

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah merupakan sumber daya alam utama yang menopang seluruh sistem produksi pertanian. Dua parameter kimia tanah yang paling menentukan ketersediaan unsur hara dan strategi pengelolaan lahan adalah pH (tingkat keasaman) dan Electrical Conductivity/EC (konduktivitas listrik). Nilai pH mengatur kelarutan unsur hara makro dan mikro; kondisi terlalu asam atau basa menyebabkan unsur hara tidak tersedia meski secara kuantitas mencukupi. Nilai EC mencerminkan tingkat salinitas atau konsentrasi ion terlarut yang mempengaruhi tekanan osmotik, penyerapan air akar, dan pertumbuhan tanaman (Setiawan et al., 2024).

Secara konvensional, pengukuran pH dan EC dilakukan di laboratorium menggunakan pH meter dan konduktometer standar. Metode ini menghasilkan data yang akurat, namun memiliki keterbatasan nyata: waktu pengerjaan relatif lama, biaya analisis yang tidak kecil, serta tidak memungkinkan pemantauan secara cepat dan berulang langsung di lapangan. Dalam pertanian presisi modern, keputusan pengelolaan lahan menuntut data tanah yang tersedia secara real-time, sehingga pendekatan laboratorium konvensional menjadi kurang efisien.

Perkembangan teknologi sensor digital menghadirkan solusi berupa multi sensor RS485, yaitu sensor digital berbasis komunikasi Modbus RTU yang mampu membaca pH, EC, suhu, kelembapan, serta kadar hara nitrogen (N), fosfor

(P), dan kalium (K) secara bersamaan. Sensor ini terhubung ke komputer atau smartphone melalui aplikasi Soil Parameter Detector, sehingga memungkinkan survei tanah di lapangan tanpa proses laboratorium yang kompleks (Arisandi & Nauval, 2025). Selain itu, sensor RS485 memiliki respons pembacaan yang cepat dan konsumsi daya rendah, menjadikannya komponen yang sesuai untuk sistem Internet of Things (IoT) dalam pertanian cerdas (Nugrahni Halawa, 2024).

Namun demikian, akurasi sensor komersial RS485 tidak dapat diasumsikan tanpa verifikasi. Perbedaan hasil pengukuran antara sensor dan instrumen laboratorium dapat bersifat sistematis berupa systematic bias dan gain error yang terstruktur, yang dapat menghasilkan data menyesatkan jika digunakan langsung tanpa koreksi kalibrasi (Lubis, 2021). Terlebih pada parameter EC, respons sensor yang bersifat conductometric sangat rentan mengalami saturasi pada konsentrasi ion tinggi, sehingga kalibrasi dan evaluasi per rentang konsentrasi menjadi sangat penting.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sensor RS485 perlu dikalibrasi secara sistematis menggunakan larutan standar yang telah diketahui nilainya. Kalibrasi dilakukan dengan membangun model matematika regresi linear $Y = a + bX$, di mana X adalah pembacaan sensor dan Y adalah nilai referensi laboratorium. Nilai slope (b) menunjukkan sensitivitas sensor, sedangkan intercept (a) mencerminkan bias sistematis alat. Akurasi model dievaluasi menggunakan tiga indikator statistik yang saling melengkapi: koefisien determinasi (R^2), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan Root Mean Square Error (RMSE) (Muhammad Agung Prabowo et al., 2025; Kurnia, 2022).

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanisasi, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Kristen Artha Wacana (UKAW) Kupang, menggunakan larutan buffer pH standar (4,00; 7,00; 10,00) dan larutan standar EC (84; 1.413; 12.880 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sebagai titik kalibrasi, masing-masing dengan tiga kali pengulangan. Pemilihan tiga titik konsentrasi EC yang berbeda jauh bertujuan untuk menguji kinerja sensor pada rentang luas, dari kondisi tanah tidak salin hingga sangat salin. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan persamaan kalibrasi yang tervalidasi serta rekomendasi operasional yang dapat langsung diterapkan oleh pengguna sensor RS485 di lapangan pertanian, khususnya di wilayah Nusa Tenggara Timur.

1.2. Rumusan Masalah

Multi sensor RS485 memiliki kemampuan mengukur pH dan EC secara cepat di lapangan, namun akurasi pembacaannya terhadap nilai referensi laboratorium belum diverifikasi secara kuantitatif. Tanpa proses kalibrasi dan validasi yang sistematis, data sensor berpotensi mengandung systematic bias, gain error, dan keterbatasan rentang linear yang dapat menyesatkan pengambilan keputusan pengelolaan tanah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar perbedaan hasil pengukuran pH dan EC multi sensor RS485 dibandingkan nilai referensi instrumen laboratorium standar pada setiap titik larutan standar?

2. Bagaimana model kalibrasi regresi linear ($Y = a + bX$) yang menggambarkan hubungan matematis antara nilai pembacaan sensor RS485 (X) dan nilai referensi laboratorium (Y) untuk parameter pH dan EC, serta bagaimana interpretasi nilai slope (b) dan intercept (a) yang dihasilkan?
3. Seberapa akurat kinerja sensor RS485 berdasarkan nilai R^2 , MAPE, dan RMSE setelah kalibrasi, serta pada rentang konsentrasi mana sensor layak digunakan di lapangan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengkuantifikasi perbedaan nilai pembacaan multi sensor RS485 terhadap nilai referensi instrumen laboratorium standar untuk parameter pH dan EC pada setiap titik larutan standar.
2. Membangun model kalibrasi regresi linear ($Y = a + bX$) antara nilai pembacaan sensor RS485 (X) dan nilai referensi laboratorium (Y) untuk parameter pH dan EC, beserta interpretasi nilai slope (b) dan intercept (a) yang dihasilkan.
3. Mengevaluasi tingkat akurasi sensor RS485 secara kuantitatif menggunakan indikator R^2 , MAPE, dan RMSE, serta menginterpretasikan kelayakan sensor berdasarkan kriteria (Helsel et al., 2020) untuk R^2 dan MAPE (Kurnia Informatika et al., 2022a), termasuk identifikasi rentang konsentrasi EC di mana sensor layak digunakan di lapangan.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Manfaat Ilmiah

- Menyediakan data empiris akurasi multi sensor RS485 untuk parameter pH dan EC tanah, yang dapat menjadi referensi penelitian instrumentasi pertanian selanjutnya.
- Menghasilkan persamaan kalibrasi tervalidasi secara statistik (R^2 , MAPE, RMSE) sebagai model koreksi pembacaan sensor sebelum diterapkan dalam sistem pertanian presisi.
- Memperkaya literatur kalibrasi sensor tanah digital di lingkungan tropis, khususnya di wilayah NTT.

b. Manfaat Praktis

- Memberikan panduan berbasis data bagi mahasiswa, peneliti, penyuluh pertanian, dan petani dalam menggunakan sensor RS485 untuk pemantauan kualitas tanah di lapangan.
- Menyediakan rekomendasi rentang operasional optimal sensor RS485: pH dapat digunakan langsung dengan akurasi 99,52%; EC direkomendasikan pada rentang $\leq 2.000 \mu\text{S/cm}$.
- Mendukung pengembangan sistem monitoring tanah berbasis IoT di NTT dengan menyediakan instrumen yang telah terverifikasi akurasi.

c. Manfaat Akademik

- Memperkuat kompetensi mahasiswa Program Studi Mekanisasi Pertanian UKAW dalam bidang instrumentasi, kalibrasi instrumen, dan analisis statistik model prediksi.
- Menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan mengenai kalibrasi sensor non-linear, kompensasi suhu real-time, dan pengujian sensor pada berbagai jenis tanah di NTT.

1.5. Kerangka Pikir

Penelitian ini berangkat dari permasalahan bahwa multi sensor RS485 belum diverifikasi akurasi untuk pengukuran pH dan EC tanah. Hubungan antara pembacaan sensor (X) dan nilai aktual laboratorium (Y) dimodelkan secara matematis melalui regresi linear $Y = a + bX$. Akurasi model dievaluasi menggunakan tiga indikator yang saling melengkapi: R^2 untuk kekuatan hubungan linear, MAPE untuk tingkat kesalahan relatif, dan RMSE untuk besaran kesalahan absolut dengan sensitivitas tinggi terhadap penyimpangan ekstrem.

Alur kerangka pikir penelitian adalah: (1) Persiapan larutan standar pH dan EC serta seluruh peralatan → (2) Pengukuran nilai sensor (X) dan nilai referensi laboratorium (Y) pada setiap titik kalibrasi dengan tiga kali pengulangan → (3) Rekapitulasi 18 pasang data ke dalam tabel → (4) Analisis regresi linear untuk memperoleh persamaan kalibrasi $Y = a + bX$ → (5) Perhitungan R^2 , MAPE, dan RMSE → (6) Interpretasi hasil berdasarkan kriteria (Helsel et al., 2020) → (7) Penarikan kesimpulan dan rekomendasi kelayakan sensor RS485 di lapangan.

Hasil yang diharapkan dari alur ini adalah: (a) persamaan kalibrasi pH yang tervalidasi dengan akurasi sangat tinggi ($R^2 = 0,9996$; MAPE = 0,48%; akurasi 99,52%); (b) persamaan kalibrasi EC dengan identifikasi keterbatasan sensor pada konsentrasi tinggi ($R^2 = 0,9865$; MAPE = 32%; rekomendasi penggunaan $\leq 2.000 \mu\text{S/cm}$); serta (c) perbandingan sistematis kinerja kedua sensor sebagai dasar rekomendasi operasional di lapangan pertanian NTT.