006).

4. Tekstur dan Struktur Tanah

Tekstur dan struktur tanah menentukan kemampuan tanah menahan air dan udara yang diperlukan untuk aktivitas mikroorganisme pengubah nitrogen. Tanah bertekstur liat atau lempung liat cenderung memiliki kandungan nitrogen lebih tinggi karena mampu menahan bahan organik dan ion amonium (NH_4^+). Sebaliknya, tanah bertekstur pasir memiliki aerasi tinggi namun kemampuan menahan air dan unsur hara rendah, sehingga kehilangan nitrogen melalui pencucian (leaching) lebih besar (Hardjowigeno, 2010).

5. Suhu Tanah

Suhu berperan penting dalam laju aktivitas mikroba yang menguraikan bahan organik dan mengubah bentuk nitrogen. Suhu optimal untuk proses nitrifikasi dan mineralisasi berkisar antara 25–35°C (Yang dkk., 2018). Suhu yang terlalu rendah memperlambat metabolisme mikroorganisme, sedangkan suhu terlalu tinggi dapat menurunkan populasi mikroba serta meningkatkan kehilangan nitrogen melalui volatilisasi.

6. Aktivitas Mikroorganisme Tanah

Mikroorganisme tanah seperti *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Azotobacter*, dan *Rhizobium* berperan dalam proses biokimia nitrogen seperti fiksasi, amonifikasi, dan nitrifikasi. Aktivitas mereka dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, kelembapan, suhu, dan ketersediaan bahan organik (Yuwono, 2009). Tanah dengan populasi mikroba yang aktif umumnya memiliki kadar N tersedia yang lebih tinggi dibanding tanah yang miskin mikroorganisme, seperti pada tanah terdegradasi atau lahan paska tambang.

7. Penggunaan Lahan dan Pemupukan

Kegiatan manusia seperti pengolahan lahan, jenis tanaman yang ditanam, serta pola pemupukan juga berpengaruh besar terhadap kadar nitrogen. Pemberian pupuk nitrogen berlebih tanpa pengelolaan yang tepat dapat menyebabkan pencucian NO_3^- dan kehilangan melalui denitrifikasi, sedangkan sistem pertanian berkelanjutan dengan penambahan bahan organik dan rotasi tanaman leguminosa dapat meningkatkan simpanan nitrogen tanah (Setyaningrum dkk., 2024).

8. Resistansi (Konduktivitas) Tanah

Resistansi tanah berhubungan dengan kemampuan tanah menghantarkan arus listrik yang dipengaruhi oleh kandungan ion-ion dalam larutan tanah, termasuk ion nitrogen anorganik (NH_4^+ dan NO_3^-). Tanah dengan kadar nitrogen tinggi cenderung memiliki konduktivitas listrik lebih besar dan resistansi lebih rendah (Indarto, 2020). Oleh karena itu, resistansi dapat digunakan sebagai indikator tidak langsung dalam prediksi kadar nitrogen menggunakan pendekatan komputasi seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST).

Pada penelitian ini, digunakan tiga faktor utama sebagai nilai input dalam identifikasi kadar nitrogen total (N-total) tanah, yaitu pH tanah, kadar air tanah, dan resistansi tanah. Ketiga faktor tersebut dipilih karena nilainya dapat diperoleh secara langsung di lapangan tanpa memerlukan analisis laboratorium yang kompleks, sehingga lebih efisien untuk aplikasi prediksi berbasis *Jaringan Saraf Tiruan (JST)*.

Pemilihan variabel pH, kadar air, dan resistansi didasarkan pada pengaruh ketiganya terhadap dinamika nitrogen tanah. Nilai pH menentukan ketersediaan nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi; kadar air berperan dalam mengatur kondisi aerob maupun anaerob yang memengaruhi aktivitas mikroba; sedangkan resistansi tanah berhubungan dengan kandungan ion-ion tanah, termasuk ion nitrogen anorganik seperti NH_4^+ dan NO_3^- .

Sementara itu, variabel suhu tanah tidak digunakan dalam penelitian ini karena kondisi iklim di Indonesia pada umumnya tidak menunjukkan fluktuasi suhu tanah yang ekstrem. Suhu tanah relatif stabil pada kisaran 25–30°C, yang masih berada dalam rentang optimal aktivitas mikroba tanah (Yang dkk., 2018). Oleh karena itu, perubahan suhu tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap dinamika nitrogen dalam tanah tropis, sehingga dianggap dapat diabaikan dalam model prediksi ini.

2.3. Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Network)

Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network (ANN)* merupakan sistem komputasi yang dirancang untuk meniru cara kerja otak manusia dalam mengenali pola, memproses informasi, dan membuat keputusan. JST terdiri atas sekumpulan unit pemroses sederhana yang disebut *neuron buatan (artificial neurons)*, yang saling terhubung melalui bobot (*weights*) dan bekerja secara paralel untuk menyelesaikan permasalahan kompleks (Haykin, 2009).

Karena kemampuannya mempelajari pola nonlinier dan melakukan generalisasi terhadap data baru, JST banyak digunakan dalam bidang prediksi, klasifikasi, pengenalan pola, serta pengendalian sistem kompleks. Dalam penelitian ini, JST digunakan untuk memprediksi kadar nitrogen total (N-total) tanah marginal berdasarkan parameter pH, kadar air, dan resistansi tanah.

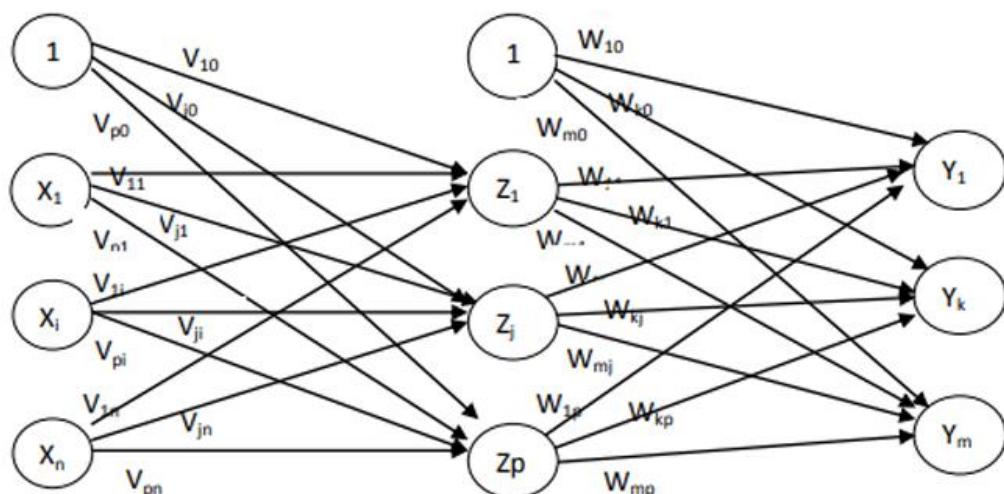
2.3.1. JST Perambatan Balik (*backpropagation*)

Backpropagation merupakan salah satu metode dalam JST yang memiliki kemampuan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan rumit. Hal ini terjadi karena algoritma ini dilatih dengan menggunakan metode yang dapat mengenali pola masukan suatu data dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pelatihan Backpropagation meliputi 3 fase yaitu fase maju, fase mundur, dan fase modifikasi bobot. Jaringan Saraf Tiruan merupakan sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik kinerja yang sama dengan jaringan Saraf biologis. Jaringan Saraf Tiruan telah dikembangkan sebagai generalisasi dari model matematik untuk kesadaran manusia atau Saraf biologi, dengan asumsi dasar bahwa (Yuniar, 2013):

- a. Informasi yang diproses muncul sebagai beberapa elemen sederhana yang disebut neuron.
- b. Sinyal dilewatkan diantara neuron menggunakan link koneksi.
- c. link koneksi memiliki bobot tertentu, yang mana pada jaringan Saraf secara umum, melipat gandakan sinyal yang ditransmisikan.

- d. Setiap neuron mengaplikasikan fungsi aktivasi menuju masukan jaringan (gabungan bobot dari sinyal masukan) untuk menentukan sinyal keluaran. Jaringan Saraf Tiruan ditandai dengan adanya:
1. Pola koneksi antara neuron disebut arsitektur.
 2. Metode untuk menghitung bobot pada koneksi disebut training atau learning.
 3. Fungsi aktivasi. Yang merupakan fungsi penghubung antara bobot nilai yang diperoleh dengan inputan.

Jaringan saraf tiruan perambatan balik merupakan perbaikan dari jaringan saraf tiruan lapisan tunggal yang memiliki keterbatasan dalam pengenalan pola, yaitu dengan cara menambahkan satu/beberapa lapisan tersembunyi antara lapisan masukan dan keluaran. Perambatan balik melatih jaringan untuk memperoleh keseimbangan antara kemampuan jaringan mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kempampuan jaringan memberikan tanggapan yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan (Siang, J.J, 2005). Gambar 2.1 adalah arsitektur jaringan saraf perambatan balik (backpropagation) dengan n buah masukan (ditambah sebuah panjar), sebuah latar tersembunyi terdiri dari p unit (ditambah sebuah panjar) dan m buah unit keluaran.



Gambar 2. 1. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Secara umum, arsitektur JST terdiri atas tiga jenis lapisan utama, yaitu:

1. Lapisan Masukan (Input Layer)

Lapisan ini berfungsi menerima data dari luar sistem. Dalam penelitian ini, variabel input terdiri atas pH tanah, kadar air (%), dan resistansi (Ω). Jumlah neuron pada lapisan ini sama dengan jumlah variabel input.

2. Lapisan Tersembunyi (Hidden Layer)

Lapisan tersembunyi berfungsi memproses dan mengekstraksi hubungan nonlinier antar variabel input. Jumlah lapisan tersembunyi dan neuron di dalamnya sangat memengaruhi kemampuan model dalam mempelajari pola data.

3. Lapisan Keluaran (Output Layer)

Lapisan keluaran menghasilkan nilai prediksi akhir, yaitu kadar nitrogen total (N-total) tanah. Jumlah neuron pada lapisan ini disesuaikan dengan jumlah variabel output, yaitu satu neuron.

Fungsi pelatihan pada Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan mekanisme yang digunakan untuk memperbarui bobot dan bias selama proses pembelajaran agar kesalahan antara output yang dihasilkan dengan target menjadi sekecil mungkin. Proses ini dilakukan secara iteratif melalui algoritma pembelajaran, di mana bobot disesuaikan berdasarkan nilai error yang dihitung pada setiap siklus pelatihan. Beberapa jenis fungsi pelatihan yang umum digunakan antara lain Levenberg–Marquardt (trainlm), Gradient Descent (traingd), Gradient Descent with Momentum (traingdm), Conjugate Gradient (traincfg), dan Bayesian Regularization (trainbr). Masing-masing fungsi pelatihan memiliki karakteristik tersendiri; misalnya, *trainlm* dikenal memiliki kecepatan konvergensi yang tinggi untuk jaringan berukuran kecil hingga menengah, sedangkan *traingd* lebih sederhana namun memerlukan waktu pelatihan yang lebih lama. Fungsi *trainbr* digunakan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dengan menyeimbangkan antara kesalahan pelatihan dan kompleksitas jaringan (Haykin, 2009)

Sementara itu, fungsi aktivasi berperan penting dalam mengubah sinyal input yang diterima neuron menjadi sinyal output yang bersifat non-linear. Fungsi ini

memungkinkan jaringan untuk mempelajari hubungan kompleks antara variabel input dan output yang tidak dapat direpresentasikan secara linear. Beberapa jenis fungsi aktivasi yang sering digunakan antara lain fungsi sigmoid (*logsig*), tangent sigmoid (*tansig*), linear (*purelin*), Rectified Linear Unit (*ReLU*), dan Softmax. Fungsi *sigmoid* dan *tansig* banyak digunakan pada lapisan tersembunyi karena mampu menormalisasi keluaran neuron dalam rentang tertentu, yaitu (0,1) dan (-1,1). Fungsi *purelin* sering diterapkan pada lapisan output untuk menghasilkan nilai kontinu. Sementara *ReLU* populer dalam jaringan modern karena mampu mempercepat proses konvergensi dan mengurangi permasalahan *vanishing gradient*. Fungsi *Softmax* digunakan pada lapisan output untuk klasifikasi multi-kelas karena dapat menghasilkan distribusi probabilitas dari output (Rojas, 2013).

Hubungan antar lapisan diatur melalui bobot dan bias. Bobot akan terus diperbarui selama proses pelatihan untuk meminimalkan kesalahan antara nilai target dan nilai prediksi. Komponen penting lain yang berperan dalam proses pembelajaran jaringan adalah fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi berperan penting dalam mengubah sinyal input menjadi output yang bersifat nonlinier. Pemilihan fungsi aktivasi yang tepat akan memengaruhi kemampuan jaringan dalam mengenali pola data.

Fungsi aktivasi yang umum digunakan dalam penelitian JST antara lain:

1. Log-Sigmoid (*logsig*)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad 2.1$$

Menghasilkan output antara 0 hingga 1. Cocok digunakan untuk pemodelan yang membutuhkan hasil normalisasi.

2. Tan-Sigmoid (*tansig*)

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad 2.2$$

Menghasilkan output antara -1 hingga 1 dan sering digunakan untuk data yang memiliki nilai positif dan negatif.

3. Purelin (*Linear Function*)

$$f(x) = x \quad 2.3$$

Digunakan pada lapisan keluaran untuk masalah regresi atau prediksi nilai kontinu. Dalam penelitian ini, kombinasi fungsi aktivasi logsig–tansig dan tansig–tansig digunakan untuk membandingkan performa prediksi kadar nitrogen. Hasil terbaik diperoleh dari fungsi aktivasi tansig–tansig dengan akurasi paling tinggi.

Proses pembelajaran (learning) merupakan inti dari JST, di mana jaringan menyesuaikan bobot dan bias untuk menghasilkan output yang mendekati nilai target. Proses ini melibatkan tiga tahap utama:

1. *Training* (Pelatihan)

Pada tahap ini, jaringan mempelajari pola dari data input dan target melalui algoritma tertentu. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah Backpropagation dengan fungsi pelatihan Bayesian Regularization (trainbr), yang mampu meningkatkan kemampuan generalisasi dan menghindari overfitting.

2. *Testing* (Pengujian)

Tahap pengujian digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam memprediksi data baru yang tidak digunakan selama pelatihan. Data ini menguji sejauh mana jaringan mampu melakukan generalisasi.

3. *Validation* (Validasi)

Tahap validasi digunakan untuk memantau kinerja jaringan dan memastikan bahwa model tidak mengalami *overfitting*. Proses validasi juga membantu menentukan titik berhenti pelatihan (*early stopping*) apabila error validasi mulai meningkat.

Proses pelatihan JST secara umum meliputi langkah-langkah berikut:

1. Inisialisasi bobot dan bias secara acak.
2. Propagasi maju (forward pass) untuk menghitung output jaringan.
3. Perhitungan error antara output dan target.
4. Propagasi balik (backward pass) untuk memperbarui bobot berdasarkan gradien error.
5. Iterasi berulang hingga error mencapai nilai minimum yang diinginkan.

Penelitian oleh Saputra 2023, Penelitian mengenai (JST) untuk prakiraan cuaca dilakukan di wilayah Bandar Udara Radin Inten II Lampung dengan menggunakan data meteorologi harian selama tiga tahun (2017–2019), meliputi curah hujan, suhu, kelembaban, penyinaran matahari, tekanan udara, arah angin, dan kecepatan angin sebagai parameter input. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur jaringan dengan fungsi pelatihan Levenberg–Marquardt (trainlm) dan Scaled Conjugate Gradient (trainscg) serta fungsi aktivasi sigmoid biner dan bipolar menghasilkan akurasi pelatihan tertinggi sebesar 100%. Sementara itu, akurasi pengujian terbaik sebesar 74,36% diperoleh menggunakan algoritma pelatihan Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate (trainidx) dengan fungsi aktivasi sigmoid biner (logsig) dan jumlah neuron 20 dan 80, menunjukkan bahwa metode JST berpotensi efektif dalam sistem prediksi cuaca berbasis data meteorologi lokal. Penelitian ini juga mengembangkan model GUI pada penerapannya.

2.3.2. Graphical User Interface (GUI)

Graphical User Interface (GUI) merupakan antarmuka pengguna berbasis grafis yang memungkinkan interaksi antara manusia dan komputer melalui elemen-elemen visual seperti tombol (*buttons*), kotak teks (*text boxes*), menu, dan grafik. Penggunaan GUI dapat menjalankan fungsi program tanpa harus mengetikkan perintah secara langsung di *command window*, melainkan melalui tampilan visual yang intuitif dan interaktif.

Pada konteks pemrograman MATLAB, GUI adalah fitur yang disediakan untuk mengembangkan aplikasi interaktif secara cepat melalui *App Designer* atau *GUIDE (Graphical User Interface Development Environment)*. Melalui GUI, pengguna dapat menginput data, menjalankan perhitungan, menampilkan grafik, serta mengekspor hasil tanpa memerlukan keahlian pemrograman yang mendalam.

Dengan demikian, GUI berperan penting dalam menjembatani antara kompleksitas algoritma komputasi dan kemudahan penggunaan bagi pengguna akhir (end-user).

- a) Fungsi GUI dalam Pengembangan Sistem Prediksi atau Sistem Pakar

GUI memiliki fungsi utama sebagai media interaksi antara pengguna dan sistem prediksi agar proses analisis menjadi lebih mudah, cepat, dan ramah pengguna (*user-friendly*). Dalam sistem prediksi berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST), GUI dapat berfungsi untuk:

1. Menginput data variabel (misalnya pH, kadar air, resistansi tanah);
2. Menjalankan proses perhitungan atau prediksi menggunakan model JST yang telah dilatih;
3. Menampilkan hasil keluaran (output) seperti nilai kadar nitrogen yang diprediksi;
4. Menyajikan visualisasi hasil dalam bentuk grafik, tabel, atau indikator warna; dan
5. Menyimpan atau mengekspor hasil analisis ke format file tertentu (misalnya .xls atau .txt).

Selain itu, GUI juga berperan sebagai komponen sistem pakar (*expert system*) yang menyatukan basis pengetahuan dan algoritma kecerdasan buatan dalam satu platform yang mudah digunakan oleh petani, peneliti, maupun teknisi lapangan. Dalam konteks penelitian ini, GUI digunakan sebagai antarmuka interaktif untuk menjalankan model JST yang memprediksi kadar nitrogen total (N-total) pada berbagai jenis tanah marginal.

b) Keunggulan GUI dalam Mempermudah Pengguna Non-Teknis

Keunggulan utama GUI terletak pada kemudahan penggunaan (*usability*) dan tampilan visual yang intuitif. Beberapa keunggulan GUI antara lain:

1. *User-friendly* – pengguna tidak perlu memahami kode program untuk menjalankan sistem;
2. Interaktif dan responsif – hasil prediksi atau analisis dapat dilihat secara langsung setelah data dimasukkan;
3. Meningkatkan efisiensi waktu dan akurasi, terutama dalam penelitian atau aplikasi lapangan yang membutuhkan hasil cepat; dan

4. Dapat diintegrasikan dengan perangkat keras atau sensor, sehingga sistem prediksi dapat bekerja secara real-time.

Dalam penelitian ini, pembuatan GUI di MATLAB bertujuan untuk menerjemahkan model JST yang telah dikembangkan menjadi aplikasi prediksi nitrogen yang praktis dan interaktif, sehingga dapat digunakan secara langsung oleh pengguna tanpa keahlian teknis pemrograman.

2.4. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Teknologi prediksi dan identifikasi berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST), Artificial Neural Network (ANN), dan kecerdasan buatan (AI) memiliki peluang serta potensi yang sangat besar untuk diterapkan di bidang pertanian. Melalui kemampuan pemodelan non-linear dan proses belajar dari data, teknologi ini mampu mengungkap pola-pola kompleks yang sulit diakses oleh metode konvensional, terutama dalam analisis sifat fisik, kimia, dan biologis tanah. Penerapan AI—termasuk JST—dapat meningkatkan efisiensi pemantauan lahan, mempercepat proses diagnosis kesuburan tanah, mengoptimalkan penggunaan pupuk, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Dengan semakin berkembangnya sensor pertanian, citra satelit, dan perangkat IoT, teknologi berbasis AI diprediksi menjadi komponen penting dalam pertanian presisi yang berkelanjutan, efisien, dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Berikut beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya terkait penerapan jaringan saraf tiruan dan teknologi kecerdasan buatan dalam memprediksi maupun mengidentifikasi kandungan nitrogen tanah serta variabel kesuburan lainnya. Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa metode berbasis AI memiliki akurasi dan kemampuan generalisasi yang baik, sehingga dapat dijadikan rujukan dalam pengembangan sistem prediksi nitrogen tanah pada lahan marginal maupun lingkungan pertanian lainnya.

Tabel 2. 2. Ringkasan Penelitian terkait Penggunaan JST dan Nitrogen Tanah

Author	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
Aziz, dkk.	2006	Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Budidaya Tanaman Pangan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan	Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa JST LVQ yang dibangun mampu menentukan jenis tanaman pangan yang sesuai untuk ditanam pada lahan tertentu berdasarkan karakteristik lahan yang diberikan. Arsitektur jaringan yang digunakan adalah 22-4, terdiri dari 22 node input dan 4 node output. Parameter pelatihan berupa nilai Eps sebesar 0.005, nilai α sebesar 0.05, maksimum epoch 10, serta pengurangan learning rate sebesar 0.1α terbukti efektif dan efisien dalam proses prediksi. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu menghasilkan tingkat ketepatan prediksi mencapai 100%.
Elakiya, dkk.	2024	<i>Application of Artificial Neural Networks in Soil Science Research</i>	JST mampu memprediksi karakteristik tanah seperti pH dan nilai bahan organik tanah menggunakan data pelatihan yang berisi sifat kimia, biologi dan fisika dari tanah. Model yang dihasilkan JST dapat digunakan untuk mengkategorikan tanah, membantu perencanaan penggunaan lahan, pengelolaan tanah, pemantauan lingkungan, pengelolaan irigasi, perencanaan sumber daya air, dan estimasi kadar air tanah. Penggunaan JST yang berkelanjutan dalam penelitian ilmu tanah akan membuka peluang yang lebih besar tentang lingkungan tanah dan penciptaan metode untuk pengelolaan tanah yang berkelanjutan
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%. Penelitian ini

Author	Tahun	Judul	Hasil Penelitian
Ningsih	2025	Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Prediksi Kadar Unsur Hara dalam Tanah	menunjukkan bahwa jaringan saraf tiruan, bahkan dengan arsitektur sederhana, mampu memberikan hasil prediksi yang unggul dan efektif untuk sistem perkiraan nutrisi tanaman dalam pertanian presisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter fisik seperti pH, suhu, kelengasan, dan resistansi memiliki hubungan yang signifikan terhadap kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Penelitian ini menggunakan Arduino sebagai perangkat keras untuk prediksi dilapangan.

Berdasarkan kajian pustaka, metode berbasis *machine learning* dan *deep learning* terbukti mampu memberikan prediksi yang cukup akurat, khususnya yang diterapkan pada data terstruktur dan berukuran besar. Namun, performa model sangat dipengaruhi oleh mutu dan kelengkapan data yang digunakan. Model yang tampak unggul selama proses pelatihan belum tentu memberikan hasil serupa ketika diuji pada kondisi lapangan yang berbeda atau pada data baru yang belum pernah dipelajari sebelumnya. Guna system dapat bekerja secara konsisten, diperlukan perpaduan antara pemilihan algoritma yang sesuai, proses pelatihan yang efektif, serta ketersediaan data yang representatif dan stabil. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengembangan model yang tidak hanya menghasilkan prediksi akurat, tetapi juga mampu menyesuaikan diri dengan dinamika lingkungan pertanian yang kompleks dan terus berubah.

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Juni 2025. Pengambilan data tanah dilanjutkan dengan pembuatan model Jaringan Saraf Tiruan (JST). Pengambilan data pada sampel tanah akan dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Pembuatan model JST pada identifikasi dan prediksi kadar nitrogen pada tanah akan dilakukan di Laboratorium Elektronika Kendali, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Perangkat lunak *Microsoft Office Word*

Perangkat lunak *Microsoft Office Word* digunakan untuk menulis proposal dan laporan penelitian.

2. Perangkat lunak *Microsoft Office Excel*

Perangkat lunak *Microsoft Office Excel* digunakan untuk menyusun dan menyajikan data tanah.

3. Perangkat lunak *MATLAB*

Perangkat lunak *MATLAB* digunakan untuk mengolah data tanah, memprogram data untuk mengidentifikasi kadar nitrogen tanah dan membuat tampilan (*Graphical User Interface*) GUI sistem.

4. pH meter dan multimeter analog

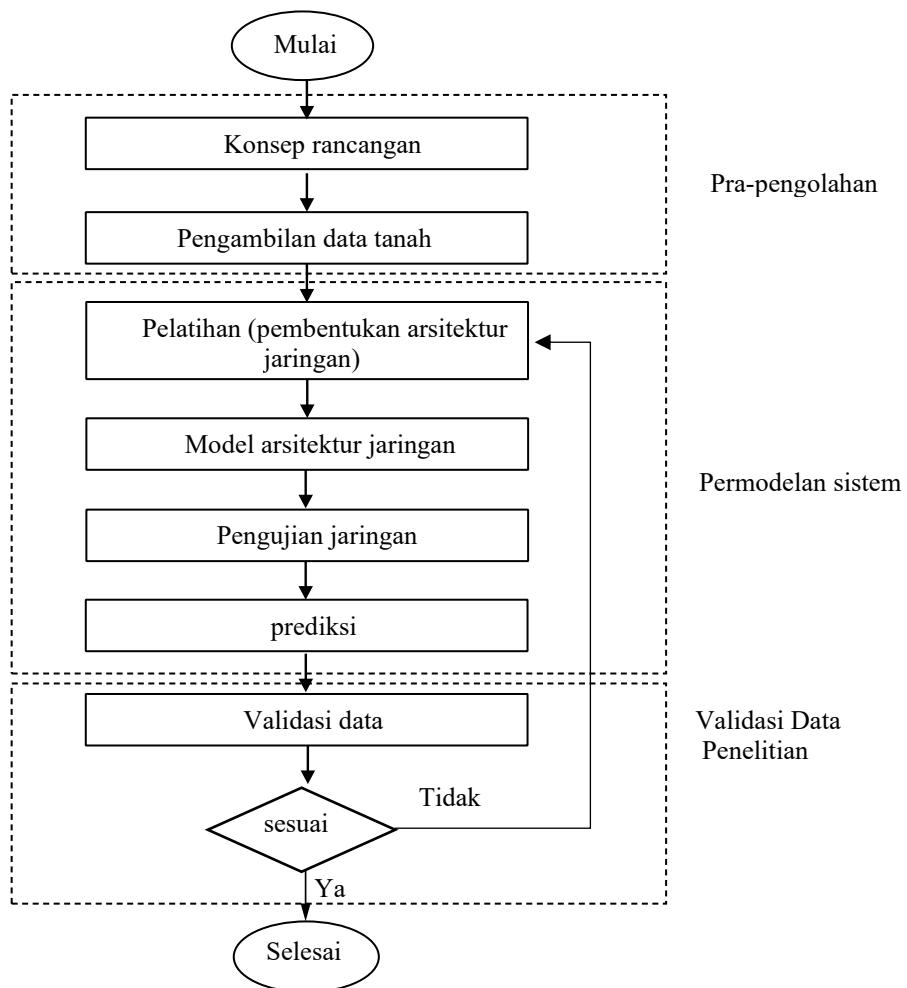
pH meter digunakan untuk mengukur kadar asam basa pada tanah. Multimeter analog digunakan untuk mengukur nilai resistansi dari tanah sampel.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel tanah yang diambil dari lima titik Lokasi yaitu ; tanah pasca perkebunan sawit, tanah pesisir pantai , tanah podsilik merah kuning, tanah ultisol dan tanah tailing paska tambang timah. Digunakan juga Pupuk Urea (Nitrogen 46%), dan air destilasi yang digunakan untuk membuat variasi pada sampel tanah sehingga data yang didapatkan beragam. Sampel tanah tersebut diambil data nilai pH, kadar air, resistansi dan nitrogen. Data karakteristik tanah tersebut yang digunakan untuk data latih dan data uji pada sistem JST ini.

3.3. Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan menyiapkan sampel tanah dan pengambilan data tanah sebagai data latih yang akan dimasukan pada model Jaringan Saraf Tiruan. Dilanjutkan dengan membuat program model JST pada aplikasi Matlab, jika program sudah sesuai dan menghasilkan luaran berupa mengidentifikasi kelas nitrogen dan nilai nitrogen, maka dilanjutkan dengan pembuatan *user interface*. Setelah *user interface* selesai dilakukan validasi pada model ini. Diagram alir penelitian dari proses perancangan hingga tahap pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

3.4. Data Sampel Tanah

Penelitian ini menggunakan 5 jenis sampel tanah yang divariasikan, setiap 1 sampel tanah dibuat menjadi 20 sampel sehingga total sampel sebanyak 100. Setiap satu sampel terdiri dari 100 gram tanah dengan penambatan pupuk dengan bobot berbeda yaitu 5 gram, 10 gram, 15 gram dan 20 gram yang dilarutkan dalam 200 ml air destilasi. Terdapat juga tanah yang tidak diberikan pupuk dan air sebagai kontrol sebagai variasi lainnya. Setiap sampel tanah diberi nama untuk membedakan dengan setiap tanah diberi simbol ‘T’ diantaranya; tanah pasca perkebunan sawit (T1), tanah ultisol (T2), tanah pesisir pantai (T3) , tanah tailing

paska tambang timah (T4) dan tanah podsolik merah kuning (T5). Setiap sampel tanah diberi perlakuan penambahan pupuk urea (N) ; Perlakuan satu diberi penambahan urea sebanyak 5 gram (P1), Perlakuan dua 10 gram (P2), Perlakuan tiga 15 gram (P3) dan perlakuan empat sebanyak 20 gram (P4) , dan terdapat sampel tanpa pemberian pupuk sebagai kontrol (C). Pada setiap perlakuan sampel dilakukan pengukuran sebanyak 4 kali ulangan percobaan (U). sehingga jumlah sampel sebanyak 100 dengan setiap sampel diambil nilai N, pH, Kadar air dan resistansi. Pengambilan data nilai N-total (%) tanah menggunakan metode Kedjal prosesnya melibatkan tiga tahapan utama: destruksi (pencernaan sampel dengan asam sulfat pekat untuk mengubah nitrogen menjadi amonium sulfat), destilasi (pemisahan amonia dari larutan dengan penambahan alkali), dan titrasi (pengukuran amonia yang dihasilkan menggunakan larutan asam standar). . Sampel data tanah dikelompokkan seperti Tabel 3.1

Tabel 3. 1. Sampel Tanah Perlakuan

No	Tanah Perkebunan Sawit (T1)	Tanah Ultisol (T2)	Tanah Pesisir Pantai (T3)	Tanah Tailing Timah (T4)	Tanah PMK (T5)
1	T1CU1	T2CU1	T3CU1	T4CU1	T5CU1
2	T1CU2	T2CU2	T3CU2	T4CU2	T5CU2
3	T1CU3	T2CU3	T3CU3	T4CU3	T5CU3
4	T1CU4	T2CU4	T3CU4	T4CU4	T5CU4
5	T1P1U1	T2P1U1	T3P1U1	T4P1U1	T5P1U1
6	T1P1U2	T2P1U2	T3P1U2	T4P1U2	T5P1U2
7	T1P1U3	T2P1U3	T3P1U3	T4P1U3	T5P1U3
8	T1P1U4	T2P1U4	T3P1U4	T4P1U4	T5P1U4
9	T1P2U1	T2P2U1	T3P2U1	T4P2U1	T5P2U1
10	T1P2U2	T2P2U2	T3P2U2	T4P2U2	T5P2U2
11	T1P2U3	T2P2U3	T3P2U3	T4P2U3	T5P2U3
12	T1P2U4	T2P2U4	T3P2U4	T4P2U4	T5P2U4
13	T1P3U1	T2P3U1	T3P3U1	T4P3U1	T5P3U1
14	T1P3U2	T2P3U2	T3P3U2	T4P3U2	T5P3U2
15	T1P3U3	T2P3U3	T3P3U3	T4P3U3	T5P3U3
16	T1P3U4	T2P3U4	T3P3U4	T4P3U4	T5P3U4
17	T1P4U1	T2P4U1	T3P4U1	T4P4U1	T5P4U1

No	Tanah Perkebunan Sawit (T1)	Tanah Ultisol (T2)	Tanah Pesisir Pantai (T3)	Tanah Tailing Timah (T4)	Tanah PMK (T5)
18	T1P4U2	T2P4U2	T3P4U2	T4P4U2	T5P4U2
19	T1P4U3	T2P4U3	T3P4U3	T4P4U3	T5P4U3
20	T1P4U4	T2P4U4	T3P4U4	T4P4U4	T5P4U4

Pengambilan data sampel tanah dilakukan pada seluruh sampel dengan jumlah sampel sebanyak 100 sampel. Pada tiap sampel di lakukan pengambilan data diantaranya data pH tanah, kadar air tanah, nilai resistansi tanah dan kadar Nitrogennya yang digunakan sebagai data pelatihan sistem JST. Pada 100 data tanah akan dibagi menjadi 4 kelas kadar nitrogen dalam tanah, pembagian kelas ini dimaksudkan untuk mempermudah pembacaan nilai tanah bagi pengguna. Data tanah diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Defisien : nilai kadar nitrogen total pada tanah kurang dari ($<$) 0,15 %
 $\{0,001\%, \dots, 0,149\%\}$
2. Suboptimal : nilai kadar nitrogen total pada tanah lebih dari atau sama dengan (\geq) 0,15% hingga kurang dari ($<$) 0,25%
 $(0,15\% \geq <0,25\%) \{ 0,15\%, \dots, 0,24\% \}$
3. Optimal : nilai kadar nitrogen total pada tanah lebih dari atau sama dengan (\geq) 0,25% hingga kurang dari $< 0,5\%$
 $(0,25\% \geq <0,5\%) \{ 0,25\%, \dots, 0,49\% \}$
4. Eksesif: nilai kadar nitrogen total pada tanah lebih dari atau sama dengan (\geq) 0,5% $\{ 0,5\%, \dots, 1\% \}$

Pada kondisi tanah dengan kadar nitrogen total di bawah 0,15% dikategorikan sebagai defisien. Tanah dengan kandungan nitrogen yang rendah menunjukkan keterbatasan unsur hara esensial yang sangat dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif. kondisi dimana ketersediaan nitrogen sangat rendah sehingga pertumbuhan tanaman terhambat. Menurut Li dkk. (2022), kadar nitrogen yang terlalu rendah menyebabkan penurunan biomassa tanaman karena nitrogen berperan penting dalam pembentukan protein, klorofil, dan asam amino.

Kekurangan nitrogen juga berdampak pada menurunnya aktivitas mikroba tanah, yang pada akhirnya memperlambat proses mineralisasi bahan organik (Ding dkk., 2024). Kekurangan nitrogen menyebabkan penurunan pembentukan klorofil, sehingga daun tanaman cenderung menguning (klorosis) dan pertumbuhan batang menjadi kerdil (Sutedjo, 2008). Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menurunkan hasil panen secara signifikan karena proses fotosintesis dan pembentukan jaringan tanaman tidak berlangsung optimal. Tanah dengan kadar nitrogen defisien umumnya ditemukan pada lahan kering atau tanah marginal dengan kandungan bahan organik yang rendah.

Tanah dengan kadar nitrogen total antara 0,15% hingga kurang dari 0,25% tergolong dalam kategori suboptimal. Pada kondisi ini, ketersediaan nitrogen sudah mulai mendukung pertumbuhan tanaman, namun belum mencapai tingkat ideal untuk semua jenis tanaman. N tersedia dalam jumlah yang mulai mencukupi untuk mendukung pertumbuhan tanaman tertentu, namun belum ideal untuk semua jenis tanaman. Lai dkk. (2022) menjelaskan bahwa pada sistem pertanian dengan kebutuhan nitrogen sedang, seperti tanaman legum dan sayuran daun, kadar nitrogen suboptimal masih dapat mendukung pertumbuhan vegetatif yang cukup baik berkat kemampuan tanaman tersebut berasosiasi dengan bakteri penambat nitrogen. Beberapa tanaman dengan kebutuhan nitrogen rendah hingga sedang, seperti kacang-kacangan, sayuran daun tertentu, atau tanaman hortikultura jangka pendek, masih dapat tumbuh dengan cukup baik pada kondisi ini (Gardner dkk., 1991). Namun untuk tanaman dengan kebutuhan nitrogen tinggi, seperti padi atau jagung, kadar nitrogen suboptimal dapat menghambat perkembangan daun dan menurunkan produktivitas hasil panen. Oleh karena itu, penambahan pupuk nitrogen masih diperlukan untuk mencapai tingkat kesuburan yang optimal.

Kondisi optimal dengan kadar nitrogen antara 0,25% hingga kurang dari 0,5% menunjukkan bahwa tanah memiliki keseimbangan nitrogen yang memadai untuk mendukung pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman secara seimbang. Pada kadar ini, tanaman mampu membentuk jaringan baru, memperluas luas daun, dan meningkatkan efisiensi fotosintesis (Brady & Weil, 2008). Liu dkk. (2023)

menyatakan bahwa ketersediaan nitrogen yang cukup tidak hanya meningkatkan aktivitas fotosintesis dan pembentukan protein, tetapi juga menjaga stabilitas komunitas mikroba tanah, yang berperan penting dalam siklus nitrogen. Ketersediaan nitrogen yang cukup juga berperan dalam meningkatkan kandungan protein, memperbaiki kualitas hasil panen, serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap stres lingkungan. Kondisi ini dianggap ideal untuk sebagian besar tanaman pangan dan hortikultura, karena menyediakan unsur hara dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman.

Pada kondisi tanah eksesif kelebihan nitrogen yang disebabkan oleh penambahan pupuk ammonium yang berlebih selain berpengaruh terhadap vase generative juga dapat menekan proses perubahan nitrit ke nitrat, sehingga ammonium dapat terjadi penimbunan nitrit dan akan menjadi racun bagi nitrobacter dan racun tanaman (Hakim, 1986). Ravishankara dkk. (2025) menjelaskan bahwa kelebihan nitrogen dapat menekan aktivitas mikroba pengoksidasi nitrit (*Nitrobacter*), menyebabkan penumpukan senyawa nitrit yang bersifat toksik bagi akar tanaman. Selain itu, akumulasi nitrogen berlebih juga dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca seperti N_2O dan menurunkan efisiensi pemupukan. Oleh karena itu, pengelolaan pemupukan nitrogen perlu dilakukan secara presisi agar tidak menyebabkan kondisi eksesif yang justru merugikan kesuburan tanah dan lingkungan.

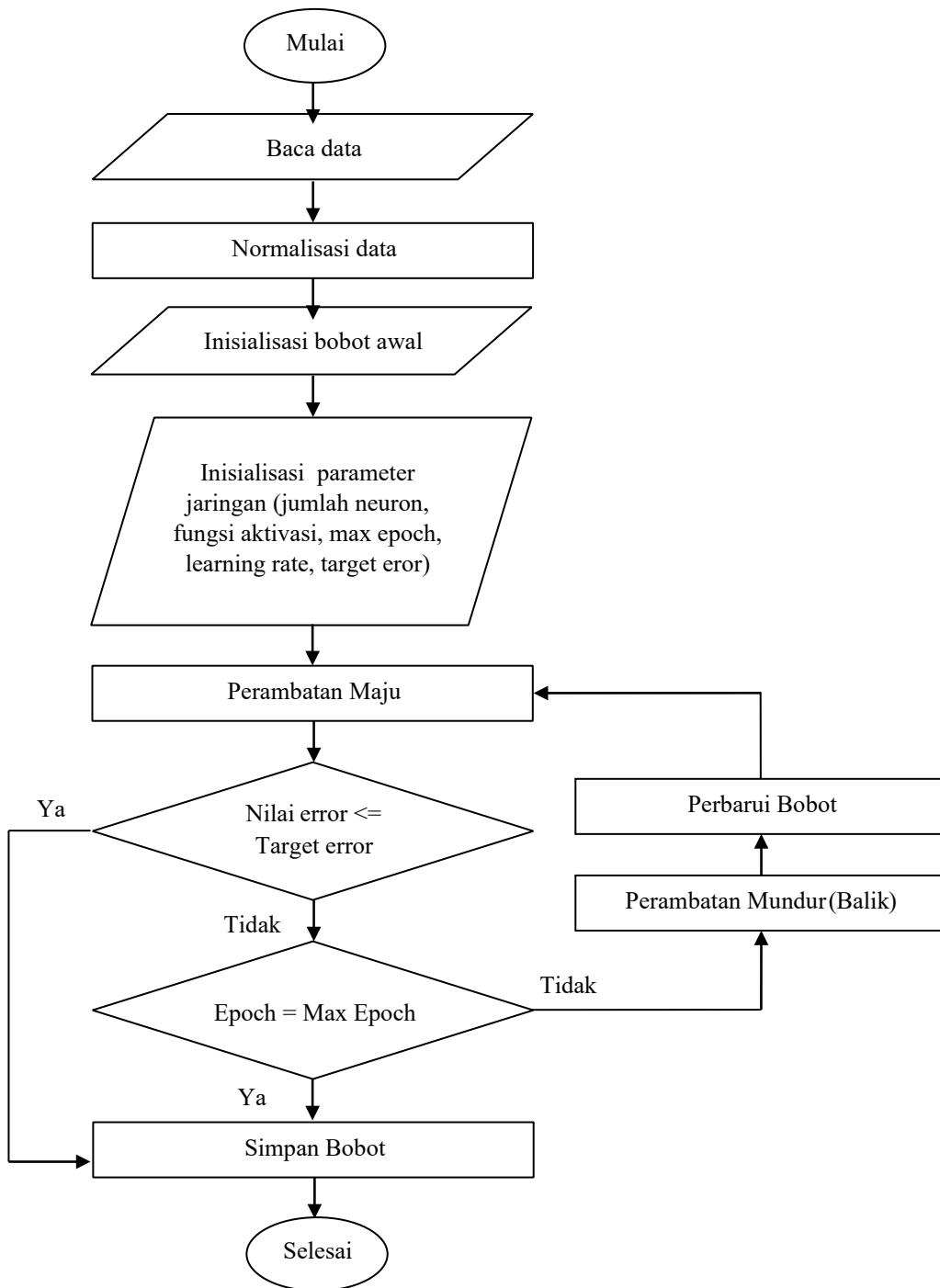
Seluruh data yang dimasukkan kedalam tiap kelas tersebut digunakan menjadi data pelatihan model JST ini dengan jumlah yang sama, dan Sebagian data digunakan untuk data pengujian.

3.5. Sistem Identifikasi Nitrogen

Pada sistem identifikasi nitrogen dibagi menjadi tiga proses yaitu proses pelatihan, proses pengujian, dan proses prediksi. Penjelasan pada setiap proses adalah sebagai berikut:

1. Proses Pelatihan

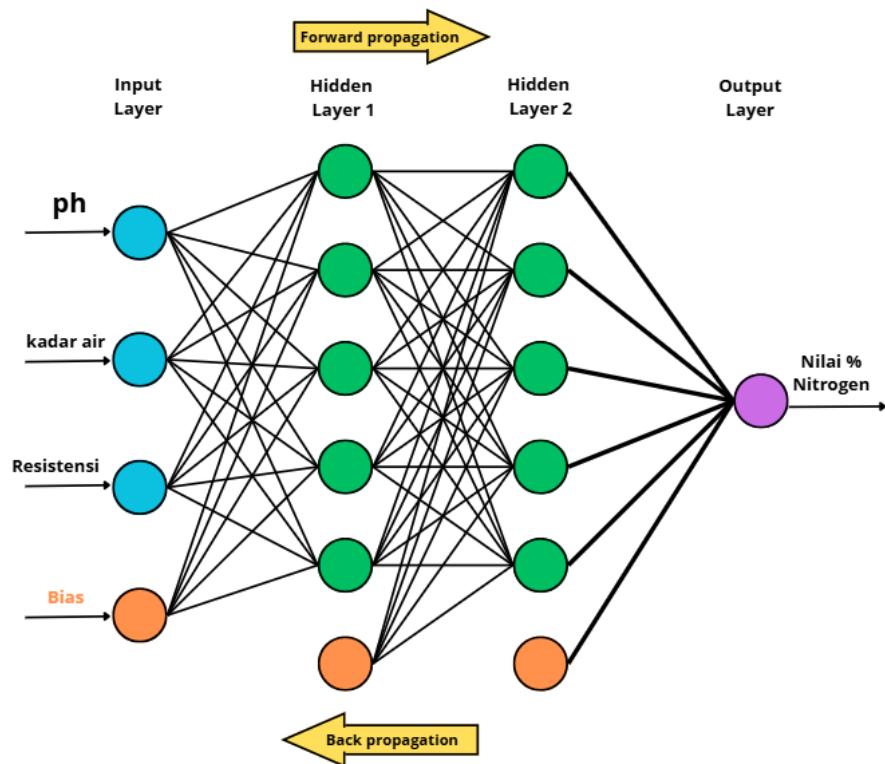
Pada proses ini digunakan data tanah yang telah dibagi menjadi 4 kelas yaitu ; Defisien, Suboptimal, Optimal dan Eksesif. Jumlah data pada masing masing kelas sama. Variabel masukan yang digunakan dalam pembentukan arsitektur Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* berjumlah 3 variabel antara lain nilai pH, Kadar air dan Resistansi. Pada variabel keluaran digunakan 2 variabel yaitu identifikasi kelas nitrogen dan nilai nitrogen (%). Nilai keluaran berupa bilangan desimal (%) yang merepresentasikan variabel kelas nitrogen. Diagram alir pelatihan jaringan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Diagram alir pelatihan jaringan

Pada tahap normalisasi dilakukan untuk menyamakan skala setiap variabel input sehingga tidak ada variabel yang mendominasi dalam proses pelatihan model. Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan dengan membagi setiap nilai input dengan nilai maksimum dari parameter masing-masing berdasarkan hasil pengukuran

laboratorium. Berikut arsitektur Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* yang digunakan dalam proses pelatihan ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation.

Data pelatihan diproses melalui mekanisme perambatan maju pada arsitektur Jaringan Saraf Tiruan yang telah dirancang sebelumnya. Proses pelatihan menghasilkan suatu model jaringan dengan konfigurasi arsitektur serta bobot optimal hasil pembaruan. Pada jaringan tersebut, data pelatihan kembali dipropagasi secara maju untuk menghasilkan keluaran, yang selanjutnya dibandingkan dengan target pelatihan guna memperoleh ukuran akurasi dari proses pelatihan.

2. Proses Pengujian

Pada proses ini digunakan pembagian data sebanyak 40 data random, dengan 10 data tanah dengan nilai nitrogen defisien, 10 data dengan nilai nitrogen suboptimal , 10 data dengan nilai nitrogen optimal, dan 10 data dengan nilai nitrogen eksesif. Dengan menggunakan arsitektur Jaringan Saraf Tiruan hasil proses pelatihan, data

uji dirambatkan maju sehingga diperoleh data keluaran yang kemudian dibandingkan dengan target uji dan diperoleh tingkat akurasi proses pengujian.

3. Proses Prediksi

Pada proses prediksi arsitektur Jaringan Saraf Tiruan hasil proses pelatihan kembali digunakan untuk merambatkan maju data prediksi sehingga diperoleh data keluaran. Prediksi dilakukan untuk memperoleh parameter maksimum yang terbaik dari hasil pelatihan dan pengujian. Pada penelitian ini proses prediksi nitrogen tanah ditampilkan menggunakan GUI (*Graphical User Interface*) oleh aplikasi matlab yang dibuatkan aplikasi desktop. GUI pada bagian prediksi ini dimaksudkan untuk mempermudah pengguna yang ingin melakukan prediksi nitrogen tanah baik itu oleh petani, peneliti atau pelakulainnya.

3.6. Akurasi dan Validasi Model JST

Pengujian pada penelitian ini dilakukan secara keseluruhan baik pada model JST pada pelatihan dan pengujian. Validasi digunakan untuk membandingkan hasil identifikasi N-total tanah yang dihasilkan oleh model JST dengan nilai sebenarnya. Pada tahapan ini, hasil keluaran proses pelatihan, pengujian, dan prediksi menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* yang berupa data nilai akurasi pelatihan, nilai akurasi pengujian, data nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan R^2 (koefisien determinasi).

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan beberapa parameter statistik untuk mengukur tingkat akurasi model terhadap data pelatihan dan pengujian. Parameter yang umum digunakan antara lain:

1. Mean Squared Error (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.1)$$

Dimana:

- n : Jumlah total data atau jumlah sampel pengamatan.

- i : Indeks data, menunjukkan data ke-1 sampai data ke- n .
- y_i : Nilai aktual/observasi pada data ke- i .
- \hat{y}_i : Nilai hasil prediksi model pada data ke- i

Mengukur rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik performa model.

2. Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (3.2)$$

Menunjukkan seberapa jauh prediksi menyimpang dari nilai sebenarnya dalam satuan yang sama dengan data asli.

3. Koefisien Determinasi (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3.3)$$

Dimana :

- y_i : Nilai aktual pada data ke- i .
- \hat{y}_i : Nilai prediksi pada data ke- i .
- \bar{y} : Nilai rata-rata dari seluruh data aktual.
- $\sum(y_i - \hat{y}_i)^2$: Total galat kuadrat prediksi (residual sum of squares).
- $\sum(y_i - \bar{y})^2$: Total variasi data aktual (total sum of squares).

Menunjukkan seberapa besar variasi data aktual yang dapat dijelaskan oleh model. Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan performa prediksi yang sangat baik.

4. Akurasi Kelas

Akurasi dihitung sebagai persentase jumlah data yang diprediksi dengan benar dibandingkan dengan total data. Hasil pengujian dari klasifikasi N tanah juga akan

dilakukan perhitungan akurasi kelas, presisi per kelas, recall perkelas, dan F1 score perkelas. Perhitungan nya Adalah sebagai berikut ;

$$Akurasi\ kelas = \frac{\text{Jumlah prediksi benar}}{\text{Total data}} \times 100\% \quad (3.4)$$

$$Presisi\ per\ kelas = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3.5)$$

$$Recall\ per\ kelas = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3.6)$$

$$F1\ score\ kelas = \frac{2 \times (\text{presisi} \times \text{Recall})}{(\text{Precision} + \text{Recall})} \quad (3.7)$$

Keterangan :

TP = True Positive (Jumlah data sesuai)

FP = False Positive (Jumlah data tidak sesuai positif)

FN = False Negative (Jumlah data tidak sesuai *negative*)

Pada proses validasi model klasifikasi, terutama pada kasus multi-kelas atau data yang tidak seimbang, penggunaan *precision*, *recall*, dan F1-score sangat penting untuk memperoleh gambaran performa model yang lebih akurat. Meskipun akurasi sering digunakan sebagai referensi utama, akurasi saja tidak cukup karena bisa memberikan hasil yang menyesatkan, khususnya ketika satu kelas mendominasi dataset. *Recall* mengukur seberapa banyak kasus positif yang berhasil terdeteksi oleh model. *F1-score*, yang merupakan rata-rata dari *precision* dan *recall*, digunakan untuk menyeimbangkan kedua metrik tersebut dan sangat berguna ketika terdapat *trade-off* antara keduanya Penghitungan metrik ini secara per kelas juga penting dalam klasifikasi multi-kelas karena performa model bisa bervariasi antar kelas. Arani dkk. (2024), dalam studi tinjauan literatur sistematis terhadap aplikasi

machine learning, ditemukan bahwa metrik *precision*, *recall*, dan F1-score adalah yang paling umum digunakan karena kemampuannya memberikan evaluasi yang lebih menyeluruh, terutama pada data yang tidak seimbang.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Model Jaringan Saraf Tiruan (JST) berhasil dikembangkan untuk memprediksi dan mengklasifikasikan kadar nitrogen total (N-total) pada tanah marginal berdasarkan data karakteristik tanah yang meliputi pH, kadar air, dan resistansi tanah. Model ini kemudian diimplementasikan ke dalam desain antarmuka pengguna (GUI) berbasis MATLAB, sehingga pengguna dapat melakukan prediksi kadar nitrogen tanah secara mudah, cepat, dan interaktif tanpa perlu analisis laboratorium yang memakan waktu dan biaya.
2. Berdasarkan hasil pelatihan dan pengujian, diperoleh bahwa kombinasi fungsi aktivasi tansig–tansig dengan jumlah neuron 8–8 menghasilkan performa paling optimal, dengan akurasi pelatihan sebesar 71% dan akurasi pengujian sebesar 73,38%. Model ini juga memiliki nilai MSE sebesar 0,00152 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,953, yang menunjukkan bahwa model mampu mempelajari pola hubungan nonlinier antarvariabel tanah dengan tingkat kesalahan yang rendah dan tingkat korelasi yang kuat antara hasil prediksi dan nilai aktual.
3. Hasil validasi sistem menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,9324 dan RMSE sebesar 0,0476, yang menandakan bahwa sekitar 93,24% variasi kadar nitrogen aktual dapat dijelaskan oleh model JST ini. Evaluasi kinerja klasifikasi terhadap empat kelas kadar nitrogen (Defisien, Sub-optimal, Optimal, dan Eksesif) menghasilkan nilai rata-rata precision sebesar 0,71, recall sebesar 0,70, dan F1-score sebesar 0,70, yang mengindikasikan bahwa model memiliki kinerja

klasifikasi yang cukup baik dan seimbang antar kelas. Model menunjukkan performa tertinggi pada kelas Defisien dan Eksesif, dengan kemampuan yang stabil dalam mengenali kondisi ekstrem kadar nitrogen tanah.

5.2. Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan parameter input yang lebih beragam, seperti komposisi tekstur tanah (fraksi pasir, debu, dan liat), nilai *electrical conductivity* (EC), kandungan bahan organik, serta parameter fisik dan kimia tanah lainnya. Penambahan variabel tersebut diharapkan dapat memperkaya informasi karakteristik tanah sehingga meningkatkan kemampuan model dalam mengenali pola hubungan terhadap kadar nitrogen total.
2. Menambah jumlah data latih dan data uji agar model dapat melakukan proses pembelajaran yang lebih representatif terhadap variasi kondisi tanah di lapangan. Semakin banyak data yang digunakan, maka kemampuan generalisasi model JST akan semakin baik dan hasil prediksi menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arani, A. K., Le, T. H. M., Zahedi, M., & Babar, M. A. (2024). Systematic literature review on application of learning-based approaches in continuous integration. *IEEE Access*, 12, 135419–135450.
- Amertet, S. & Gebresenbet, G. (2024) ‘Forecasting the Right Crop Nutrients for Specific Crops Based on Collected Data Using an Artificial Neural Network (ANN)’, *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 6(3), pp. 1936–1952.
- Arifin, M., Utami, S. N. H., & Slamet, S. (2014). Sifat fisik dan kimia tanah tailing timah serta upaya perbaikannya di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 38(2), 101–110.
- Arifin, Mahfud., dalam Kanal Media Universitas Padjajaran. (2022). Manfaatkan lahan suboptimal, perkebunan jadi komoditas potensial. *Universitas Padjadjaran*. 14 Maret 2022. Tersedia pada: <https://www.unpad.ac.id/2022/03/manfaatkan-lahan-suboptimal-perkebunan-jadi-komoditas-potensial/> (Diakses pada: 16 Maret 2025).
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.
- Aziz, A., Sunarminto, B. H., & Renanti, M. D. (2006). Evaluasi kesesuaian lahan untuk budidaya tanaman pangan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan. *Berkala MIPA*, 16(1).
- Budiyanto, G. (2020). The application of zeolite to increase nitrogen use efficiency in corn vegetative growth in coastal sandy soils. *Planta Tropika*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ding, C., Lv, C., Chen, H., Zhou, J., & Ren, H. (2024). Evaluation of soil total nitrogen as an indicator of soil bacterial community response to biochar and plant growth-promoting rhizobacteria applications. *Agronomy*, 14(3), 428.
- Elakiya, N., & Keerthana, G. (2024). Application of artificial neural networks in soil science research. *Archives of Current Research International*, 24(5), 1–15.
- Elsken, T. J. H., Metzen, J., & Hutter, F. (2019). Neural architecture search: A survey. *Journal of Machine Learning Research*, 20(55), 1–21.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks (Architecture, Algorithm and Application)*. Prentice Hall, New Jersey.
- Firmansyah, B. H., Syauqy, D., & Ichsan, M. H. H. (2019). Implementasi sistem penentuan kesegaran daging sapi lokal berdasarkan warna dan kadar amonia

- dengan metode jaringan saraf tiruan berbasis embedded system. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(4), 3955–3962.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Hakim, N., dkk. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung, Lampung.
- Hardjowigeno, S. (2010). *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines* (3rd ed.). Pearson Education.
- Heryani, N., & Sutrisno, S. (2018). Dinamika sifat fisik dan kimia tanah akibat penggunaan lahan perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(1), 59–70.
- Indraningsih, K. S. (2016). Faktor-faktor yang memengaruhi kinerja usahatani petani sebagai representasi strategi penyuluhan pertanian berkelanjutan di lahan marginal. *Jurnal Agro Ekonomi*, 31(1), 71–95.
- Kaparan, D., & Eko, S. (2013). Penentuan alih fungsi lahan marginal menjadi lahan pangan berbasis algoritma K-Means di wilayah Kabupaten Boyolali. *d'Cartesian*, 2(2).
- Lai, H., Gao, F., Su, H., Zheng, P., Li, Y., & Yao, H. (2022). Nitrogen distribution and soil microbial community characteristics in a legume–cereal intercropping system: A review. *Agronomy*, 12(8), 1900.
- Lestari, S., Wulandari, C., & Yuwono, N. W. (2023). Pengaruh dosis pupuk urea-ZA dan pembenah tanah terhadap pertumbuhan dan serapan N-S kemangi di Psamment Bugel, Kulon Progo. *Skripsi*, Universitas Gadjah Mada.
- Li, M., Han, X., & Li, L.-J. (2022). Total nitrogen stock in soil profile affected by land use and soil type in three counties of Mollisols. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 945305.
- Liu, J., Cai, H., Chen, S., Pi, J., & Zhao, L. (2023). A review on soil nitrogen sensing technologies: Challenges, progress and perspectives. *Agriculture*, 13(4), 743.
- Mansyur, I. N., Antonius, & Titing, D. (2023). Karakteristik fisika tanah pada beberapa lahan budidaya tanaman hortikultura lahan marginal. *Jurnal Ilmiah Respati*, 14(2), Desember 2023.
- Ningsih, W. (2025). *Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Prediksi Kadar Unsur Hara dalam Tanah*. Tesis, Universitas Lampung.
- Oriska, R. (2012). *Tanah*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Prasetyo, B. H., & Suriadikarta, D. A. (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*, 25(2), 39–46.

- Prasetyo, B. H., Subardja, D., & Suriadikarta, D. A. (2016). Perubahan sifat tanah akibat sistem penggunaan lahan di daerah tropika basah Indonesia. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 18(1), 1–10.
- Rahmawati, N., Hidayat, A., & Wibowo, R. (2021). Pengaruh penggunaan lahan pasca sawit terhadap kesuburan tanah dan produktivitas tanaman pangan. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(2), 155–165.
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613–620.
- Rusdiana, O. (2012). Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (carbon stock) pada hutan sekunder. *Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan IPB, Bogor*.
- Sagawa, S., Koh, P. W., Hashimoto, T. B., & Liang, P. (2020). Distributionally robust neural networks for group shifts: On the importance of regularization for worst-case generalization. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
- Sangprasat, K., Puttiwongrak, A., & Inazumi, S. (2024). Comprehensive analysis of correlations between soil electrical properties and index geotechnical properties. *Results in Engineering*, 23, 102696.
- Saputra, A., Sulistiyan, S. R., Marjunus, R., Yulianti, Y., Junaidi, J., & Surtono, A. (2023). Penerapan jaringan saraf tiruan (JST) backpropagation untuk prakiraan cuaca di Bandar Udara Radin Inten II Lampung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 11(1), 63–72.
- Sastry, S. S., & Bodson, M. (2011). *Adaptive Control: Stability, Convergence, and Robustness*. Dover Publications.
- Setyaningrum, D., Kasanah, U., & Anisa, Z. (2024). Analysis of pH and total nitrogen content using the Kjeldahl method on solid organic fertilizer. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 2(2), 122–127.
- Siang, J. J. (2005). *Jaringan Saraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Siswanto, B. (2018). Sebaran unsur hara N, P, K dan pH dalam tanah. *Buana Sains*, 18(2), 109–124.
- Subagyo, H., Suharta, N., & Siswanto, A. B. (2004). Tanah-tanah pertanian di Indonesia. *Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sugeng, P. (2013). Pengukuran pH, bahan organik, KTK dan KB. *Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang*.

- Sulakhudin, S. P. (2011). Peran bahan humus-kalsium pada pupuk urea terhadap ketersediaan nitrogen, pertumbuhan dan hasil bawang merah di lahan pasir pantai. *Disertasi*, Universitas Gadjah Mada.
- Suprapto, A. (2002). Land and water resources development in Indonesia. Dalam FAO. *Investment in Land and Water: Proceedings of the Regional Consultation*.
- Sujatmoko, A., Hidayat, R., & Nugroho, Y. (2015). Karakteristik tanah tailing dan strategi rehabilitasi lahan paska tambang timah di Bangka Belitung. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(1), 13–22.
- Troiano, M., Nobile, E., Mangini, F., Mastrogiovanni, M., Conati Barbaro, C., & Frezza, F. (2024). A comparative analysis of the Bayesian regularization and Levenberg–Marquardt training algorithms in neural networks for small datasets: A metrics prediction of Neolithic laminar artefacts. *Information*, 15(5), 270.
- Utami, S. N. H., Arifin, M., & Syamsuddin, M. (2018). Peningkatan kesuburan tanah tailing melalui ameliorasi organik dan revegetasi tanaman leguminosa. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 20(1), 25–34.
- Valente, D. S. M., Queiroz, D. M. de, Pinto, F. A. de C., Santos, N. T., & Santos, F. L. (2012). The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. *Revista Ciéncia Agronómica*, 43(4), 683–690.
- Yang, W., Wang, X., Xu, J., Jiao, Q., Lu, M., & Huang, G. (2018). Effect of nitrogen rates and soil water contents on decomposition and nitrogen mineralization of ryegrass in red soil region. *Chinese Journal of Ecology*, 37(9), 2589–2595.
- Yuniar, R. J., S., D., & Setyawati, O. (2013). Perbaikan metode prakiraan cuaca Bandara Abdulrahman Saleh dengan algoritma neural network backpropagation.
- Yuwono, N. W. (2009). Membangun kesuburan tanah di lahan marginal. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 9(2), 137–141.
- Zega, N. D. (2024). Pengaruh tekstur dan struktur tanah terhadap distribusi air dan udara di profil tanah. *PENARIK: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(2).