

Pendekatan Regresi Linier dalam Peningkatan Akurasi Pembacaan Sensor TDS pada Sistem Hidroponik

Tomy Pratama Zuhelmi¹, Aniessa Rinny Asnaning², Iskandar Zulkarnain³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Lampung

^{2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa Raya, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35144

¹zoehellmie87@polinela.ac.id

²aniessa.rinny@polinela.ac.id

³iskandar160575@polinela.ac.id

Intisari — Pengukuran *Total Dissolved Solids* (TDS) yang akurat merupakan faktor penting dalam pengelolaan nutrisi pada sistem hidroponik. Ketidakakuratan pembacaan sensor TDS dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi yang berdampak pada pertumbuhan tanaman. Penelitian ini mengusulkan pendekatan regresi linier sebagai metode untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor TDS dalam sistem hidroponik. Dengan memanfaatkan data kalibrasi yang dikumpulkan dari sensor TDS dan membandingkannya dengan hasil pengukuran laboratorium, model regresi linier dikembangkan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi pada sensor. Persamaan regresi yang digunakan adalah $y = 0.9898x + 21,912$, dengan nilai R^2 sebesar 0,9975 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara pembacaan sensor dan nilai TDS aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode regresi linier mampu meningkatkan akurasi sensor TDS, memberikan solusi yang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem pengelolaan nutrisi dalam hidroponik, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.

Kata kunci — Regresi Linier, Sensor TDS, Hidroponik, Akurasi Pengukuran, Nutrisi Tanaman.

Abstract — Accurate measurement of Total Dissolved Solids (TDS) is a critical factor in nutrient management for hydroponic systems. Inaccurate TDS sensor readings can result in nutrient imbalances that negatively affect plant growth. This study proposes a linear regression approach as a method to improve the accuracy of TDS sensor readings in hydroponic systems. By utilizing calibration data collected from the TDS sensor and comparing it with laboratory measurement results, a linear regression model was developed to correct the sensor's errors. The regression equation used is $y=0.9898x+21,912$, with an R^2 value of 0,9975 indicating a very strong relationship between the sensor readings and the actual TDS values. The results of the study demonstrate that the linear regression method significantly enhances the accuracy of the TDS sensor, providing an effective solution to increase the reliability of nutrient management systems in hydroponics, thereby supporting more optimal plant growth.

Keywords— Linear Regression, TDS Sensor, Hydroponics, Measurement Accuracy, Plant Nutrients.

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia pertanian modern, khususnya dalam penerapan teknologi *smart greenhouse*, penggunaan sensor untuk memonitor kondisi lingkungan menjadi kunci utama dalam memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal [1], [2], [3]. Salah satu sensor penting yang digunakan adalah sensor TDS (*Total Dissolved Solids*), yang berfungsi mengukur kadar larutan padat terlarut dalam air irigasi. Sensor ini membantu petani memantau nutrisi yang diberikan kepada tanaman secara tepat, sehingga memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi dalam jumlah yang ideal. Namun, agar sensor TDS dapat memberikan hasil yang akurat dan

dapat diandalkan, proses kalibrasi yang tepat menjadi sangat penting [4], [5]. Kalibrasi sensor TDS bertujuan untuk menyesuaikan pembacaan sensor dengan standar yang diketahui. Tanpa kalibrasi yang tepat, sensor TDS mungkin memberikan data yang melenceng, sehingga keputusan yang diambil berdasarkan data tersebut bisa tidak akurat. Dalam *smart greenhouse*, di mana keputusan berbasis data menjadi dasar otomatisasi sistem irigasi dan pemupukan, kesalahan pada pembacaan sensor bisa berakibat fatal pada produktivitas tanaman. Beberapa penelitian terkait kalibrasi IoT telah dilakukan oleh Okafor pada tahun 2021 untuk kalibrasi sensor pada *on-site* [6]. Selain pada penelitian [7], [8], [9] menyatakan

kalibrasi yang benar dan teratur sangat diperlukan untuk menjaga akurasi dan efektivitas sistem secara keseluruhan

Selain itu, kalibrasi juga memperpanjang usia pakai sensor. Setiap sensor memiliki batasan dalam hal sensitivitas dan keakuratan, yang bisa berubah seiring waktu akibat faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan [10]. Dengan melakukan kalibrasi secara berkala, sensor TDS dapat dikembalikan ke kondisi optimalnya, sehingga mampu bekerja dengan efisien dalam jangka waktu yang lebih lama. Hal ini mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang karena sensor tidak perlu sering diganti. Tidak hanya dari segi teknis, pentingnya kalibrasi sensor TDS juga terkait dengan aspek manajemen risiko. Dalam sistem pertanian modern yang sangat bergantung pada data, ketidakakuratan sensor dapat menyebabkan kegagalan panen atau bahkan kerugian finansial yang signifikan. Misalnya, kesalahan dalam pengukuran kadar nutrisi dapat mengakibatkan tanaman menerima terlalu banyak atau terlalu sedikit nutrisi, yang pada akhirnya memengaruhi hasil panen. Dengan demikian, kalibrasi sensor menjadi bagian integral dari strategi pengelolaan risiko di *smart greenhouse*. Secara keseluruhan, kalibrasi sensor TDS merupakan proses yang krusial dalam penerapan teknologi *smart greenhouse*. Ini bukan hanya masalah memastikan sensor berfungsi dengan baik, tetapi juga berkaitan erat dengan keberlanjutan dan kesuksesan sistem pertanian berbasis teknologi secara keseluruhan. Proses kalibrasi yang tepat dan teratur akan memastikan bahwa data yang dikumpulkan dari sensor TDS dapat diandalkan, sehingga keputusan yang diambil untuk pengelolaan tanaman menjadi lebih akurat dan efektif. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor TDS adalah dengan memanfaatkan metode regresi linier. Metode regresi linier memungkinkan untuk memodelkan hubungan antara nilai referensi yang diketahui dengan pembacaan sensor, sehingga bias atau kesalahan sistematis pada sensor dapat diidentifikasi dan diperbaiki. Pendekatan lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor

TDS adalah dengan menggunakan metode regresi linier. Metode regresi linier memungkinkan untuk membangun model hubungan antara nilai referensi yang diketahui dengan pembacaan sensor, sehingga bias atau kesalahan sistematis pada sensor dapat diidentifikasi dan dikoreksi.

Bagian selanjutnya dari artikel ini akan membahas secara rinci metode kalibrasi yang dikembangkan, meliputi tahapan persiapan, proses pengukuran, hingga analisis hasil menggunakan regresi linear. Selanjutnya, akan diuraikan juga perbandingan hasil kalibrasi dengan metode lain, serta interpretasi formula matematika yang dihasilkan dalam konteks penerapan sensor TDS di *smart greenhouse*. Penjelasan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas teknik kalibrasi yang digunakan dalam penelitian ini.

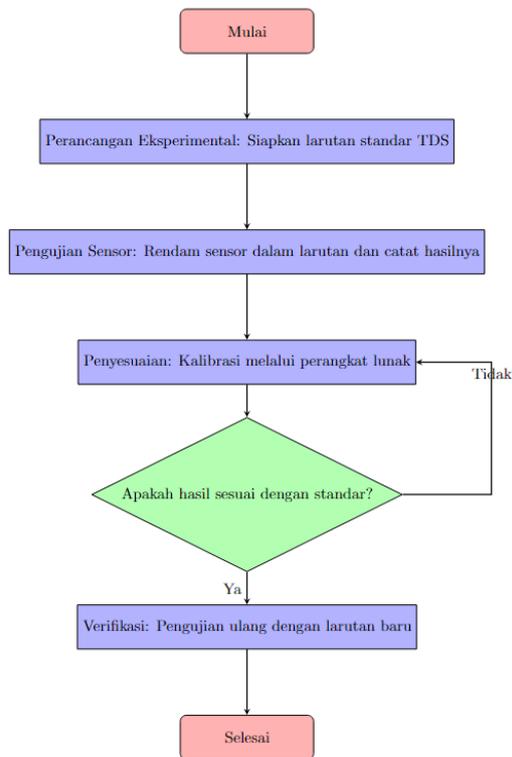
II. METODE

Langkah-langkah dalam proses kalibrasi sensor TDS dalam penelitian ini mengikuti pendekatan metode rekayasa (*engineering*) yang sistematis dan terstruktur. Proses dimulai dengan tahap perancangan eksperimental, di mana larutan standar TDS dengan konsentrasi terukur dipersiapkan sebagai acuan kalibrasi. Konsentrasi ini dipilih berdasarkan rentang operasi yang diharapkan dari sensor TDS dalam aplikasi *smart greenhouse*. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor bekerja secara akurat dalam berbagai skenario penggunaan, dari konsentrasi nutrisi rendah hingga tinggi. Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 1.

A. Perancangan Eksperimental

Tahap ini dimulai dengan input berupa kebutuhan untuk menentukan standar kalibrasi sensor TDS yang akan digunakan di *smart greenhouse*. Input ini mencakup spesifikasi teknis sensor dan kisaran konsentrasi larutan yang akan diukur. Proses pada tahap ini melibatkan pembuatan larutan standar dengan berbagai konsentrasi TDS, yang bertujuan untuk menciptakan acuan yang tepat bagi kalibrasi. Larutan ini

disiapkan dengan mengukur jumlah garam anorganik tertentu dalam air suling. Luaran dari tahap ini adalah larutan standar TDS dengan konsentrasi yang terukur dan siap digunakan sebagai referensi dalam tahap kalibrasi berikutnya.



Gbr 1. Diagram alir penelitian

B. Pengujian Sensor dan Penyesuaian

Setelah larutan standar siap, tahap berikutnya adalah pengujian sensor. Input pada tahap ini adalah larutan standar yang telah dibuat dan sensor TDS yang akan dikalibrasi. Proses melibatkan perendaman sensor dalam larutan standar, diikuti dengan pencatatan hasil pengukuran sensor. Jika hasil yang terbaca oleh sensor tidak sesuai dengan nilai standar, maka dilakukan penyesuaian melalui perangkat lunak untuk mengkalibrasi sensor agar memberikan pembacaan yang lebih akurat. Luaran dari tahap ini adalah sensor yang telah disesuaikan dengan standar kalibrasi, dengan parameter internal yang dioptimalkan untuk memberikan hasil pengukuran yang akurat.

C. Verifikasi dan Validasi

Tahap terakhir adalah verifikasi dan validasi untuk memastikan bahwa kalibrasi sensor tetap akurat dalam berbagai kondisi. Input pada tahap ini adalah sensor yang telah dikalibrasi dan larutan standar baru dengan konsentrasi berbeda yang belum digunakan dalam proses kalibrasi awal. Proses ini melibatkan pengujian ulang sensor dengan larutan baru untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan hasil yang konsisten dan akurat. Hasil yang didapat dari tahap ini adalah konfirmasi bahwa sensor TDS telah dikalibrasi dengan benar dan siap digunakan dalam sistem smart greenhouse untuk pengukuran yang handal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, akan dibahas hasil dari setiap tahap dalam proses kalibrasi sensor TDS yang diterapkan pada sistem *smart greenhouse* pada Gambar 2. Pembahasan dimulai dari hasil perancangan eksperimental, di mana larutan standar TDS dipersiapkan sebagai dasar kalibrasi. Selanjutnya, dibahas hasil pengujian sensor dan penyesuaian parameter untuk mencapai akurasi pengukuran yang optimal. Terakhir, hasil dari verifikasi dan validasi dijelaskan, termasuk bagaimana sensor yang telah dikalibrasi mampu memberikan pembacaan yang konsisten dan akurat dalam berbagai kondisi. Pembahasan ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas metode kalibrasi yang dikembangkan.

A. Hasil Perancangan Eksperimental

Perancangan eksperimental dimulai dengan persiapan larutan standar TDS yang bertujuan untuk mengkalibrasi sensor TDS secara akurat. Larutan ini dibuat dengan menggunakan garam anorganik yang dilarutkan dalam air suling, menghasilkan beberapa tingkat konsentrasi TDS yang berbeda. Konsentrasi yang dipilih meliputi rentang yang biasa digunakan dalam aplikasi smart greenhouse, di mana nutrisi harus dijaga pada tingkat optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Proses ini dirancang untuk menciptakan titik referensi yang akurat, sehingga memungkinkan sensor

TDS memberikan pengukuran yang konsisten dalam berbagai kondisi operasional. Setiap larutan standar diuji untuk memastikan bahwa nilai TDS yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan standar yang diharapkan.



Gbr 2. Lokasi Smart Greenhouse



Gbr 3. Pengambilan sampel dari Smart Greenhouse

Keakuratan dalam proses perancangan eksperimental ini menjadi dasar yang penting untuk memastikan bahwa sensor TDS dapat

dikalibrasi dengan benar. Dengan menggunakan larutan standar yang memiliki konsentrasi yang terverifikasi, penelitian ini dapat menjamin bahwa pembacaan sensor selama proses kalibrasi didasarkan pada nilai-nilai yang dapat dipercaya. Hal ini mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan pada tahap pengujian dan penyesuaian selanjutnya. Sebagai hasil dari perancangan eksperimental ini, diperoleh serangkaian larutan standar dengan konsentrasi TDS yang pasti, yang kemudian digunakan untuk proses kalibrasi sensor.

B. Hasil Pengujian Sensor dan Penyesuaian

Pengujian sensor dimulai dengan merendam sensor TDS ke dalam larutan standar yang telah disiapkan pada tahap perancangan eksperimental pada Gambar 3. Hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan nilai standar dari larutan, dan ditemukan beberapa perbedaan kecil antara pembacaan sensor dan nilai yang seharusnya. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sensor perlu disesuaikan agar dapat memberikan pembacaan yang lebih akurat. Proses penyesuaian dilakukan melalui perangkat lunak kontrol yang memungkinkan perubahan parameter internal sensor. Tujuan utama dari penyesuaian ini adalah untuk menghilangkan deviasi yang terdeteksi selama pengujian awal.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Sebelum Proses Kalibrasi

| Sensor | TDS Pembacaan 1 | TDS Pembacaan 2 | TDS Pembacaan 3 | TDS Pembacaan 4 | TDS Pembacaan 5 | TDS Nilai Rata-rata Sample |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| 100 | 98 | 107 | 111 | 113 | 114 | 108,6 |
| 200 | 197 | 207 | 216 | 212 | 214 | 209,2 |
| 300 | 287 | 311 | 313 | 309 | 297 | 303,4 |
| 400 | 383 | 411 | 405 | 407 | 399 | 401 |
| 500 | 454 | 485 | 498 | 464 | 485 | 477,2 |
| 600 | 568 | 554 | 615 | 535 | 590 | 572,4 |
| 700 | 675 | 678 | 753 | 735 | 703 | 708,8 |
| 800 | 857 | 857 | 813 | 850 | 724 | 820,2 |
| 900 | 969 | 935 | 840 | 853 | 874 | 894,2 |
| 1000 | 1053 | 1040 | 1065 | 1069 | 969 | 1039,2 |

Tabel 1 menampilkan hasil pengujian sensor TDS pada berbagai larutan standar yang disiapkan dalam tahap perancangan eksperimental. Setiap larutan memiliki nilai TDS nominal yang bervariasi dari 100 hingga 1000 ppm. Pengujian sensor dilakukan dengan merendam sensor ke dalam larutan tersebut, di mana setiap sampel diukur sebanyak lima kali untuk memeriksa konsistensi pembacaan. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa terdapat variasi pembacaan pada setiap larutan. Misalnya, pada larutan standar dengan nilai TDS 100 ppm, pembacaan sensor berkisar antara 98 hingga 114 ppm, dengan nilai rata-rata 108,6 ppm. Hal serupa terjadi pada larutan dengan nilai standar lainnya, di mana pembacaan sensor menunjukkan variasi yang cukup signifikan, seperti pada larutan 900 ppm yang menghasilkan rata-rata 894,2 ppm dengan rentang pembacaan antara 840 hingga 969 ppm. Perbedaan ini menunjukkan adanya deviasi antara hasil pengukuran sensor dan nilai standar yang seharusnya. Oleh karena itu, penyesuaian parameter sensor melalui perangkat lunak kontrol menjadi penting untuk menghilangkan deviasi tersebut dan meningkatkan akurasi pengukuran. Tujuan utama dari penyesuaian ini adalah memastikan bahwa pembacaan sensor lebih mendekati nilai nominal yang sebenarnya, sehingga sensor dapat digunakan secara andal dalam aplikasi smart greenhouse.

Setelah dilakukan penyesuaian, sensor kembali diuji dengan menggunakan larutan standar yang sama untuk memverifikasi bahwa perubahan parameter telah meningkatkan akurasi pembacaan. Hasil menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam keakuratan sensor setelah penyesuaian dilakukan. Pembacaan sensor kini lebih mendekati nilai standar, menunjukkan bahwa teknik kalibrasi yang digunakan berhasil memperbaiki deviasi awal. Dengan hasil ini, sensor dianggap telah siap untuk diuji lebih

lanjut pada tahap verifikasi dan validasi. Dalam proses kalibrasi sensor TDS, pencarian fungsi regresi linear menjadi langkah penting untuk menghubungkan pembacaan sensor dengan nilai konsentrasi TDS yang sebenarnya. Fungsi regresi linear digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua variabel, dalam hal ini, pembacaan sensor sebagai variabel independen (x) dan nilai standar TDS sebagai variabel dependen (y). Tujuan dari pencarian fungsi regresi linear adalah untuk menemukan persamaan garis lurus yang paling sesuai dengan data hasil pengukuran, sehingga bisa digunakan untuk mengoreksi pembacaan sensor agar lebih akurat. Proses pencarian fungsi regresi linear dimulai dengan mengumpulkan semua data pengukuran dari tabel hasil pengujian sensor. Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squares method*) untuk mencari parameter linear terbaik, yaitu kemiringan (*slope*) dan titik potong (*intercept*) dari garis regresi. Metode ini menghitung total selisih kuadrat antara nilai yang diukur dan nilai yang diprediksi oleh model, dan mencoba meminimalkan selisih tersebut. Dengan melakukan ini, akan dapat menemukan garis yang paling sesuai dengan distribusi data.

Setelah fungsi regresi linear ditemukan, persamaan garis tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki hasil pembacaan sensor. Misalnya, jika fungsi regresi yang ditemukan memiliki bentuk $y=mx+b$, maka setiap pembacaan sensor (x) dapat dikonversi menjadi nilai TDS yang sebenarnya (y) dengan menggunakan persamaan tersebut. Hasil dari fungsi regresi ini kemudian diverifikasi dengan data pengujian lainnya untuk memastikan bahwa model tersebut benar-benar dapat mengoreksi pembacaan sensor dengan akurat dalam berbagai kondisi operasi di *smart greenhouse* seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Setelah Proses Kalibrasi

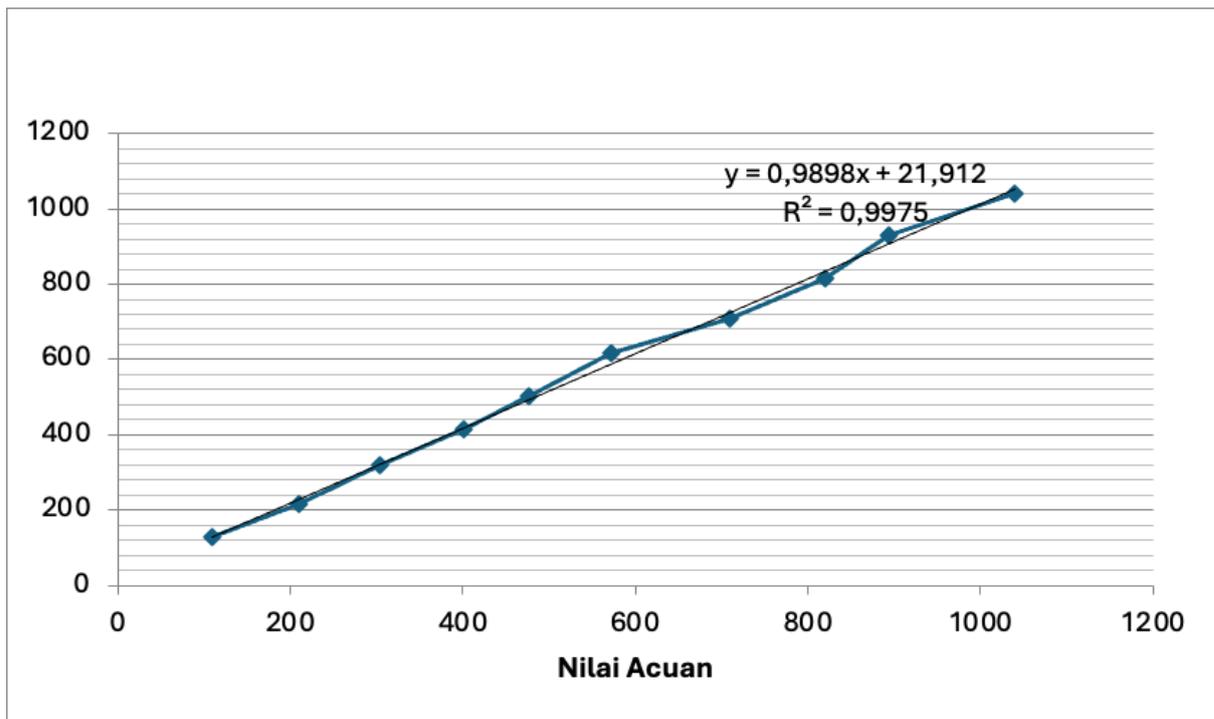
| Nilai Sensor Rata-Rata | Hasil Proses Regresi |
|------------------------|----------------------|
| 108,6 | 129,40428 |
| 209,2 | 228,97816 |
| 303,4 | 322,21732 |
| 401 | 418,8218 |
| 477,2 | 494,24456 |
| 572,4 | 588,47352 |
| 708,8 | 723,48224 |
| 820,2 | 833,74596 |
| 894,2 | 906,99116 |
| 1039,2 | 1050,51216 |

Berdasarkan hasil analisis regresi linear, ditemukan bahwa persamaan regresi untuk kalibrasi sensor TDS adalah $y=0,9898x + 21,912$ dan nilai $R^2 = 0,9975$. Persamaan ini menunjukkan hubungan antara pembacaan sensor (x) dan nilai TDS yang sebenarnya (y). Koefisien kemiringan (*slope*) sebesar 0,9898 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit pada pembacaan sensor hampir setara dengan peningkatan satu unit pada nilai TDS yang sebenarnya, dengan sedikit penyesuaian sebesar 21,912 sebagai nilai konstanta (*intercept*) yang ditunjukkan Gambar 4. Nilai 0,9975 mengindikasikan bahwa model regresi linear ini sangat cocok dengan data yang ada. Dengan kata lain, sekitar 99,75% variasi dalam nilai TDS yang diukur dapat dijelaskan oleh model ini, menunjukkan bahwa hubungan antara pembacaan sensor dan nilai TDS sangat kuat dan akurat.

C. Hasil Verifikasi dan Validasi

Tahap verifikasi dan validasi dilakukan dengan menggunakan larutan standar baru yang memiliki konsentrasi berbeda dari

larutan yang digunakan selama tahap kalibrasi. Pengujian ini dirancang untuk memastikan bahwa sensor tetap memberikan hasil yang akurat, bahkan ketika diuji dengan kondisi yang berbeda dari kalibrasi awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TDS mampu memberikan pembacaan yang konsisten dan sesuai dengan nilai standar dari larutan baru. Hal ini mengindikasikan bahwa kalibrasi yang dilakukan sebelumnya berhasil mempertahankan akurasi sensor di berbagai kondisi operasional. Selain itu, pengujian ulang dilakukan beberapa kali untuk memastikan bahwa sensor dapat berfungsi secara andal dalam jangka panjang. Hasil dari pengujian ulang ini menunjukkan bahwa sensor tetap stabil dan memberikan hasil yang akurat setelah beberapa kali penggunaan. Dengan demikian, proses verifikasi dan validasi memberikan jaminan tambahan bahwa sensor TDS yang dikalibrasi dapat diandalkan untuk penggunaan di *smart greenhouse* dalam jangka waktu yang lebih lama



Gbr 4. Hasil Hasil Pengujian

Keseluruhan hasil verifikasi dan validasi menunjukkan bahwa teknik kalibrasi yang digunakan tidak hanya mampu memperbaiki akurasi sensor pada kondisi awal, tetapi juga dapat mempertahankan akurasi tersebut pada kondisi yang berbeda. Hal ini penting dalam konteks aplikasi *smart greenhouse*, di mana perubahan lingkungan dapat mempengaruhi kinerja sensor. Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa metode kalibrasi yang dikembangkan mampu memberikan solusi yang efektif dan andal untuk pengukuran TDS yang presisi. Dengan adanya hasil-hasil ini, sensor TDS yang telah dikalibrasi diharapkan dapat berkontribusi secara signifikan dalam mengoptimalkan pengelolaan nutrisi dalam *smart greenhouse*. Keandalan sensor ini akan mendukung otomatisasi sistem irigasi dan pemupukan, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman serta efisiensi penggunaan sumber daya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, teknik kalibrasi yang dikembangkan untuk sensor TDS pada *smart greenhouse* terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi pengukuran larutan padat terlarut. Proses kalibrasi

dimulai dengan perancangan eksperimental yang menghasilkan larutan standar sebagai acuan, diikuti oleh pengujian sensor dan penyesuaian parameter untuk mengurangi deviasi hasil pengukuran. Verifikasi dan validasi lebih lanjut menunjukkan bahwa sensor yang telah dikalibrasi mampu memberikan hasil yang konsisten dan akurat dalam berbagai kondisi operasional. Dengan demikian, metode kalibrasi ini dapat diandalkan untuk mendukung sistem otomatisasi di *smart greenhouse*, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian berbasis teknologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi.

REFERENSI

- [1] A. Nursyahid, T. A. Setyawan, K. Sa'diyah, E. D. Wardihani, H. Helmy, and A. Hasan, "Analysis of Deep Water Culture (DWC) hydroponic nutrient solution level control systems," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 1108, no. 1, p. 012032, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1108/1/012032.

- [2] N. Uddin, H. Hermawan, T. M. Darajat, and S. Marwanto, "Internet-based temperature monitoring system for hydroponic," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 922, no. 1, p. 012017, Nov. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/922/1/012017.
- [3] Alimuddin, R. Arafiyah, Y. Maryani, I. Saraswatia, Masjudin, and Mustahal, "Applications of temperature sensor cultivation fish and plant aquaponic with greenhouse for local food innovation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2331, no. 1, p. 060013, Apr. 2021, doi: 10.1063/5.0042469.
- [4] R. P. Wirman, I. Wardhana, and V. A. Isnaini, "Kajian Tingkat Akurasi Sensor pada Rancang Bangun Alat Ukur Total Dissolved Solids (TDS) dan Tingkat Kekeruhan Air," *J. Fis.*, vol. 9, no. 1, Art. no. 1, May 2019, doi: 10.15294/jf.v9i1.17056.
- [5] M. Benzaouia, B. Hajji, A. Mellit, and A. Rabhi, "Fuzzy-IoT smart irrigation system for precision scheduling and monitoring," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 215, p. 108407, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.compag.2023.108407.
- [6] N. U. Okafor and D. T. Delaney, "Missing Data Imputation on IoT Sensor Networks: Implications for on-Site Sensor Calibration," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 20, pp. 22833–22845, Oct. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3105442.
- [7] P. Ferrer-Cid, J. M. Barcelo-Ordinas, J. Garcia-Vidal, A. Ripoll, and M. Viana, "Multisensor Data Fusion Calibration in IoT Air Pollution Platforms," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 4, pp. 3124–3132, Apr. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2965283.
- [8] N. Manakova and A. Vergeles, "Calibration of Low-Cost IoT Sensors in Streams," in *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Aug. 2020, pp. 449–454. doi: 10.1109/DSMP47368.2020.9204317.
- [9] L. F. Mulling, C. Lindino, and M. S. Oyamada, "Calibration of a metal oxide sensor for ammonia detection targeting IoT solutions," in *2023 XIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, Nov. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/SBESC60926.2023.10324290.
- [10] A. B. Jambek, L. C. Wenn, and U. Hashim, "Design and analysis of a localised environment monitoring sensor system," in *2012 10th IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*, Sep. 2012, pp. 324–327. doi: 10.1109/SMElec.2012.6417151.