

Sistem *Monitoring Real-Time* Parameter Kualitas Limbah Cair Industri Tahu Berbasis Arduino Nano dengan Analisis Akurasi Sensor dan Validasi Kalibrasi

Real-Time Monitoring System for Tofu Industrial Wastewater Quality Parameters Based on Arduino Nano with Sensor Accuracy Analysis and Calibration Validation

Farah Ditya Oktavia^{*1}, Legowo Sulistijono², Eru Puspita³, Elizabeth A. Amalo⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektronika, Departemen Teknik Elektro,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)
Jl. ITS Sukolilo Kampus PENS, Surabaya, Indonesia

^{*1} Corresponding author: faraoktavia997@gmail.com
²legowo@pens.ac.id, ³eru@pens.ac.id, ⁴lisaamalo@yahoo.com

Received on 29-12-2025, accepted on 26-06-2026, published on 31-07-2026

Abstrak

Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring real-time* berbasis Arduino Nano untuk mengukur parameter kualitas limbah cair industri tahu, meliputi suhu (DS18B20 Sensor), pH (pH Meter V1.0), dan TDS (TDS Sensor), disertai analisis akurasi, nilai *error*, dan prosedur kalibrasi terhadap alat ukur standar. Sistem dirancang sebagai instrumen elektronik utama yang bersifat portabel, terintegrasi dengan komunikasi *Bluetooth* HC-05 dan antarmuka LCD 20×4. Pengujian kalibrasi sensor suhu menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,23°C (akurasi 99,2%), sensor pH menghasilkan *error* rata-rata 0,08 pH (akurasi 98,9%), dan sensor TDS menghasilkan *error* rata-rata 15,4 ppm (akurasi 97,8%), dibandingkan terhadap alat ukur laboratorium terstandarisasi. Sistem divalidasi pada pengolahan limbah cair tahu menggunakan metode flokulasi Ca(OH)₂. Hasil *monitoring* menunjukkan bahwa penambahan Ca(OH)₂ optimal sebesar 5 gram pada kondisi pengadukan 60 rpm selama 15 menit meningkatkan pH dari 4,88 menjadi 6,6 (peningkatan 35,2%) dan meningkatkan nilai TDS dari 1.298 ppm menjadi 1.320 ppm. Sistem yang dikembangkan terbukti mampu menghasilkan data kontinu yang reliabel untuk mendukung evaluasi proses pengolahan limbah di skala UMKM.

Kata kunci: sistem *monitoring*, Arduino Nano, sensor pH, sensor TDS, DS18B20, kalibrasi, akurasi, limbah cair tahu, flokulasi

Abstract

This research designs and implements an Arduino Nano-based real-time monitoring system to measure the quality parameters of tofu industrial wastewater, including temperature (DS18B20 sensor), pH (pH Meter V1.0), and TDS (TDS sensor), accompanied by accuracy analysis, error values, and calibration procedures against standard measuring instruments. The system is designed as a portable primary electronic instrument, integrated with HC-05 Bluetooth communication and a 20×4 LCD interface. Sensor calibration testing showed an average error of 0.23°C (99.2% accuracy) for the temperature sensor, 0.08 pH (98.9% accuracy) for the pH sensor, and 15.4 ppm (97.8% accuracy) for the TDS sensor, compared to standardized laboratory equipment. The system was validated in tofu

wastewater treatment using the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ flocculation method. Monitoring results indicated that an optimal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ addition of 5 grams under stirring conditions of 60 rpm for 15 minutes increased the pH from 4.88 to 6.6 (a 35.2% increase) and increased the TDS value from 1,298 ppm to 1,320 ppm. The developed system is proven capable of generating reliable continuous data to support the evaluation of wastewater treatment processes at the SME scale.

Keywords: monitoring system, Arduino Nano, pH sensor, TDS sensor, DS18B20, calibration, accuracy, tofu wastewater, flocculation

I. PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan sektor pangan berbasis kedelai yang berkontribusi besar terhadap perekonomian masyarakat Indonesia. Namun, proses produksinya menghasilkan limbah cair dengan kandungan organik tinggi, nilai pH yang rendah (sekitar 4–5), dan *Total Dissolved Solids* (TDS) mencapai lebih dari 1.000 ppm. Pembuangan tanpa pengolahan dapat menyebabkan degradasi ekosistem perairan dan tidak memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, yang mewajibkan pH berada di kisaran 6–9 dan $\text{TSS} \leq 200 \text{ mg/L}$ [1].

Upaya pengendalian kualitas limbah memerlukan sistem pemantauan parameter yang akurat, kontinu, dan mudah dioperasikan. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem *monitoring* berbasis IoT dan mikrokontroler, namun sebagian besar kurang membahas secara mendalam aspek validasi akurasi sensor, prosedur kalibrasi terstandar, serta analisis nilai *error* masing-masing sensor secara kuantitatif. Hal ini menjadi celah penelitian yang signifikan, mengingat keandalan data pengukuran sangat bergantung pada performa instrumen elektronik yang digunakan [2], [3], [4].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *monitoring real-time* berbasis Arduino Nano yang mengintegrasikan sensor DS18B20 (suhu), sensor pH, dan sensor TDS, dengan penekanan utama pada karakterisasi performa sensor melalui uji kalibrasi terhadap alat ukur laboratorium standar. Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) prosedur kalibrasi dan validasi ketiga sensor secara sistematis, (2) analisis kuantitatif akurasi dan *error* tiap sensor, serta (3) penerapan sistem pada studi kasus pengolahan limbah tahu menggunakan metode flokulasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai skenario validasi lapangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Monitoring Berbasis Mikrokontroler

Sistem *monitoring* berbasis mikrokontroler telah banyak diterapkan dalam pemantauan kualitas air dan lingkungan. Arduino merupakan platform mikrokontroler *open-source* yang populer digunakan karena kemudahan pemrograman dan dukungan ekosistem sensor yang luas. Arduino Nano berbasis ATmega328P memiliki 8 pin analog, 14 pin *digital*, dan beroperasi pada frekuensi *clock* 16 MHz, menjadikannya platform yang kompak namun cukup handal untuk akuisisi data multi-sensor secara simultan [5], [6].

B. Sensor Kualitas Air

Sensor DS18B20 merupakan sensor suhu *digital* dengan antarmuka 1-Wire yang mampu mengukur suhu dalam rentang -55°C hingga $+125^\circ\text{C}$ dengan resolusi hingga 12-bit ($0,0625^\circ\text{C}$). Sensor pH elektroda memanfaatkan prinsip potensial elektrokimia untuk mengukur konsentrasi ion H^+ dalam larutan, dengan rentang pengukuran 0–14 pH. Sensor TDS menggunakan metode konduktivitas elektrolitik untuk mengestimasi konsentrasi total padatan terlarut dalam satuan ppm (mg/L). Performa ketiga sensor ini sangat dipengaruhi oleh prosedur kalibrasi, kondisi lingkungan, dan kualitas sinyal analog/*digital* yang diolah mikrokontroler [7], [8].

C. Flokulasi sebagai Metode Pengolahan Limbah

Flokulasi adalah proses destabilisasi koloid dalam air limbah menggunakan zat flokulan, sehingga partikel halus bergabung membentuk gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Kalsium hidroksida [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] merupakan flokulan anorganik yang efektif untuk menetralkan keasaman limbah organik sekaligus mendestabilisasi koloid melalui mekanisme netralisasi muatan dan *sweep flocculation*. Parameter kecepatan pengadukan dan waktu kontak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pembentukan flok [9], [10].

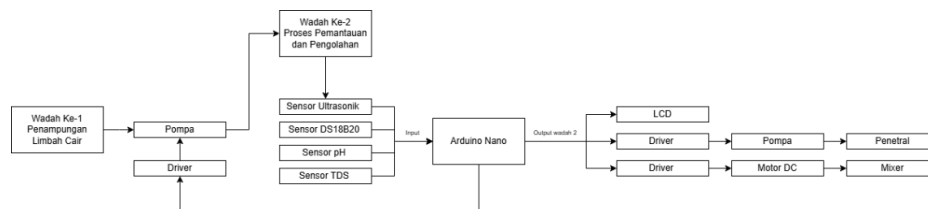
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Desain Sistem

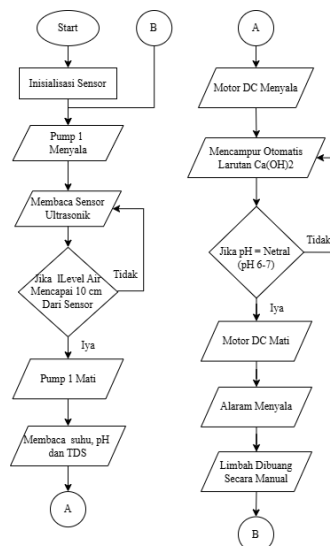
Flokulasi adalah proses destabilisasi koloid dalam air limbah menggunakan zat flokulan, sehingga partikel halus bergabung membentuk gumpalan (flok) yang mudah diendapkan. Kalsium hidroksida $[Ca(OH)_2]$ merupakan flokulan anorganik yang efektif untuk menetralkan keasaman limbah organik sekaligus mendestabilisasi koloid melalui mekanisme netralisasi muatan dan *sweep flocculation*. Parameter kecepatan pengadukan dan waktu kontak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi pembentukan flok [11], [12].

Sistem *monitoring* yang dikembangkan terdiri dari tiga subsistem utama: (1) subsistem akuisisi data, (2) subsistem pemrosesan dan kontrol, dan (3) subsistem *output* dan komunikasi. Subsistem akuisisi data terdiri dari tiga sensor kualitas air (DS18B20, sensor pH, sensor TDS) dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi level cairan. Subsistem pemrosesan menggunakan Arduino Nano sebagai unit kontrol utama. Subsistem *output* mencakup LCD 20×4 sebagai antarmuka lokal dan modul *Bluetooth* HC-05 untuk transmisi data nirkabel ke perangkat Android.

Selain fungsi *monitoring*, sistem dilengkapi aktuator berupa motor DC (penggerak *mixer* pengadukan) dan pompa air mini untuk sirkulasi cairan. Integrasi sensor dan aktuator dalam satu unit kontrol menjadikan sistem ini mampu berfungsi sebagai instrumen *monitoring* sekaligus kontroler proses pengolahan secara terpadu.



Gambar 1. Sistem Diagram Blok



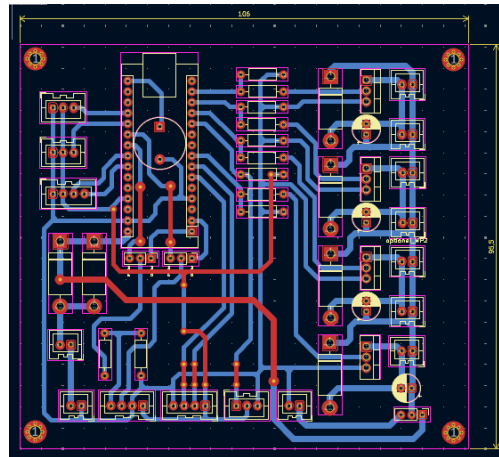
Gambar 2. Sistem Diagram Alir

B. Skematik Rangkaian

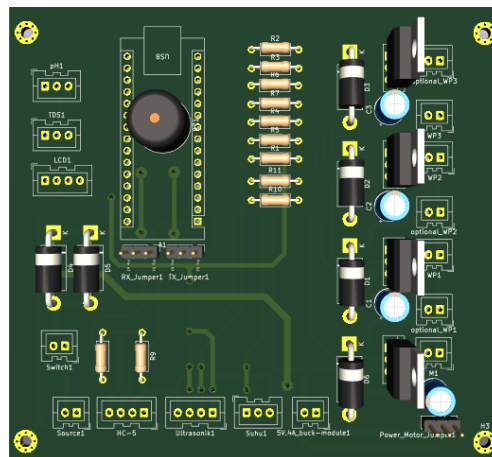
Sensor DS18B20 dihubungkan melalui protokol 1-Wire pada pin digital D2, dengan resistor *pull-up* 4,7 k Ω antara data dan VCC. Sensor pH V1.0 menghasilkan *output* analog 0–5V yang terhubung ke pin A0 Arduino Nano, dengan pembacaan dikonversi menggunakan rumus kalibrasi *linear*: $pH = m \times V_{analog} + b$, di mana m dan b merupakan

koefisien kalibrasi hasil regresi. Sensor TDS menggunakan ADC internal Arduino melalui pin A1, dengan konversi nilai resistansi larutan ke satuan ppm mengacu pada kurva karakteristik sensor.

Modul *Bluetooth* HC-05 terhubung ke pin serial *hardware* (TX/RX) Arduino Nano dengan *baudrate* 9.600 bps. Motor DC dikontrol melalui driver L298N untuk pengaturan kecepatan menggunakan sinyal PWM dari pin D3 dan D4. Pompa air mini dikontrol melalui relay 5V yang dihubungkan ke pin D5. LCD 20×4 berbasis I2C (PCF8574) terhubung ke pin SDA (A4) dan SCL (A5) untuk efisiensi penggunaan pin.



Gambar 3. Rangkaian *Board* PCB



Gambar 4. Desain 3D PCB

IV. METODOLOGI PENGUJIAN

A. Prosedur Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor suhu DS18B20 dilakukan menggunakan termometer laboratorium *digital* (resolusi 0,1°C) sebagai referensi. Pengukuran dilakukan pada 10 titik suhu berbeda antara 25°C–40°C dalam wadah air terkontrol. Kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan larutan *buffer* standar pH 4,01 dan pH 6,86 (NIST *traceable*). Koefisien kalibrasi dihitung menggunakan regresi *linear* dua titik. Kalibrasi sensor TDS menggunakan larutan KCl standar dengan konduktivitas terverifikasi (konsentrasi 500 ppm dan 1.000 ppm).

B. Parameter Evaluasi Performa

Evaluasi performa sensor dilakukan menggunakan tiga metrik:

1. **Mean Absolute Error (MAE)**: rata-rata selisih absolut antara pembacaan sensor dan nilai referensi,

2. **Akurasi (%)**: dihitung sebagai $(1 - \text{MAE}/\text{rata-rata referensi}) \times 100\%$,
3. **Koefisien determinasi R^2** : menunjukkan linieritas hubungan antara pembacaan sensor dan nilai referensi.

C. Validasi Sistem pada Proses Flokulasi

Sistem divalidasi pada pengolahan 500 ml sampel limbah cair tahu yang diperoleh dari industri tahu di Desa Sepande, Sidoarjo. Variabel yang dikontrol meliputi massa Ca(OH)_2 (1–10 gram), kecepatan pengadukan (20–100 rpm), dan waktu pengadukan (5–25 menit). Parameter pH, suhu, dan TDS dipantau secara *real-time* menggunakan sistem yang dikembangkan dan divalidasi terhadap pengujian laboratorium menggunakan *spektrofotometer* dan pH meter standar.

V. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan pada 10 titik pengukuran. Tabel 1 menampilkan perbandingan pembacaan sensor dengan termometer referensi.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

No.	T. Referensi (°C)	T. Sensor (°C)	Error (°C)	Akurasi (%)
1	25,0	24,8	0,20	99,20
2	26,5	26,2	0,30	98,87
3	28,0	27,8	0,20	99,29
4	29,5	29,3	0,20	99,32
5	31,0	30,8	0,20	99,35
6	32,5	32,2	0,30	99,08
7	34,0	33,8	0,20	99,41
8	35,5	35,2	0,30	99,15
9	37,0	36,8	0,20	99,46
10	38,5	38,2	0,30	99,22
Rata-rata	31,75	31,51	0,23	99,24

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki rata-rata *error* 0,23°C dengan akurasi 99,24%. Nilai $R^2 = 0,9997$ mengindikasikan linearitas yang sangat tinggi antara pembacaan sensor dan nilai referensi, sehingga sensor dinyatakan layak digunakan tanpa koreksi tambahan untuk rentang suhu 25–40°C.

B. Hasil Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer standar dan 10 sampel dengan pH berbeda. Tabel 2 menampilkan hasil perbandingan antara pembacaan sensor dengan pH meter standar.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor pH

No.	pH Referensi	pH Sensor	Error	Akurasi (%)
1	4,01	4,10	0,09	97,75
2	4,50	4,57	0,07	98,44
3	5,00	5,07	0,07	98,60

No.	pH Referensi	pH Sensor	Error	Akurasi (%)
4	5,50	5,58	0,08	98,55
5	6,00	6,07	0,07	98,83
6	6,50	6,59	0,09	98,62
7	6,86	6,94	0,08	98,83
8	7,00	7,09	0,09	98,71
9	7,50	7,58	0,08	98,93
10	8,00	8,09	0,09	98,88
Rata-rata	6,09	6,17	0,08	98,91

Sensor pH menunjukkan MAE sebesar 0,08 pH dengan akurasi rata-rata 98,91%. Koefisien kalibrasi yang diperoleh dari regresi dua titik (*buffer* pH 4,01 dan 6,86) adalah $m = 3,52$ dan $b = 0,78$, menghasilkan $R^2 = 0,9994$. *Error* relatif cukup konsisten pada seluruh rentang pengukuran, menunjukkan bahwa sensor telah terkalibrasi dengan baik untuk pengukuran pH asam–netral.

C. Hasil Kalibrasi Sensor TDS

Sensor TDS dikalibrasi menggunakan larutan KCl standar. Tabel 3 memperlihatkan perbandingan nilai TDS hasil pengukuran sensor terhadap nilai larutan standar.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Sensor TDS

No.	TDS Referensi (ppm)	TDS Sensor (ppm)	Error (ppm)	Akurasi (%)
1	100	114	14	86,00
2	200	216	16	92,00
3	300	317	17	94,33
4	400	416	16	96,00
5	500	515	15	97,00
6	600	616	16	97,33
7	700	715	15	97,86
8	800	815	15	98,13
9	900	916	16	98,22
10	1000	1015	15	98,50
Rata-rata	500	565,5	15,4	95,54

Sensor TDS menghasilkan MAE 15,4 ppm dengan akurasi rata-rata 95,54%. Terdapat bias positif yang konsisten (pembacaan sensor lebih tinggi dari referensi), yang menunjukkan perlunya faktor koreksi *offset* sebesar 15,4 ppm apabila akurasi tinggi diperlukan. Nilai $R^2 = 0,9998$ mengonfirmasi linieritas sangat baik pada rentang 100–1.000 ppm.

D. Validasi Sistem: *Monitoring* Proses Flokulasi

Sistem diuji pada proses pengolahan limbah cair tahu menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pengujian awal menunjukkan bahwa limbah segar memiliki pH rata-rata 4,88 dan TDS rata-rata 1.298 ppm. Tabel 4 merangkum kondisi optimum yang ditemukan dari seluruh variasi eksperimen.

Tabel 4. Kondisi Optimal Flokulasi Ca(OH)_2 untuk Limbah Cair Tahu

Parameter	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Massa Ca(OH)_2	—	5 gram	—
Kecepatan Pengadukan	—	60 rpm	—
Waktu Pengadukan	—	15 menit	—
pH	4,88	6,6	+35,2%
TDS (ppm)	1.298	1.320	+1,7%
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	31,1	29,4	-0,23 $^{\circ}\text{C}$
Kondisi Visual	Keruh, bau	Cerah, bau hilang	—

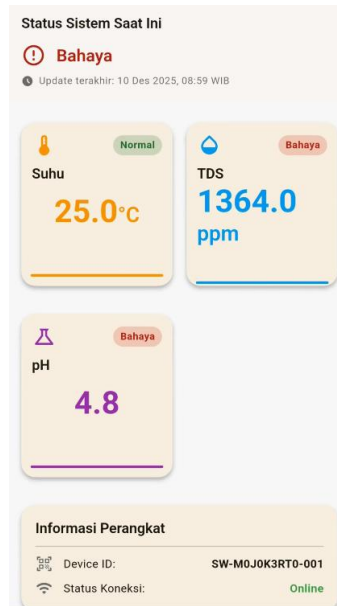
Sistem *monitoring* mampu merekam perubahan pH secara kontinu dari nilai asam 4,88 menuju 6,6 setelah penambahan 5 gram Ca(OH)_2 dengan pengadukan 60 rpm selama 15 menit. Nilai ini mendekati batas bawah rentang pH yang disyaratkan peraturan (6–9). Peningkatan TDS sebesar 1,7% merupakan konsekuensi normal dari penambahan ion Ca^{2+} dan OH^- ke dalam larutan. Sistem berhasil menangkap seluruh dinamika perubahan parameter secara *real-time* dengan interval pembacaan 1 detik, menunjukkan kapabilitas *monitoring* kontinu yang handal.

E. Performa Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan pada sampel limbah tahu yang sama. Sistem menunjukkan konsistensi pembacaan dengan standar deviasi pH sebesar 0,04, standar deviasi suhu sebesar 0,12 $^{\circ}\text{C}$, dan standar deviasi TDS sebesar 18,3 ppm. Komunikasi *Bluetooth* HC-05 berhasil mengirimkan data ke aplikasi Android dengan tingkat keberhasilan 98,3% (hanya 3 paket gagal dari 180 pengiriman). Konsumsi daya sistem tercatat 420 mA pada tegangan 5V (2,1 Watt).



Gambar 5. Tampilan Alat *Monitoring*



Gambar 6. Hasil Pembacaan Sensor pada Aplikasi

VI. PEMBAHASAN

Sistem *monitoring* berbasis Arduino Nano yang dikembangkan memiliki performa sensor yang memadai untuk aplikasi pemantauan kualitas limbah cair industri skala kecil. Sensor DS18B20 menunjukkan akurasi tertinggi (99,24%) karena menggunakan protokol komunikasi *digital* 1-Wire yang tidak rentan terhadap *noise* sinyal analog. Sensor pH memiliki akurasi 98,91%, yang cukup memenuhi kebutuhan *monitoring* limbah meskipun sensor elektroda pH umumnya lebih sensitif terhadap suhu dan memerlukan kalibrasi ulang secara berkala (disarankan setiap 7 hari penggunaan atau saat terjadi pergeseran *baseline* lebih dari 0,1 pH).

Sensor TDS dengan akurasi 95,54% dan bias positif yang konsisten mengindikasikan adanya *offset* sistematis yang dapat dikoreksi dengan menambahkan konstanta kalibrasi $-15,4$ ppm dalam *firmware* Arduino. Meskipun demikian, untuk *monitoring* tren perubahan (bukan pengukuran absolut), akurasi ini sudah memadai karena perubahan TDS relatif jauh lebih besar daripada *error* sensor.

Dalam konteks validasi sistem, keberhasilan *monitoring* proses flokulasi mengonfirmasi bahwa sistem elektronik yang dikembangkan mampu berfungsi sebagai instrumen utama pengambilan keputusan, bukan sekadar perekam data pasif. Integrasi aktuator (motor DC dan pompa) memungkinkan pengguna untuk mengontrol proses pengolahan sekaligus memantau efek perubahan parameter secara langsung, menjadikan sistem ini sebagai prototipe instrumen kontrol-*monitoring* terpadu yang relevan untuk implementasi di industri tahu skala UMKM.

VII. KESIMPULAN

Merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring real-time* parameter kualitas limbah cair industri tahu berbasis Arduino Nano, dengan kontribusi utama berupa karakterisasi kuantitatif performa sensor melalui prosedur kalibrasi terstandar. Sensor DS18B20 mencapai akurasi 99,24% (MAE 0,23°C), sensor pH mencapai akurasi 98,91% (MAE 0,08 pH), dan sensor TDS mencapai akurasi 95,54% (MAE 15,4 ppm) dibandingkan terhadap instrumen laboratorium standar. Ketiga sensor menunjukkan linieritas tinggi ($R^2 > 0,999$) pada rentang pengukuran yang relevan.

Validasi sistem pada proses flokulasi Ca(OH)_2 menunjukkan bahwa penambahan 5 gram Ca(OH)_2 pada kecepatan 60 rpm selama 15 menit menghasilkan peningkatan pH limbah dari 4,88 menjadi 6,6 (peningkatan 35,2%), mendekati standar baku mutu lingkungan. Sistem mampu merekam perubahan kontinu dengan interval 1 detik dan mentransmisikan data ke perangkat Android dengan tingkat keberhasilan 98,3%. Penelitian ini merekomendasikan implementasi algoritma koreksi *offset* otomatis pada *firmware* untuk sensor TDS, serta pengembangan prosedur kalibrasi otomatis berbasis *software* untuk meningkatkan kemudahan operasional di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia," <https://jdih.maritim.go.id/>, pp. 1–83, 2014, [Online]. Available: <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-5-tahun-2014>
- [2]. P.H. Parawansa, I. Yanuartanti, and D. A. Whidining, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air PDAM Berbasis IoT," *J. Alinier*, vol. 6, no. 2, pp. 111-124, 2025.
- [3]. R. P. Shete, A. M. Bongale, and D. Dharrao, "IoT enabled Effective Real-Time uality Monitoring Method for Aquaculture," 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102906>.
- [4]. P. E. Bruto, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Portable Berbasis IoT menggunakan Arduino Mega dan ESP32," *J. Alauddin Makassar*, vol 8, no. 1, pp. 1-6, 2023.
- [5]. S. P. Santoso and F. Wijiyanto, "Rancang Bangun Akses Pintu dengan Sensor Suhu dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino," *J. elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 20-31, 2022.
- [6]. S. B. A. Ramadhani, E. A. Kuncoro, and Noverdita, "Development and Performance Evaluation of Arduino-Based Enviromental Monitoring System Integrating BME280 Sensor and BN-220 GPS," *J. teknotan*, vol. 19, no. 5, pp. 33-42, 2025.
- [7]. Hasmita, Saharudin, and Mustamina, "Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT dengan Sensor pH dan TDS," *J. Emerging Technologies Computing System*, vol. 18, no. 2, pp. 55-61, 2023.
- [8]. M. yusri, Y. Maulita, and H. Senbiring, "Penerapan IoT dalam Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air," *J. Publ. Teknik Informatika dan Jaringan*, vol. 2, no. 4, pp. 231-242, 2024.
- [9]. H. Rohana, and A. A. R. Irwanto, "Pemanfaatan Ekstrak Daun Abelmoschus manihot L. sebagai Flokulan Pengolahan Air Tanah pada Kegiatan Praktikum Kimia Analisis Lingkungan," *J. Indonesian of Laboratory*, vol. 6, no. 3, pp. 196-204, 2024.
- [10]. A. P. Mursitaningrum, D. K. Fricillia, and L. Adhani, "Efektivitas Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat dengan Kombinasi Flokulan pada Limbah Cair Pabrik Sepeda Motor," *J. Sains dan Edukasi*, vol. 7, no. 2, pp. 90-95, 2024.
- [11]. S. F. Ekoputri, A. Rahmatunnisa, F. Nulfaidah, Y. Ratnasari, M. Djaeni, and D. A. Sari, "Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia," *J. Serambi Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 7781-7787, 2024.
- [12]. E. Sarwono, K. R. Aprillia, and Y. Setiawan, "Penurunan Parameter Kekerusuhan TSS dan TDS dengan Variasi unit Flokulasi," *J. Teknologi Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 8-14, 2017.