

Perancangan Sensor NPK Menggunakan JST Sebagai Pengambil Keputusan

Yuyut Chafid Ainurohman^{a*}, Farrady Alif Fiolana^b, Diah Arie WK^c

Teknik Elektro, Universitas Islam Kadiri Kediri, Indonesia

^{a*} stevanoyuyutca76@gmail.com

^b farradyalif@uniska-kediri.ac.id

^c diahariewk@uniska-kediri.ac.id

Kata Kunci :

Sensor Tanah,
Impulse,
Jaringan Syaraf Tiruan,
Prediksi NPK,
ESP32.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan unsur hara tanah berbasis sensor dan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Sensor dirancang menggunakan dua elektroda stainless steel yang berfungsi mendeteksi sinyal impulse tanah. Hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke komputer melalui modul ESP32 menggunakan jaringan Wi-Fi, dan selanjutnya dianalisis dengan model JST berbasis Python serta TensorFlow. Arsitektur JST yang digunakan terdiri dari 100 node pada input, 32 node pada satu lapisan hidden, dan 5 node pada output yang ditujukan untuk memperkirakan nilai pH, nitrogen (N), Phospor (P), kalium (K), serta kelembaban tanah.. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model mampu memprediksi pH dengan cukup baik, namun akurasi prediksi unsur lainnya masih rendah, terutama pada Nitrogen dan Kalium. Evaluasi model menunjukkan MAE 14,2549, MSE 728,139, dan R² Score -0,9882. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi dalam memprediksi unsur hara tanah secara sistematis, dan dapat ditingkatkan lebih lanjut agar lebih optimal dalam mendukung praktik pertanian presisi.

Soil Sensor,
Impulse,
Artificial Neural Network,
NPK Prediction,
ESP32.

This study aims to design a soil nutrient monitoring system based on sensors and Artificial Neural Networks (ANN). The sensor is designed using two stainless steel electrodes that function to detect soil impulse signals. The measurement results are then sent to a computer via an ESP32 module using a Wi-Fi network, and further analyzed with a Python-based ANN model and TensorFlow. The ANN architecture used consists of 100 node in the input layer, 32 node in one hidden layer, and 5 node in the output layer, which are

intended to estimate the values of pH, nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and soil moisture. The evaluation results show that the model is able to predict pH quite well, but the prediction accuracy of other elements is still low, especially for nitrogen and potassium. The model evaluation values show an MAE of 14.2549, an MSE of 728.139, and an R² Score of -0.9882. The results of the study show that the system has functioned in predicting soil nutrients systematically and can be further improved to be more optimal in supporting precision farming practices.

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, khususnya dalam bidang pertanian. Namun, sektor ini tidak lepas dari berbagai tantangan yang memengaruhi produktivitas dan keberlanjutannya. Salah satu persoalan utama adalah penyusutan lahan pertanian, yang pada tahun 2023 tercatat berkurang hingga 10,43% akibat alih fungsi menjadi kawasan pemukiman, industri, maupun infrastruktur, khususnya di Pulau Jawa yang menjadi sentra utama produksi pangan nasional (Badan Pusat Statistik, 2024). Selain berkurangnya lahan, produktivitas pertanian juga dipengaruhi oleh kondisi tanah yang tidak sehat. Kesehatan tanah ditentukan oleh berbagai faktor, termasuk tekstur, struktur, dan kelembaban. Kelembaban tanah memiliki peran krusial dalam proses distribusi unsur hara ke tanaman (Fauzi et al., 2014), sedangkan keberadaan unsur hara makro seperti nitrogen (N), Fosfor (P), dan kalium (K) menjadi faktor utama penentu kesuburan tanah (Devianti et al., 2019). Oleh karena itu, pengelolaan kelembaban dan pemenuhan unsur hara mutlak diperlukan untuk mendukung peningkatan hasil panen.

Dalam praktiknya, sebagian besar petani masih melakukan pemupukan secara manual, baik dengan interval tertentu maupun setelah munculnya gejala penyakit tanaman, sehingga berisiko menimbulkan kesalahan dosis dan keterlambatan pemberian pupuk (Triharto et al., 2014). Kondisi ini mendorong pemanfaatan teknologi modern dalam pertanian, yang berkembang melalui konsep *smart farming* berbasis sensor, *Internet of Things* (IoT), dan sistem otomatisasi (Deepthi et al., 2024). Lebih jauh, pemanfaatan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) memberikan peluang untuk meningkatkan akurasi analisis dan efisiensi pengambilan keputusan. Salah satu implementasi penting dari inovasi ini adalah pengembangan sensor NPK berbasis JST yang memanfaatkan data *impulse* hasil pembacaan sensor untuk menentukan kadar NPK secara tepat. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mendukung petani dalam memantau tingkat kesuburan tanah secara lebih efisien, sehingga dapat meningkatkan hasil produksi pertanian serta meminimalkan dampak buruk akibat penggunaan pupuk yang kurang tepat.

2. METODE

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Dimana tujuan dari penelitian ini yaitu merancang sensor NPK menggunakan JST sebagai pengambil keputusan. Objek penelitian ini terletak pada lahan persawahan dengan luas sekitar 2.473 meter persegi di Dusun Bangkok, Desa Klampisan, Kecamatan Kandangan, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Sampel pada penelitian ini terdapat sebanyak 30 sampel yang masing-masing berjarak 7 meter antar sampel.

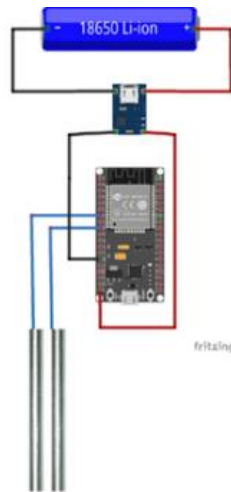
2.2 Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan proses untuk melakukan perancangan software dan hardware yang akan digunakan untuk penelitian. Rangkaian alat terdiri dari dua elektroda berbahan stainless steel yang ditancapkan langsung ke tanah untuk membaca karakteristik listrik berupa tegangan *impulse*, dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data. Elektroda sendiri merupakan penghantar listrik yang memungkinkan arus masuk atau keluar dari suatu larutan atau media dalam perangkat listrik (Sridianti, 2019), sehingga berperan penting sebagai penghubung antara tanah yang bersifat elektrolit dengan rangkaian elektronik. Pemilihan stainless steel didasarkan pada sifatnya yang tahan korosi, mudah diperoleh, serta memiliki konduktivitas listrik yang cukup baik sehingga sesuai untuk media pengukuran dalam tanah yang lembab dan bersifat elektrolit. Elektroda pada penelitian ini menggunakan logam stainless steel dengan panjang 15 cm, dan diameter 4 mm. Nilai resistansi elektroda dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot A} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{0,15 \text{ m}}{(1,45 \times 10^6 \text{ S/m}) \cdot (1,2566 \times 10^{-5} \text{ M}^2)} \\ &= \frac{0,15}{18,2207} \\ &= 0,00823 \Omega \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai resistansi elektroda dapat dipastikan cukup rendah agar tegangan yang dihasilkan tanah dapat terbaca optimal oleh ESP32. Kedua elektroda dihubungkan ke pin ADC GPIO 25 dan GPIO 32 pada ESP32, selanjutnya membaca sinyal tegangan dan mengirimkannya ke komputer melalui komunikasi serial. Sistem mendapatkan suplai daya dari baterai 18650 Li-ion yang terhubung ke modul *charger* untuk menjaga kestabilan catu daya. Data *impulse* yang diperoleh secara otomatis disimpan dalam file Excel menggunakan program Python. Kemudian, digunakan sebagai dataset untuk melatih model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam memprediksi kadar unsur hara tanah, sehingga keseluruhan proses pengambilan hingga penyimpanan data dapat berjalan secara sistematis. Gambar wiring perancangan alat disajikan pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Wiring Diagram

2.3 Uji Kimia Reagen

Sebagai data acuan, pengujian kadar unsur hara tanah berupa pH, N, P, dan K dilakukan menggunakan soil test kit berbasis reagen kimia. Prosedur pengujian dilakukan dengan mencampurkan tanah dan air netral sesuai takaran, kemudian menambahkan larutan reagen sehingga terjadi reaksi kimia yang menghasilkan perubahan warna. Waktu reaksi yang dibutuhkan adalah ± 1 menit untuk pengukuran pH dan Nitrogen, serta ± 30 detik untuk Phospor dan Kalium.



Gambar 3. Warna Acuan

Warna hasil reaksi kemudian dibandingkan dengan skala warna referensi pada kit, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Skala warna referensi soil test kit untuk pengukuran pH, Ammonia Nitrogen, Phosphorus, dan Potassium (mg/L). Hasil uji reagen ini digunakan sebagai data acuan dan dikonversi ke bentuk numerik untuk target pelatihan model JST.

2.4 Perancangan Model JST

Model JST dalam penelitian ini dirancang untuk memperkirakan nilai pH, Nitrogen (N), Phospor (P), Kalium (K), dan kadar air berdasarkan data *impulse* dari sensor. Dataset disusun dari hasil pembacaan sensor yang divalidasi dengan uji reagen kimia, kemudian dinormalisasi (0–1) dan dibagi menjadi data latih (80%) serta data uji (20%). Arsitektur JST terdiri dari lapisan *input* 100 node, lapisan *hidden* 32 node dengan aktivasi ReLU, serta lapisan *output* 5

node dengan aktivasi ReLU. Proses pelatihan menggunakan backpropagation dengan fungsi kehilangan MSE dan optimisasi Adam, sementara evaluasi dilakukan menggunakan MAE, MSE, dan R^2 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Alat

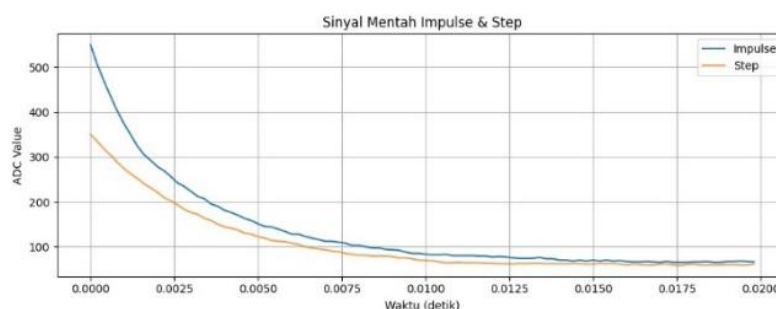


Gambar 4. Hasil Perancangan Alat

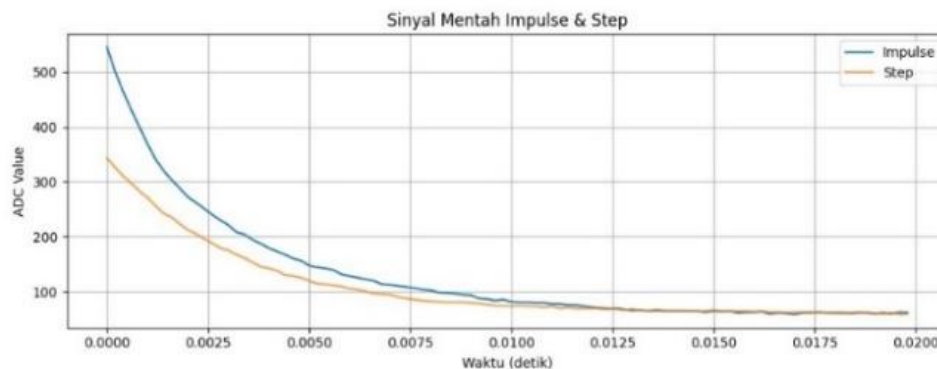
Hasil perancangan alat ditunjukkan pada Gambar 4, dimana sensor dibuat menggunakan dua elektroda stainless steel yang berfungsi sebagai penghantar sinyal listrik dari media tanah dan dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data. Elektroda ditancapkan ke dalam tanah untuk membaca karakteristik tegangan yang dihasilkan, kemudian nilai tersebut direkam sebagai data *impulse*. Dari hasil pengujian, sensor mampu melakukan pembacaan tegangan secara stabil, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan sebagai masukan bagi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam memprediksi kadar unsur hara tanah, khususnya Nitrogen, Phospor, dan Kalium (NPK).

3.2 Karakteristik Sensor

Analisis karakteristik sensor dilakukan untuk mengevaluasi respon sensor terhadap sinyal masukan *impulse* yang menjadi fokus penelitian ini. Karakteristik respon sensor disajikan sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Impulse dan Step 1



Gambar 6. Grafik *Impulse* dan *Step* 2

Hasil pengukuran pada gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan adanya lonjakan awal dengan nilai ADC > 500 pada 0 detik, diikuti penurunan tajam hingga sekitar 200 pada 0,002–0,005 detik, dan stabil mendekati 100 setelah 0,010 detik. Perbedaan terlihat pada fase transisi, di mana Gambar 7 menampilkan fluktuasi kecil (*noise*), sedangkan Gambar 8 menunjukkan pola lebih halus dengan kestabilan lebih baik. Variasi ini dipengaruhi oleh kondisi kontak elektroda, kelembapan, dan resistansi tanah. Secara keseluruhan, respon *impulse* terbukti lebih sensitif dalam merepresentasikan perubahan cepat, sehingga relevan digunakan sebagai input pada proses pelatihan model JST untuk memprediksi kadar NPK.

3.3 Hasil Pengujian Reagen

Selain menggunakan sensor, pengujian kondisi unsur hara tanah juga dilakukan dengan metode kimia reagen sebagai data pembanding untuk melatih dan mengevaluasi akurasi model JST. Pengujian dilakukan dengan soil test kit pada parameter pH, N, P, dan K sesuai prosedur standar, yaitu tanah dicampur dengan air pH netral, kemudian ditambahkan larutan reagen sesuai parameter. Setelah didiamkan sekitar satu menit, perubahan warna dibandingkan dengan skala referensi pada kit. Hasil pengujian menunjukkan adanya variasi kadar pH, Nitrogen, Fosfor, Kalium, serta kadar air pada tiap sampel tanah yang mencerminkan perbedaan kondisi tanah, dan digunakan sebagai target output dalam pelatihan model JST. Hasil uji kimia reagen ditampilkan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Reagen Kimia

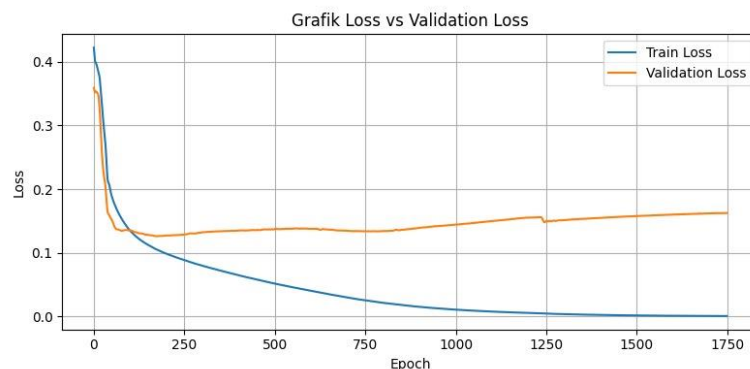
Sampel	pH	Nitrogen (N) mg/L	Phospor (P) mg/L	Kalium (K) mg/L	Kadar Air (%)
1	7.0	0	80	240	24
2	6.0	10	120	50	22,43
3	6.0	10	120	50	9
4	6.0	10	120	20	27.97
5	6.0	0	80	20	21,9
6	6.0	0	50	80	19,64
7	6.0	10	120	80	24,81
8	7.0	10	120	20	15
9	6.0	10	80	80	20
10	6.0	10	80	120	16,51
11	6.0	10	50	20	19,3
12	6.0	10	120	80	16,67

13	7.0	0	80	120	15
14	7.0	10	120	20	18,97
15	7.0	0	80	120	18,26
16	7.0	0	80	120	16,67
17	7.0	0	80	50	14,68
18	7.0	0	120	120	16,67
19	7.0	10	80	20	25,66
20	7.0	0	120	80	20,19
21	6.0	10	80	0	12,73
22	7.0	0	120	0	13,39
23	7.0	10	120	50	13,08
24	6.0	10	120	20	17,43
25	6.0	0	120	20	16,67
26	6.0	10	120	50	13,27
27	6.0	10	120	80	14,29
28	6.0	10	120	50	27,97
29	7.0	10	120	80	14,68
30	7.0	10	120	50	19,3

Pada tabel 1 menampilkan hasil pengujian kimia reagen terhadap 30 sampel tanah, meliputi parameter pH, Nitrogen (N), Phospor (P), Kalium (K) dan kadar air. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai pH berkisar antara 6.0 hingga 7.0, Nitrogen umumnya rendah dengan variasi antara 0-10 mg/L, Phospor berada pada rentang 50-120 mg/L, Kalium 0-240 mg/L, dan kadar air bervariasi signifikan antar sampel. Data ini selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam pelatihan model JST.

3.4 Evaluasi Model JST

Pada penelitian ini model JST menggunakan arsitektur *single layer perceptron* dengan lapisan *Input* berisi 100 node yang merepresentasikan nilai *impulse* dari hasil pembacaan sensor, sedangkan lapisan *hidden* berisi 32 node dengan aktivasi ReLU. Pada lapisan *output* terdapat 5 node dengan aktivasi ReLU yang merepresentasikan nilai pH, Nitrogen (N), Phospor (P), Kalium (K), dan kadar air. Data pelatihan diperoleh dari hasil uji sensor dan reagen pada 30 sampel tanah, kemudian dinormalisasi ke dalam rentang 0–1 dengan metode *min-max normalization* guna meningkatkan kestabilan proses pelatihan. Proses pelatihan model JST dilakukan menggunakan *algoritma backpropagation* dengan optimasi Adam dan fungsi kehilangan *Mean Squared Error* (MSE). Pelatihan berlangsung selama 1750 *epoch* dengan pemantauan *training loss* dan *validation loss* pada setiap iterasi. Grafik disajikan pada gambar berikut:



Gambar 7. Grafik Perbandingan *Training Loss* dan *Validasi Loss*

Berdasarkan grafik pada gambar 7 memperlihatkan perbandingan antara nilai *training loss* dan *validation loss* selama proses pelatihan model. *Training loss* terus menurun hingga mendekati nol, yang menandakan model mampu mempelajari pola pada data latih. Sementara itu, *validation loss* hanya menurun pada awal pelatihan kemudian stagnan dan sedikit meningkat setelah *epoch* ke-200, yang mengindikasikan adanya potensi *overfitting*. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap struktur model atau penggunaan metode regularisasi untuk meningkatkan generalisasi model.

Evaluasi model dilakukan menggunakan tiga ukuran yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), serta koefisien determinasi (R^2). MAE merupakan ukuran evaluasi yang menghitung rata-rata kesalahan antara nilai prediksi dan nilai aktual. (Suryanto & Muqtadir, 2019). Persamaannya dituliskan sebagai berikut:

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

Mean Squared Error (MSE) adalah ukuran evaluasi yang menghitung rata-rata dari kuadrat selisih antara nilai prediksi dengan nilai aktual.. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kemampuan model dalam memberikan hasil prediksi yang mendekati kenyataan. (Azmi et al., 2020). Perhitungan *Mean Squared Error* (MSE) dilakukan menggunakan rumus:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

Koefisien determinasi (R^2) menggambarkan seberapa besar proporsi keragaman data yang dapat diterangkan oleh model. Nilai R^2 yang mendekati angka 1 menandakan bahwa model memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjelaskan variasi pada data (Aulady et al., 2024). Perhitungan koefisien determinasi (R^2) dilakukan menggunakan:

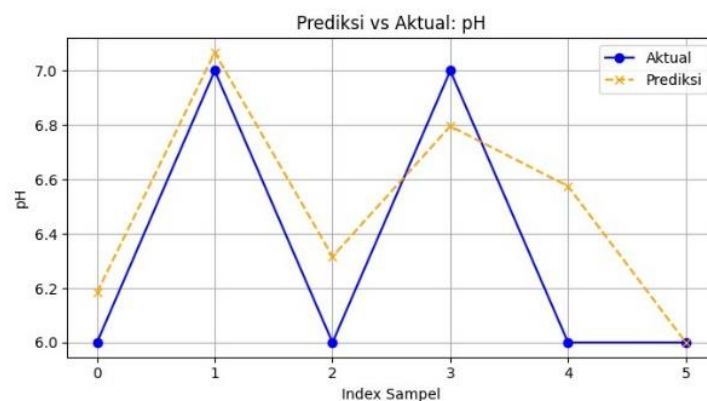
$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan rumus tersebut, hasil evaluasi model pada data testing menunjukkan bahwa model menghasilkan MAE sebesar 14,2549, MSE sebesar 728,139, serta nilai R^2 sebesar -0,9882. Hasil evaluasi model tersebut, nilai R^2 menunjukkan negatif ini menunjukkan bahwa variasi data aktual tidak dapat dijelaskan dengan baik oleh model. Kondisi ini mengindikasikan adanya masalah *overfitting* atau kurangnya kemampuan generalisasi model. Dengan demikian, peningkatan akurasi model memerlukan optimasi pada struktur jaringan, identifikasi fitur input yang paling signifikan, serta implementasi teknik regularisasi untuk memastikan model memiliki stabilitas dan generalisasi yang tinggi ketika diterapkan pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

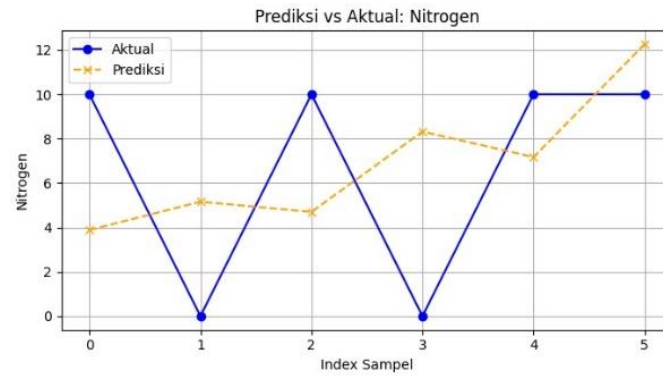
3.5 Analisis Akurasi Prediksi

Setelah proses pelatihan selesai, dilakukan evaluasi terhadap akurasi model JST yang telah dilatih diuji menggunakan 20% data yang tidak digunakan selama pelatihan. Hasil prediksi dari model kemudian dibandingkan dengan nilai referensi aktual yang didapat dari pengujian reagen. Kesalahan antara prediksi dan nilai aktual dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode ini mengukur akurasi prediksi dengan mengekspresikan rata-rata kesalahan dalam bentuk persentase, yang menunjukkan sejauh mana deviasi hasil prediksi dari realitas. MAPE banyak digunakan karena memiliki bentuk perhitungan yang sederhana, mudah dipahami, serta dapat diaplikasikan secara luas dalam mengevaluasi keandalan hasil prediksi (Setiawan, 2021). Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), tingkat akurasi prediksi model JST bervariasi pada setiap parameter. Unsur pH memiliki MAPE paling rendah sebesar 3,62%, yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi sangat baik. Sebaliknya, prediksi Nitrogen menunjukkan MAPE tertinggi mencapai 252,17%, menandakan model tidak mampu mengenali pola data unsur tersebut dengan baik. Untuk unsur Phosphor, Kalium, dan kadar air, nilai MAPE masing-masing sebesar 26,11%, 37,70%, dan 25,89%, yang termasuk dalam kategori akurasi sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa model paling handal dalam memprediksi pH, cukup moderat pada Phosphor, Kalium, dan kadar air, namun masih lemah dalam memprediksi Nitrogen sehingga memerlukan perbaikan lebih lanjut.

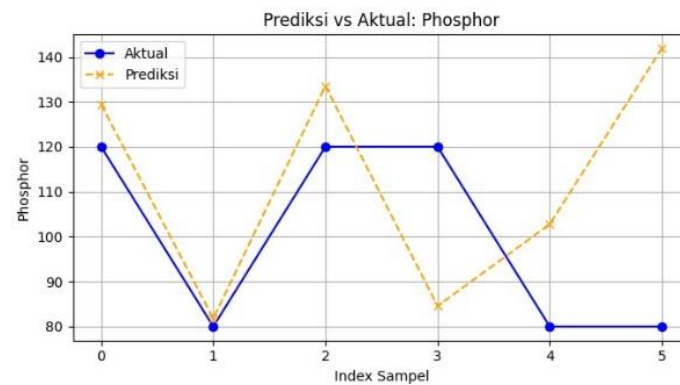
Untuk mengevaluasi performa prediksi model Jaringan Syaraf Tiruan (JST), dilakukan perbandingan antara nilai prediksi dan nilai aktual hasil uji reagen terhadap beberapa unsur hara tanah, yaitu pH, Nitrogen (N), Phosphor (P), dan Kalium (K). Berikut ini disajikan grafik nilai prediksi vs nilai aktual hasil uji reagen kimia.



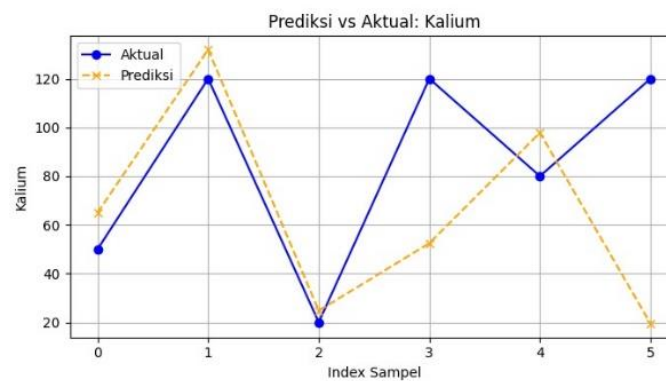
Gambar 8. Grafik Nilai Prediksi Vs Hasil Aktual pH



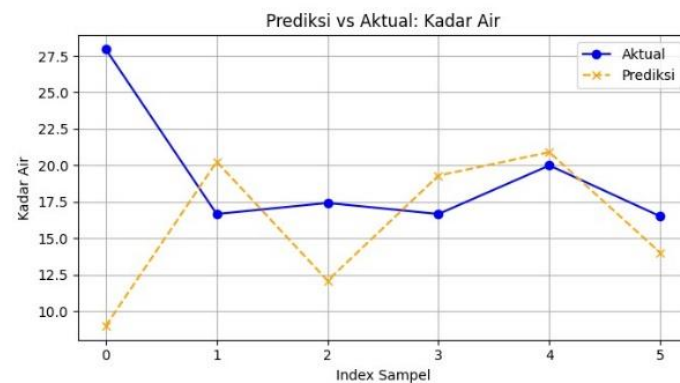
Gambar 9. Grafik Nilai Prediksi Vs Hasil Aktual Nitrogen



Gambar 10. Grafik Nilai Prediksi Vs Hasil Aktual Phospor



Gambar 11. Grafik Nilai Prediksi Vs Hasil Aktual Kalium



Gambar 12. Grafik Nilai Prediksi Vs Hasil Aktual Kadar Air

Berdasarkan hasil analisis pada gambar 8 hingga gambar 12 memperlihatkan perbandingan nilai prediksi model JST dan hasil pengukuran regen pada masing-masing parameter tanah. Pada gambar 8 menunjukkan prediksi pH cukup baik dengan deviasi kecil pada beberapa sampel. Pada gambar 9 mengindikasikan bahwa prediksi Nitrogen masih lemah, dengan deviasi besar terutama pada sampel dengan kadar Nitrogen rendah. Gambar 10 menampilkan prediksi Fosfor yang relative stabil meskipun sesekali terjadi overprediksi. Pada gambar 11, prediksi Kalium masih menunjukkan selisih besar dengan nilai aktual, sementara gambar 12 memperlihatkan ketidakstabilan model dalam memprediksi kadar air. Secara keseluruhan, model JST menunjukkan performa terbaik dalam memprediksi pH, akurasi sedang pada Fosfor, serta masih lemah pada prediksi Nitrogen, Kalium, dan kadar air.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perancangan sensor NPK dengan model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) sebagai pengambil keputusan, diperoleh bahwa sensor berbahan stainless steel mampu membaca karakteristik tanah melalui nilai *impulse* secara konsisten. Data dari sensor ini digunakan sebagai input awal untuk memprediksi parameter tanah, termasuk pH, Nitrogen, Fosfor, Kalium, dan kadar air. Model JST yang dikembangkan dengan arsitektur 100 node pada lapisan *input*, 32 node pada lapisan *hidden*, dan 5 node pada lapisan *output* berhasil dilatih menggunakan data *impulse* dari sensor. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model cukup tepat untuk memprediksi pH, namun kurang andal untuk unsur hara makro seperti Nitrogen dan Kalium. Hasil evaluasi menunjukkan nilai MAE 14,2549, MSE 728,139, dan R^2 -0,9882, yang menandakan model belum mampu memprediksi data uji dengan baik. Keterbatasan ini diduga disebabkan oleh jumlah data latih yang terbatas, distribusi data yang tidak merata, serta kompleksitas sifat kimia tanah. Selain itu, model terindikasi mengalami *overfitting*, di mana performa baik pada data latih tetapi kurang optimal pada data uji. Meskipun demikian, sistem secara keseluruhan telah berjalan terintegrasi mulai dari akuisisi data sensor hingga menghasilkan prediksi, sehingga berhasil mewujudkan alur kerja prediksi unsur hara tanah berbasis sensor dan kecerdasan buatan. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun belum terhubung dengan sistem pemupukan otomatis, informasi prediksi yang dihasilkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan pemupukan presisi dan berpotensi dikembangkan lebih otomatis dalam mendukung pertanian cerdas berbasis data.

Daftar Pustaka

- Aulady, M. A., Hudawi AS, A., & Arifin, Z. (2024). Improve Metode Lightgbm untuk Prediksi Harga Mobil Bekas Menggunakan Hyper-Parameter Tuning. *TRILOGI: Jurnal Ilmu Teknologi, Kesehatan, Dan Humaniora*, 5(3), 456–467. <https://doi.org/10.33650/trilogi.v5i3.9000>
- Azmi, U., Hadi, Z. N., & Soraya, S. (2020). ARDL METHOD: Forecasting Data Curah Hujan Harian NTB. *Jurnal Varian*, 3(2), 73–82. <https://doi.org/10.30812/varian.v3i2.627>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Pada 2023, luas panen jagung pipilan mencapai 2,48 juta hektare. Produksi jagung pipilan kering dengan kadar air 14 persen pada 2023 sebesar 14,77 juta ton*. Badan Pusat Statistik.

- Deepthi, P., Sasikumar, S., Subashini, T., Rekha, C., & Amutha, S. (2024). Enhancing Agricultural Productivity: Development of a Smart Farming Monitoring System with ESP32 and Fuzzy Logic Control. *Nanotechnology Perceptions*, 20(S5), 203–214. <https://doi.org/10.62441/nano-ntp.v20iS5.17>
- Devianti, D., Sufardi, S., Zulfahrizal, Z., & Munawar, A. A. (2019). Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Prediksi Cepat dan Simultan Kadar Unsur Hara Makro pada Tanah Pertanian. *AgriTECH*, 39(1), 12. <https://doi.org/10.22146/agritech.42430>
- Fauzi, A. R., Program, D., Agroekoteknologi, S., & Trilogi, U. (2014). *Pengaruh Penyiraman dan Dosis Pemupukan terhadap Pertumbuhan Kangkung (Ipomoea reptans) pada Komposisi Media Tanam Tanah + Pasir*. 4(2), 104–111.
- Setiawan, I. (2021). Rancang Bangun Aplikasi Peramalan Persediaan Stok Barang Menggunakan Metode Weighted Moving Average (Wma) Pada Toko Barang Xyz. *Jurnal Teknik Informatika*, Vol. 13, No. 3, Agustus 2021, 13(3), 1–9.
- Sridianti. (2019). *Pengertian Elektroda dan Penggunaan Elektroda*. <https://www.sridianti.com/pengertian-elektroda-dan-penggunaan-elektroda.html>
- Suryanto, A. A., & Muqtadir, A. (2019). *Penerapan Metode Mean Absolute Error (MEA) Dalam Algoritma Regresi Linear Untuk Prediksi Produksi Padi*. 1, 78–83.
- Triharto, S., Musa, L., & Sitanggang, G. (2014). Survei dan Pemetaan Unsur Hara N, P, K dan pH Tanah pada Lahan Sawah Tadah Hujan di Desa Durian Kecamatan Pantai Labu. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(3), 1195–1204.