

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

Rahmat Ersya Ramadhan¹, Ika K. L. N. Suciningtyas², Abdullah Sani³, Yusiran⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika,

Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Batam, Batam

¹rahmatersyar@gmail.com, ²ikakarlina@polibatam.ac.id, ³sani@polibatam.ac.id,

⁴Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi,

Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Batam, Batam

yusiran@polibatam.ac.id

Abstrak

Nickel plating adalah metode penting untuk meningkatkan ketahanan korosi dan performa produk, terutama dalam pembuatan lampu medis di PT XYZ. Masalah utama dalam proses ini adalah menjaga kestabilan pH larutan, yang sebelumnya dipantau secara manual dan rentan terhadap fluktuasi yang ekstrem. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini membuat dan mengimplementasikan analisis pH level serta alat monitoring pH *real-time* yang merekam data secara kontinu, memberikan alarm saat pH keluar dari rentang spesifikasi, dan menampilkan data historis melalui antarmuka web. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata *error* kurang dari 2% dan peningkatan efisiensi waktu sebesar 93.75% dibandingkan metode manual. Hasil analisis *Pearson correlation* menunjukkan tidak ada hubungan signifikan antara waktu dan pH. Analisis *I-MR chart* pada empat *tank* mengungkapkan variasi stabilitas pH, dengan *tank* 10C menunjukkan performa terbaik, sementara *tank* 10B memerlukan perhatian khusus akibat ketidakstabilan tinggi.

Kata kunci: *nickel plating*, pH, IoT, *Pearson correlation*, *I-MR chart*

Abstract

Nickel plating is an important method to improve corrosion resistance and product performance, especially in the manufacturing of medical lamps at PT XYZ. The main problem in this process is maintaining the pH stability of the solution, which was previously monitored manually and prone to extreme fluctuations. To solve this problem, this research created and implemented a pH level analysis and real-time pH monitoring tool that records data continuously, gives an alarm when the pH goes out of the specification range, and displays historical data through a web interface. Test results show high accuracy with an average error of less than 2% and an increase in time efficiency of 93.75% compared to the manual method. Pearson correlation analysis showed no significant relationship between time and pH. I-MR chart analysis of the four tanks revealed variations in pH stability, with tank 10C performing best, while tank 10B required special attention due to high instability.

Keywords: *nickel plating*, pH, IoT, *Pearson correlation*, *I-MR chart*

1. Pendahuluan

Dalam lima tahun terakhir, industri manufaktur mengalami kemajuan pesat. Perkembangan ini mencakup inovasi di bidang material, otomasi, dan efisiensi proses. Pada bidang material, penggunaan bahan-bahan mutakhir seperti komposit berbasis nikel telah berhasil meningkatkan kualitas produk. Studi terkini menunjukkan keunggulan *graphene oxide* dalam meningkatkan ketahanan lapisan nikel [1]. Selain itu, optimalisasi metode elektrodeposisi berperan penting dalam menghasilkan lapisan nikel berkekuatan tinggi untuk berbagai kebutuhan industri [2].

Nickel plating merupakan metode pelapisan logam yang banyak dipakai untuk meningkatkan kualitas produk. Teknik ini menambahkan lapisan nikel tipis pada permukaan benda, sehingga meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan permukaan, dan tampilan. Dalam industri modern, proses ini penting karena memperpanjang masa pakai produk dan memungkinkan penggunaan material yang lebih ringan tanpa mengurangi kinerja [3]. *Nickel plating* digunakan luas di berbagai sektor, termasuk otomotif, kedirgantaraan, dan peralatan medis, untuk menjamin keandalan komponen penting [4]. Sebagai contoh, salah satu perusahaan di Batam, yaitu PT. XYZ, telah memanfaatkan *nickel plating* dalam produksi lampunya yang digunakan dalam aplikasi medis seperti endoskopi dan operasi robotik.

PT. XYZ sendiri berfokus pada produksi perangkat pencahayaan dan deteksi, dengan salah satu produk utamanya berupa lampu medis yang digunakan untuk operasi. Proses *nickel plating* menjadi kunci dalam meningkatkan ketahanan dan performa lampu ini. PT. XYZ menggunakan formula khusus berbasis larutan *Watts* yang terbukti efektif menghasilkan lapisan nikel berkualitas tinggi dan merata. Pengaturan pH larutan sangat penting dalam proses ini, karena berpengaruh langsung terhadap mutu lapisan nikel [5][6]. Karena itu, pemeliharaan pH yang tepat sangat diperlukan untuk mencegah *defect* yang dapat mempengaruhi kinerja lampu yang diproduksi [7].

PT. XYZ menghadapi masalah dalam memantau pH pada proses *nickel plating* karena pengukuran masih dilakukan secara manual di awal *shift* dan sebelum *running*. Pendekatan ini berisiko menyebabkan fluktuasi pH yang tidak terdeteksi, menurunkan kualitas produk, dan mengganggu stabilitas proses produksi. Selain itu, metode manual membatasi kemampuan untuk mendeteksi dan menangani masalah dengan cepat, yang berdampak negatif pada efisiensi produksi. Untuk mengatasi masalah tersebut, diusulkan penerapan sistem pemantauan otomatis berbasis IoT yang memungkinkan pengawasan pH secara kontinu dan pengumpulan data *real-time*. Solusi ini mendukung pengelolaan proses yang lebih proaktif dan menjamin konsistensi mutu produk.

Arsitektur *Internet of Things* (IoT) umumnya terdiri dari tiga *layer* utama yang saling terkait. *Perception layer* berperan mengumpulkan data melalui berbagai sensor, termasuk sensor pH yang memberikan pengukuran *real-time*, menjamin akurasi data sebagai dasar analisis. *Network layer* memungkinkan pengiriman data dari sensor ke sistem pusat untuk pengolahan dan analisis, biasanya menggunakan teknologi komunikasi nirkabel. *Application layer* berfungsi menginterpretasikan dan menyajikan data dalam format yang mudah dipahami, memungkinkan pengelola membuat keputusan berdasarkan informasi dari data *real-time*. Ketiga *layer* ini bekerja bersama untuk menciptakan sistem IoT yang efektif dalam pemantauan dan pengelolaan proses [8][9].

Sebagai solusi dari permasalahan yang ada, telah dibuat prototipe alat pemantauan pH otomatis yang telah dipasang di *nickel plating bath* PT. XYZ. Alat ini didesain untuk

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

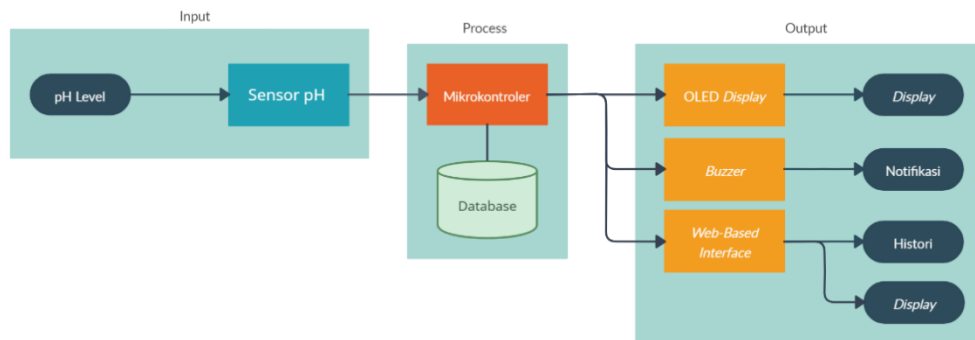
Rahmat Ersya Ramadhan, Ika K. L. N. Suciningtyas, Abdullah Sani, Yusiran

merekam data pH secara *real-time* dan memberikan peringatan dengan menggunakan *buzzer* ketika pH melebihi batas standar yang ditentukan. Dilengkapi dengan antarmuka web dan layar OLED, alat ini mempermudah tim untuk memantau pH secara *real-time* serta mengakses data historis. Penerapan alat ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas proses *nickel plating*, sehingga proses berjalan lebih optimal yang mengakibatkan produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

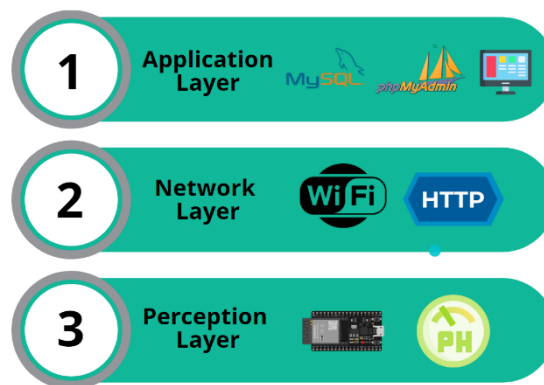
2.1. Perancangan Sistem

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental guna merancang serta mengevaluasi alat monitoring pH *real-time*. Skema sistem dari perangkat alat dijelaskan dalam Gambar 1 berikut.



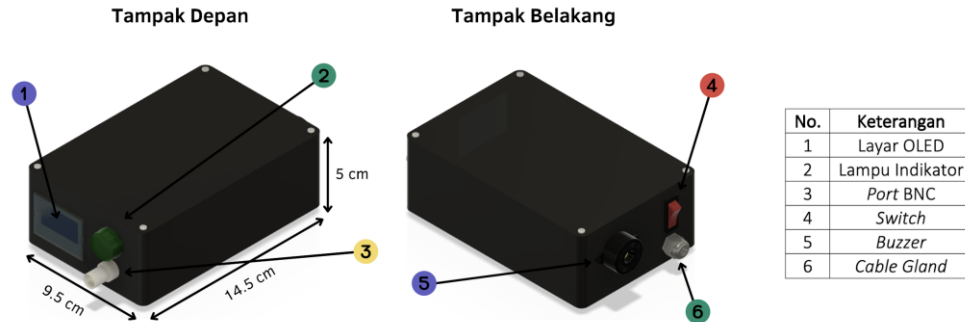
Gambar 1. Blok diagram alat.

Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama. DFRobot pH sensor V2 sebagai sensor pH berfungsi sebagai input untuk mengukur nilai pH *nickel plating bath*. ESP32 berperan sebagai mikrokontroler yang memproses sinyal dari sensor dan mengevaluasi kesesuaian nilai pH dengan parameter yang ditetapkan dan mengirim data pH level ke *database*. Sistem dilengkapi dengan *buzzer* sebagai alarm, layar OLED untuk tampilan *real-time*, dan antarmuka web untuk akses data historis. Desain ini memungkinkan pemantauan pH yang akurat dan responsif dalam proses *nickel plating*. Selain itu, desain sistem ini menggabungkan model arsitektur IoT tiga *layer*, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Penerapan arsitektur IoT tiga *layer* pada alat.

Application layer menggunakan *database* MySQL untuk manajemen data, phpMyAdmin untuk manajemen *database*, dan antarmuka web untuk visualisasi data pH secara *real-time*. *Network layer* menggunakan WiFi ESP32 dan HTTP GET untuk mentransfer data dari *application layer* ke *perception layer*. ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler dengan sensor pH untuk pengukuran pH secara kontinu. Untuk mendukung sistem yang dijelaskan sebelumnya, perlu menerapkan desain mekanik untuk memastikannya beroperasi sesuai dengan desain yang ditentukan. Detail ilustrasi desain mekanik dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Desain mekanik alat.

2.2. Kalibrasi Sensor Alat

Kalibrasi sensor pH merupakan langkah krusial untuk menjamin akurasi dan keandalan pengukuran. Proses ini melibatkan penyesuaian output sensor terhadap nilai pH yang sudah diketahui, menggunakan larutan *buffer* sebagai referensi. Metode kalibrasi ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran dan mengoptimalkan kinerja sensor dalam berbagai aplikasi. Pendekatan ini sejalan dengan praktik standar dalam kalibrasi sensor, sebagaimana dibahas dalam studi-studi terkini [10][11]. Prosedur kalibrasi sendiri dimulai dengan persiapan larutan *buffer*, seperti yang dirinci dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Variabel pH larutan *buffer* untuk kalibrasi sensor pH

| Kondisi | pH |
|---------|------|
| Asam | 4.01 |
| Netral | 6.86 |

Proses kalibrasi sensor pH dimulai dengan memastikan kebersihan sensor dan konektivitasnya ke sistem akuisisi data, dilanjutkan dengan stabilisasi sensor dalam larutan *buffer* netral untuk mencatat tegangan output, yang kemudian diulangi untuk larutan *buffer* lainnya [10]. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai *slope* dan *offset* menggunakan persamaan linear yang direpresentasikan pada Persamaan (1), nilai pH (y) dihitung berdasarkan tegangan sensor (x), dengan m sebagai *slope* yang menunjukkan sensitivitas sensor dan c sebagai *offset* yang mengurangi kesalahan sistematis dalam pengukuran [12]. Rumus untuk menghitung *slope* dan *offset* dapat dilihat pada Persamaan (2) dan (3).

$$y = mx + c \tag{1}$$

$$Slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{pH_2 - pH_1}{V_2 - V_1} \tag{2}$$

$$Offset = \frac{(pH_2 + pH_1) - Slope (V_1 + V_2)}{2} \quad (3)$$

2.3. Metode Pengambilan Data dan Pengujian Alat

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data *real-time* dengan interval 1 menit selama kurang lebih satu minggu pada setiap *nickel plating bath* (10B, 14B, 10C, dan 10D) dengan durasi kurang lebih sehari, disertai pengambilan sampel data setiap 60 menit untuk Pengujian akurasi alat dengan cara pembacaan sensor pH alat dibandingkan dengan pH meter sebagai referensi validasi, sementara analisis statistik data dilakukan menggunakan *software* untuk mengidentifikasi tren dan perubahan sistematis dalam pengukuran pH [13]. Metode pengujian alat mencakup evaluasi terhadap performa alat yang mencakup pengujian akurasi, stabilitas dan daya tahan, kemampuan tampilan data *real-time*, serta fungsi alarm untuk memastikan keandalan dan efektivitas alat dalam aplikasi langsung. Berikut adalah penjelasan terperinci mengenai masing-masing aspek pengujian.

Pengujian keakuratan sensor pH alat dilakukan melalui perbandingan hasil pengukuran dengan pH meter sebagai referensi [8], disertai dengan analisis *error* menggunakan Persamaan (4) untuk mengevaluasi ketepatan pengukuran dengan menghitung persentase *error* antara pembacaan sensor pH alat dan pH meter.

$$Error(\%) = \left| \frac{Pembacaan\ Sensor\ pH\ Alat - Pembacaan\ pH\ Meter}{Pembacaan\ pH\ Meter} \right| \times 100 \quad (4)$$

Berdasarkan metode pengujian keakuratan tersebut, pengujian stabilitas dan ketahanan alat dilakukan melalui pemantauan kinerja jangka panjang dengan mengukur *error* atau penyimpangan nilai hasil pengukuran secara berulang dalam interval waktu tertentu untuk memvalidasi keandalan alat dalam aplikasi langsung.

Pengujian tampilan data *real-time* bertujuan mengevaluasi kelancaran dan akurasi penyajian nilai pH, meliputi pemantauan waktu respons sensor terhadap perubahan pH dan efektivitas transmisi data ke antarmuka web, dimana keandalan data yang ditransmisikan menjadi fokus utama untuk memastikan akurasi informasi yang diterima [14]. Selanjutnya, pengujian alarm bertujuan untuk memastikan fungsionalitas sistem peringatan saat nilai pH melampaui rentang spesifikasi yang telah ditetapkan untuk *nickel plating bath*, dimana metode pengujian mencakup simulasi pelanggaran batas pH dan pemantauan aktivasi alarm untuk memverifikasi kejelasan dan keterpahaman peringatan dalam situasi yang memerlukan tindakan segera. Untuk rentang spesifikasi pH *nickel plating bath* yang digunakan ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rentang spesifikasi pH *nickel plating bath*

| Tank/Bath | Deskripsi | Batas Bawah | Optimum | Batas Atas |
|-----------|----------------------------------|-------------|---------|------------|
| 10B | <i>Dull Watts Nickel Sulfate</i> | 2.0 | 2.1 | 4.0 |
| 14B | <i>Bright Nickel Sulfamate</i> | 3.6 | 4.0 | 4.4 |
| 10C | <i>Nickel Plate Sulfamate</i> | 3.6 | 4.0 | 4.4 |
| 10D | <i>Bright Nickel Sulfamate</i> | 3.6 | 4.0 | 4.4 |

2.4. Analisis Data

Pada proses analisis data diperlukan dataset sebagai bahan utama pengolahan data. Dataset tersebut diambil dari laman *history* pada antarmuka web dengan fitur *export* ke dalam bentuk CSV, Excel, atau PDF yang selanjutnya dianalisis menggunakan *software* Minitab. Dalam analisis nilai pH untuk mengoptimalkan proses *nickel plating*, metode statistik berperan penting dalam memastikan stabilitas dan keakuratan pembacaan alat sekaligus mengidentifikasi tren atau perubahan sistematis dalam proses *nickel plating*. Salah satu metode yang digunakan adalah *Pearson correlation* yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel kontinu, dengan nilai yang berkisar antara -1 hingga 1. Dalam penelitian ini, metode ini diterapkan untuk mengidentifikasi hubungan antara pH dan waktu dengan mengumpulkan data berpasangan pengukuran pH pada interval waktu yang konsisten. Melalui analisis ini, dapat ditentukan apakah terdapat fluktuasi atau pola sistematis dalam perubahan pH seiring berjalannya waktu. Korelasi ini memberikan wawasan penting mengenai apakah perubahan waktu mempengaruhi kestabilan pH, yang berpotensi mempengaruhi kualitas proses *plating* [15]. Untuk menghitung koefisien *Pearson correlation* digunakan rumus pada Persamaan (5) berikut.

$$r_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

r_{xy} = korelasi antara x dan y

n = banyak sampel

x = nilai dari dataset waktu

y = nilai dai dataset pH

Metode lain yang digunakan adalah *Control charts*, khususnya *I-MR chart*, merupakan alat statistik pengendalian kualitas yang terdiri dari *Individual chart* untuk memantau nilai pH individu pada setiap titik waktu, dan *Moving Range chart* untuk mengevaluasi variabilitas antara dua pengukuran berturut-turut. Metode ini memungkinkan pemantauan fluktuasi pH selama proses *nickel plating*, serta mengidentifikasi ketidaksesuaian atau fluktuasi yang tidak terkendali [16][17].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Rancangan Alat

Hasil rancangan alat monitoring pH secara *real-time* dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini. Alat ini dipasang pada *nickel plating bath* dengan sumber tegangan AC. Pada alat terdapat *OLED display* yang menampilkan nilai pH secara *real-time* dan *port BNC* (*Bayonet Neill-Concelman*) yang merupakan bagian dari *module* sensor pH serta *pH electrode* yang digunakan untuk pembacaan nilai pH.

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

Rahmat Ersya Ramadhan, Ika K. L. N. Suciningtyas, Abdullah Sani, Yusiran



Gambar 4. (a) Penempatan Alat (b) *Close up* alat (c) Penempatan pH *electrode*.

3.2. Hasil Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat dimulai dengan mencari tegangan output dari larutan *buffer* pada Tabel 1 dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengukuran output larutan *buffer*

| pH | Tegangan Output (V) |
|------|---------------------|
| 4.01 | 2.4 |
| 6.86 | 1.9 |

Selanjutnya data tegangan output yang didapat digunakan untuk mencari nilai *slope* dan *offset* menggunakan Persamaan (2) dan (3) sehingga didapat *slope* = -5.7 dan *offset* = 17.69. Nilai tersebut digunakan pada pemrograman mikrokontroler agar sensor pH dapat melakukan pembacaan nilai pH.

3.3. Hasil Pengujian Alat

Data hasil pengujian akurasi alat pada keempat *tank* (10B, 14B, 10C, dan 10D) dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil pengujian akurasi alat

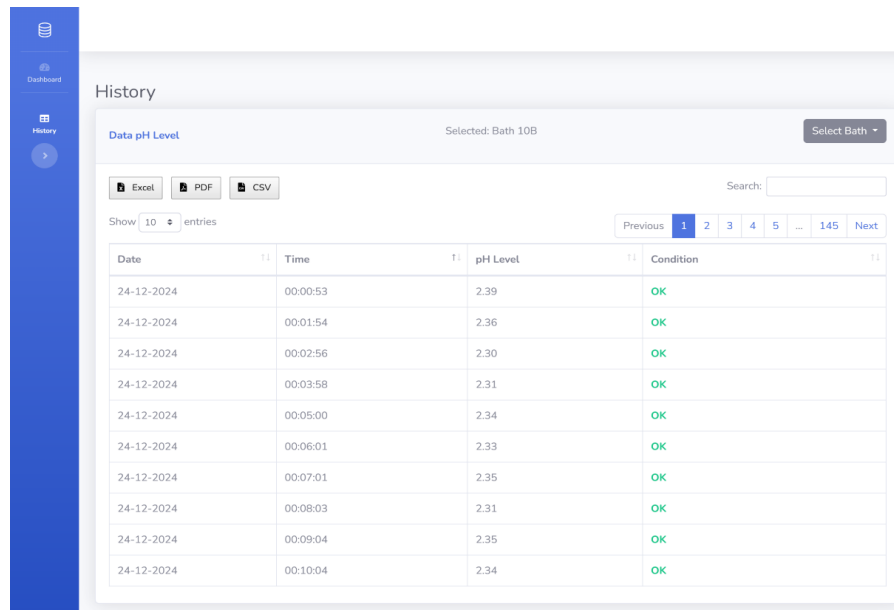
| Tank 10B | | | Tank 14B | | | Tank 10C | | | Tank 10D | | |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| pH Alat | pH Meter | Error (%) | pH Alat | pH Meter | Error (%) | pH Alat | pH Meter | Error (%) | pH Alat | pH Meter | Error (%) |
| 2.3 | 2.36 | 2.54 | 3.92 | 3.93 | 0.25 | 4.02 | 3.98 | 1.01 | 3.91 | 4 | 2.25 |
| 2.73 | 2.8 | 2.50 | 3.91 | 4 | 2.25 | 3.96 | 4.05 | 2.22 | 3.97 | 4.12 | 3.64 |
| 2.44 | 2.42 | 0.83 | 3.89 | 3.95 | 1.52 | 3.96 | 3.95 | 0.25 | 3.99 | 3.9 | 2.31 |
| 1.92 | 2 | 4.00 | 4.07 | 4 | 1.75 | 4.06 | 3.98 | 2.01 | 3.74 | 3.85 | 2.86 |
| 2.27 | 2.2 | 3.18 | 3.93 | 3.97 | 1.01 | 4.09 | 4.05 | 0.99 | 3.95 | 3.9 | 1.28 |
| 2.49 | 2.45 | 1.63 | 4.08 | 4 | 2.00 | 4.04 | 3.99 | 1.25 | 3.92 | 3.95 | 0.76 |
| 2.29 | 2.24 | 2.23 | 4.04 | 4.03 | 0.25 | 4.03 | 4.04 | 0.25 | 4.04 | 4.04 | 0.00 |
| 2.46 | 2.4 | 2.50 | 3.91 | 3.9 | 0.26 | 3.92 | 3.96 | 1.01 | 3.44 | 3.56 | 3.37 |
| 2.22 | 2.26 | 1.77 | 4.03 | 4 | 0.75 | 3.93 | 3.89 | 1.03 | 4.48 | 4.34 | 3.23 |
| 2.29 | 2.25 | 1.78 | 3.97 | 3.95 | 0.51 | 4.05 | 3.97 | 2.02 | 3.93 | 3.8 | 3.42 |
| 2.37 | 2.4 | 1.25 | 3.97 | 3.98 | 0.25 | 4.05 | 4.04 | 0.25 | 3.72 | 3.65 | 1.92 |
| 2.25 | 2.3 | 2.17 | 4.01 | 3.9 | 2.82 | 3.93 | 4 | 1.75 | 4.01 | 4.06 | 1.23 |
| 2.76 | 2.68 | 2.99 | 3.98 | 4 | 0.50 | 4 | 4 | 0.00 | 4.05 | 4.09 | 0.98 |
| 2.35 | 2.34 | 0.43 | 3.95 | 3.92 | 0.77 | 4.02 | 3.96 | 1.52 | 3.99 | 3.95 | 1.01 |
| 2.25 | 2.24 | 0.45 | 4.09 | 4.1 | 0.24 | 3.93 | 4 | 1.75 | 3.97 | 3.98 | 0.25 |
| 2.36 | 2.43 | 2.88 | 3.86 | 3.9 | 1.03 | 4.09 | 4.03 | 1.49 | 4.06 | 3.95 | 2.78 |
| 2.4 | 2.42 | 0.83 | 3.9 | 3.7 | 5.41 | 4.04 | 4.02 | 0.50 | 4.03 | 3.97 | 1.51 |
| 1.84 | 1.89 | 2.65 | 4.25 | 4.2 | 1.19 | 3.9 | 3.97 | 1.76 | 3.96 | 3.94 | 0.51 |
| 2.58 | 2.53 | 1.98 | 4.06 | 4 | 1.50 | 4.09 | 4 | 2.25 | 3.93 | 3.92 | 0.26 |
| 2.36 | 2.4 | 1.67 | 4.02 | 3.97 | 1.26 | 3.94 | 4.01 | 1.75 | 4 | 4.15 | 3.61 |
| 2.38 | 2.41 | 1.24 | 4.09 | 4.04 | 1.24 | 4.02 | 4 | 0.50 | 3.45 | 3.51 | 1.71 |
| 2.23 | 2.3 | 3.04 | 2.31 | 4.02 | 1.00 | 4.05 | 3.97 | 2.02 | 3.95 | 3.97 | 0.50 |
| 2.212.26 | 2.24 | 0.89 | 4.01 | 4.08 | 1.72 | 3.93 | 4.05 | 2.96 | 4.03 | 4.1 | 1.71 |
| 2.37 | 2.41 | 1.66 | 4.1 | 4.12 | 0.49 | 4.03 | 3.93 | 2.54 | 4.07 | 4.13 | 1.45 |
| 2.21 | 2.2 | 0.45 | 3.93 | 3.9 | 0.77 | 3.94 | 4 | 1.50 | 3.99 | 4 | 0.25 |
| Rata-rata | | 1.9 | | | 1.23 | | | 1.38 | | | 1.71 |

Berdasarkan data dari tabel di atas, diperoleh rata-rata *error* sebesar 1.9%, 1.23%, 1.38%, dan 1.71% yang menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat stabilitas dan ketahanan yang cukup baik dalam pengukuran pH. Kisaran *error* yang berada di bawah 2% mengindikasikan bahwa alat memiliki konsistensi pembacaan yang dapat diandalkan pada berbagai kondisi pengukuran di *tank* yang berbeda.

Selanjutnya, hasil pengujian tampilan data *real-time* menunjukkan adanya perbedaan waktu antara interval pengaturan program mikrokontroler dengan waktu aktual tampilan data di antarmuka web. Pada pengaturan interval 1 menit di mikrokontroler, terjadi *delay* sekitar 1-3 detik saat data ditampilkan pada antarmuka web yang dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini, yang disebabkan oleh proses pengiriman data dan pemrosesan server. *Delay* tersebut masih dalam batas toleransi karena tidak mempengaruhi keakuratan data pengukuran secara signifikan.

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

Rahmat Ersya Ramadhan, Ika K. L. N. Suciningtyas, Abdullah Sani, Yusiran



| Date | Time | pH Level | Condition |
|------------|----------|----------|-----------|
| 24-12-2024 | 00:00:53 | 2.39 | OK |
| 24-12-2024 | 00:01:54 | 2.36 | OK |
| 24-12-2024 | 00:02:56 | 2.30 | OK |
| 24-12-2024 | 00:03:58 | 2.31 | OK |
| 24-12-2024 | 00:05:00 | 2.34 | OK |
| 24-12-2024 | 00:06:01 | 2.33 | OK |
| 24-12-2024 | 00:07:01 | 2.35 | OK |
| 24-12-2024 | 00:08:03 | 2.31 | OK |
| 24-12-2024 | 00:09:04 | 2.35 | OK |
| 24-12-2024 | 00:10:04 | 2.34 | OK |

Gambar 5. Tampilan *dashboard*.

Hasil pengujian alarm juga menunjukkan bahwa sistem alarm berhasil memberikan peringatan berupa bunyi *buzzer* saat nilai pH berada di luar rentang spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 2. Kondisi abnormal pH ditandai dengan tampilan "pH NG!" pada layar OLED dan aktivasi alarm *buzzer*, sementara kondisi normal ditampilkan sebagai "pH OK!" tanpa bunyi alarm yang ditampilkan pada Gambar 6. Sistem peringatan ini efektif dalam memberikan notifikasi yang jelas dan mudah dipahami untuk mengidentifikasi kondisi pH larutan *nickel plating bath* yang memerlukan penyesuaian.



Gambar 6. (a) Tampilan kondisi normal pada *tank* 10B (b) Tampilan kondisi abnormal pada *tank* 10B.

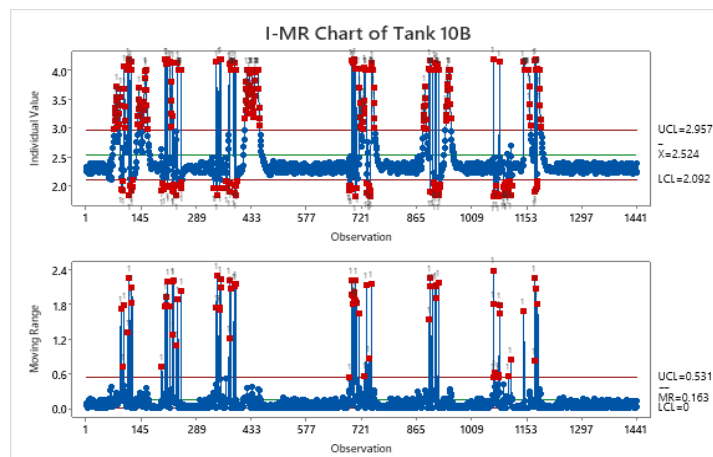
3.4. Hasil Analisis Data

Hasil dari analisis *Pearson correlation* menggunakan Minitab dari *tiap nickel plating bath* dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah. Berdasarkan tabel, nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara waktu dan pH pada semua *tank* yang diuji. Hal ini mengindikasikan bahwa fluktuasi pH tidak dipengaruhi oleh waktu. Untuk *tank* 10B, korelasi negatif lemah menunjukkan sedikit penurunan pH seiring waktu, tetapi hubungan ini hampir tidak signifikan secara praktis. *Tank* 14B, 10C, dan 10D semuanya memiliki korelasi yang sangat kecil, mendekati nol, mengindikasikan hampir tidak ada hubungan linier antara pH dan waktu.

Tabel 5. Hasil analisis *Pearson correlation*

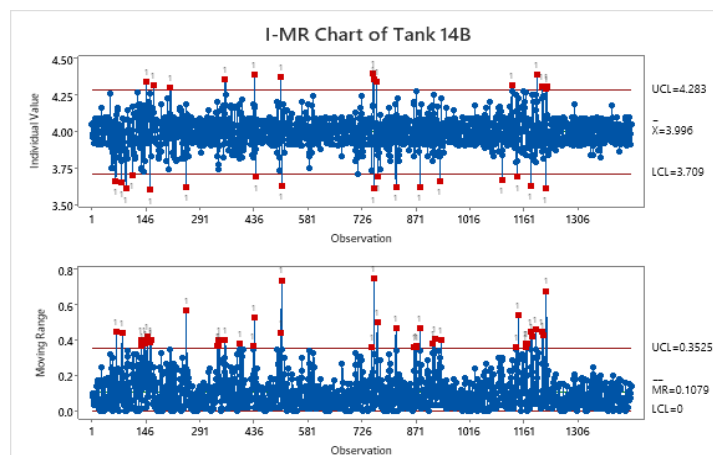
| Tank/Bath | Koefisien korelasi (r) |
|-----------|----------------------------|
| 10B | - 0.133 |
| 14B | 0.027 |
| 10C | - 0.009 |
| 10D | 0.041 |

Selanjutnya, hasil analisis *I-MR chart* menggunakan Minitab menunjukkan hasil yang berbeda di setiap *nickel plating bath*. Berikut adalah penjelasan hasil analisis untuk setiap *tank*:



Gambar 7. Hasil analisis *I-MR chart* pada *tank* 10B

Berdasarkan Gambar 7, hasil analisis *I-MR chart* dari *tank* 10B menunjukkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Pada *Individual chart*, nilai rata-rata pH (X) adalah 2.524, dengan batas kontrol atas (UCL) 2.957 dan batas kontrol bawah (LCL) 2.092, serta terdapat 221 titik yang keluar dari batas kontrol, terutama di atas UCL. Pola data menunjukkan fluktuasi ekstrem yang berulang, sementara *Moving Range chart* mencatat rata-rata *moving range* (MR) sebesar 0.163 dengan 71 titik gagal, menandakan variabilitas proses yang signifikan. Meskipun terdapat periode stabil, perubahan pH sering terjadi secara ekstrem dengan *spike* tajam, mencerminkan siklus fluktuasi yang berulang.

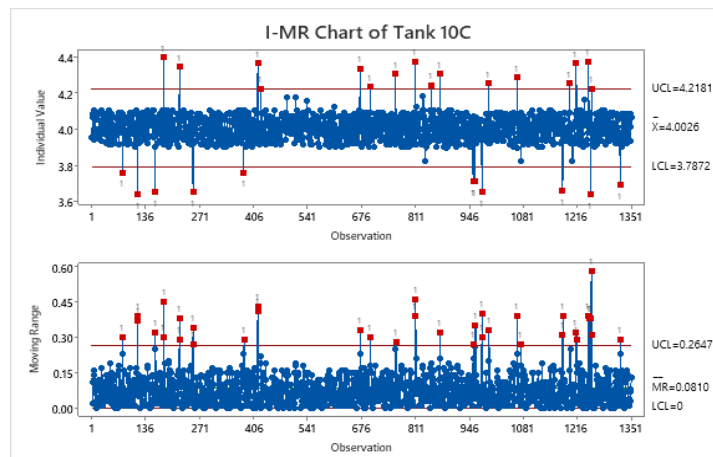


Gambar 8. Hasil analisis *I-MR chart* pada *tank* 14B

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

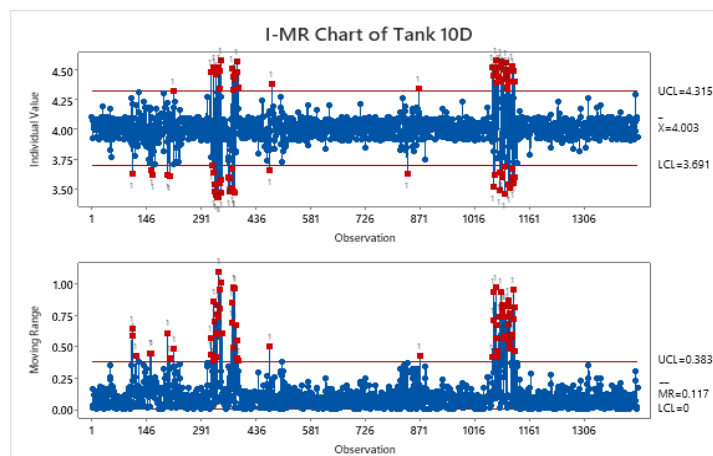
Rahmat Ersya Ramadhan, Ika K. L. N. Suciningtyas, Abdullah Sani, Yusiran

Berdasarkan Gambar 8, analisis *I-MR chart* dari *tank* 14B menunjukkan proses yang lebih terkendali dibandingkan *tank* 10B. Nilai rata-rata pH (\bar{X}) tercatat 3.996, dengan batas kontrol atas (UCL) 4.283 dan batas kontrol bawah (LCL) 3.709, serta terdapat 31 titik gagal, yang menunjukkan fluktuasi yang lebih stabil dengan mayoritas data berada dalam batas kendali. Pada *Moving Range chart*, rata-rata *moving range* (MR) adalah 0.1079 dengan UCL 0.3525 dan LCL 0, serta 41 titik gagal, menunjukkan variabilitas proses yang lebih rendah dibandingkan *tank* 10B, dengan *spike* yang lebih sedikit dan tidak ekstrem. Meskipun terdapat beberapa ketidakstabilan statistik, fluktuasi pH cenderung lebih kecil dan tidak membentuk pola berulang yang signifikan, mencerminkan proses yang relatif stabil.



Gambar 9. Hasil analisis *I-MR chart* pada *tank* 10C

Berdasarkan Gambar 9, analisis *I-MR chart* dari *tank* 10C menunjukkan stabilitas yang baik. Nilai rata-rata pH (\bar{X}) tercatat 4.0026, dengan batas kontrol atas (UCL) 4.2181 dan batas kontrol bawah (LCL) 3.7872; terdapat 27 titik yang gagal, tetapi mayoritas pengukuran berada dalam batas kendali tanpa pola berulang. Rata-rata *moving range* (MR) adalah 0.0810, dengan UCL 0.2647 dan LCL 0, serta 36 titik gagal, menunjukkan variabilitas proses yang rendah dengan beberapa *spike* teridentifikasi. Secara keseluruhan, *tank* 10C menunjukkan level kendali yang baik dibandingkan *tank* 10B, dengan lebih sedikit *outlier* dan variabilitas yang terkendali.



Gambar 10. Hasil analisis *I-MR chart* pada *tank* 10D

Berdasarkan Gambar 10, hasil analisis I-MR *chart* dari *tank* 10D menunjukkan ketidakstabilan signifikan pada dua periode fluktuasi ekstrem, yakni sekitar observasi 315-390 dan 1063-1122. Pada Individual *chart*, nilai rata-rata pH (\bar{X}) adalah 4.003, dengan batas kontrol atas (UCL) 4.315 dan batas kontrol bawah (LCL) 3.691; terdapat 80 titik yang gagal, tetapi di luar periode fluktuasi ekstrem, proses cenderung stabil dalam batas kendali. *Moving Range chart* mencatat rata-rata moving range (MR) sebesar 0.117, dengan UCL 0.383 dan LCL 0, serta 67 titik gagal, yang menunjukkan variabilitas tinggi selama periode fluktuasi. Meskipun ada ketidakstabilan pada dua periode tersebut, proses relatif terkendali di luar periode itu, dengan variabilitas lebih tinggi dibandingkan *tank* 10C tetapi lebih baik dibandingkan *tank* 10B.

3.5. Hasil Optimasi Proses

Hasil optimasi proses setelah penerapan alat monitoring pH *real-time* dalam proses *nickel plating* menunjukkan peningkatan efisiensi waktu dari segi *processing time* yang diperlukan. Peningkatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perbandingan Waktu Pengecekan pH Real-Time dan Manual

| Metode | Deskripsi Proses | Lama Waktu (rata-rata) |
|--------------------------------|---|------------------------|
| Monitoring pH <i>real-time</i> | Data pH direkam secara <i>real-time</i> oleh alat yang dilengkapi layar OLED dan antarmuka web. | 15 detik |
| Manual (pH Meter) | Pengukuran dilakukan dengan mencelupkan <i>probe</i> pH meter ke dalam larutan, membaca hasil, dan mencatatnya. | 240 detik |

Dari data di atas, penggunaan metode monitoring pH *real-time* menghasilkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 93.75% dibandingkan dengan metode manual menggunakan pH meter. Besaran efisiensi didapat dengan menggunakan rumus pada Persamaan (6) berikut.

$$Efisiensi\ waktu\ (\%) = \frac{(Waktu\ manual - Waktu\ real-time)}{(Waktu\ manual)} \times 100 \quad (6)$$

Hasil dari persamaan ini menunjukkan bahwa alat monitoring pH *real-time* mempercepat proses pengukuran pH pada *nickel plating bath*. Selain itu, dengan penerapan ini juga, fluktuasi nilai pH yang sebelumnya tidak terdeteksi dapat diidentifikasi.

Lebih lanjut untuk memahami penyebab fluktuasi ini, hasil dari Individual *chart* kemudian dibandingkan dengan *record* harian proses *nickel plating* untuk mengidentifikasi fluktuasi atau penyimpangan yang terjadi. Analisis menunjukkan adanya keterkaitan, di mana fluktuasi pH terjadi selama proses *nickel plating* berlangsung. Fluktuasi ini disebabkan oleh reaksi kimia selama *electroplating*, di mana ion nikel (Ni^{2+}) dan ion hidrogen (H^+) berperan penting. Selama proses *plating*, ion hidrogen terbentuk di dekat katoda sebagai hasil samping dari pembentukan gas hidrogen. Proses ini meningkatkan keasaman larutan, yang menyebabkan penurunan nilai pH. Di sisi lain, saat ion nikel direduksi di katoda, ion hidroksida (OH^-) juga terbentuk, yang dapat meningkatkan alkalinitas lokal. Akibatnya, pH larutan menjadi tidak stabil dan sering berfluktuasi [18].

Sebagai upaya untuk mendukung stabilitas proses agar fluktuatif pH tidak ekstrem, sistem filtrasi dengan pergantian filter yang tepat berfungsi untuk menghilangkan kotoran dan ion-ion yang mengganggu kestabilan larutan, serta memperpanjang umur larutan *nickel plating*. Selain itu, penyesuaian komposisi larutan, seperti konsentrasi ion nikel dan bahan kimia lainnya, penting untuk menjaga keseimbangan pH dalam rentang yang stabil.

Analisis pH Level pada Purwarupa Alat Monitoring pH Level Secara *Real-time* Sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

Rahmat Ersya Ramadhan, Ika K. L. N. Suciningtyas, Abdullah Sani, Yusiran

Penelitian yang ada mendukung pentingnya kedua aspek ini untuk mencapai hasil yang optimal dalam aplikasi industri [19].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan alat monitoring pH *real-time* untuk memantau serta mendeteksi kondisi abnormal pada *nickel plating bath* yang lebih unggul dibanding dengan metode *record* manual dengan peningkatan efisiensi waktu sebesar 93.75%. Alat ini menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata *error* di bawah 2% pada pengujian di *tank* 10B, 14B, 10C, dan 10D, serta stabilitas tampilan data *real-time* terdapat delay 1-3 detik yang masih dalam toleransi. Analisis *Pearson correlation* yang dilakukan menunjukkan tidak ada hubungan yang signifikan antara waktu dan pH pada semua *tank* yang diuji. Hal ini membuktikan proses *top-up chemical* tidak perlu memperhatikan waktu secara khusus. Hasil analisis I-MR *chart* menunjukkan urutan stabilitas pH di setiap *tank* dalam proses *nickel plating*, dengan *tank* 10C sebagai yang paling stabil (27 titik di luar kendali), diikuti *tank* 14B (31 titik), *tank* 10D (80 titik), dan *tank* 10B yang paling tidak stabil (221 titik). Fluktuasi pH yang terjadi berkaitan erat dengan reaksi kimia selama *electroplating*, sehingga variasi stabilitas ini menunjukkan perlunya perhatian pada sistem filtrasi dan komposisi larutan. Hal ini terutama berlaku untuk *tank* 10B dan 10D, yang menunjukkan ketidakstabilan berulang. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa alat dapat digunakan bagi teknisi untuk melakukan pemeliharaan *nickel plating bath* dalam mengidentifikasi *tank* yang memerlukan penggantian filter.

Daftar Pustaka

- [1] B. H. Целуйкин *et al.*, "Pulsed electrodeposition and properties of nickel-based composite coatings modified with graphene oxide," *Coatings*, vol. 12, no. 5, p. 656, 2022, doi: 10.3390/coatings12050656.
- [2] D. Wang, F. Li, Y. Shi, M. Li, B. Liu, and Q. Chang, "Optimization of the preparation parameters of high-strength nickel layers by electrodeposition on mild steel substrates," *Materials*, vol. 14, no. 18, p. 5461, 2021, doi: 10.3390/ma14185461.
- [3] I. Rose and C. Whittington, *Nickel Plating Handbook*. Brussels: Nickel Institute, 2014. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:189808269>
- [4] J. R. G. Romero, P. Rodríguez-Estupiñán, L. Giraldo, and J. C. Moreno-Piraján, "Simple and competitive adsorption study of nickel(II) and chromium(III) on the surface of the brown algae *Durvillaea antarctica* biomass," *ACS Omega*, vol. 4, no. 19, pp. 18147–18158, 2019, doi: 10.1021/acsomega.9b02061.
- [5] M. Próchniak and M. Grdeń, "Electrochemical deposition of nickel from aqueous electrolytic baths prepared by dissolution of metallic powder," *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2021, doi: 10.1007/s10008-021-05084-9.
- [6] S. Saegusa *et al.*, "The effect of pH on X-ray-radiolysis-induced synthesis of nickel nanoparticles on lithium niobate substrates," *Materials Science and Engineering B: Advanced Functional Solid-state Materials*, 2023, doi: 10.1016/j.mseb.2022.116093.
- [7] Y. Vaishnu, K. B. Kumar, and S. Rani, "Parameter optimization and wear characteristics of nano CuO/Ni composite coating by brush plating technique," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 234, no. 2, pp. 292–300, 2019, doi: 10.1177/1350650119864466.

- [8] M. Jamal, K. Razeeb, H. Shao, J. Islam, I. Akhter, and H. et al. Furukawa, "Development of tungsten oxide nanoparticle modified carbon fibre cloth as flexible ph sensor," *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-41331-w.
- [9] P. Franco, J. M. Martinez, Y.-C. Kim, and M. A. Ahmed, "IoT Based Approach for Load Monitoring and Activity Recognition in Smart Homes," *IEEE Access*, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3067029.
- [10] N. L. Ritzert, A. Rani, T. Ko, J. Kim, and S. A. Kim, "Multifunctional periodontal probes and their handheld electronic system for simultaneous temperature, pH, and depth measurements," *J Electrochem Soc*, vol. 169, no. 2, p. 27515, 2022, doi: 10.1149/1945-7111/ac50e4.
- [11] C. G. Frankær, M. Rosenberg, M. Santella, K. J. Hussain, B. W. Laursen, and T. J. Sørensen, "Tuning the pka of a ph responsive fluorophore and the consequences for calibration of optical sensors based on a single fluorophore but multiple receptors," *ACS Sens*, vol. 4, no. 3, pp. 764–773, 2019, doi: 10.1021/acssensors.9b00148.
- [12] J. Julian, F. Wahyuni, and F. Ulhaq, "Reliability analysis of ph measurement on tlc4502 with e201c electrodes based on atmega328p microcontroller: approach to analysis of variation with anova," *Elkha*, vol. 15, no. 1, p. 32, 2023, doi: 10.26418/elkha.v15i1.62982.
- [13] S. Odinotski, K. Dhingra, A. GhavamiNejad, H. Zheng, P. GhavamiNejad, and et al. Gaouda H., "A conductive hydrogel-based microneedle platform for real-time pH measurement in live animals," *Small*, vol. 18, no. 45, 2022, doi: 10.1002/sml.202200201.
- [14] A. Saha, S. Sedaghat, S. Gopalakrishnan, J. Waimin, A. Yermembetova, and N. et al. Glassmaker, "A new paradigm of reliable sensing with field-deployed electrochemical sensors integrating data redundancy and source credibility," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.1038/s41598-022-25920-w.
- [15] L. S. P and N. R. Kalidindi, "Study of Test for Significance of Pearson's Correlation Coefficient," *International Journal of Science and Research*, vol. 11, no. 10, pp. 164–166, 2022, doi: 10.21275/sr22915140002.
- [16] M. Mayashari, T. H. Erna, and A. Anisa, "Comparison of control chart \bar{x} -based on median absolute deviation with s ," *Barekeng*, vol. 18, no. 2, pp. 737–750, 2024, doi: 10.30598/barekengvol18iss2pp0737-0750.
- [17] M. Kieć and M. Bugdol, "The application of selected quality tools in analysing the reasons for discrepancies in wet refractory mortar manufacture," *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, vol. 2019, no. 136, pp. 221–241, 2019, doi: 10.29119/1641-3466.2019.136.18.
- [18] K. Mazur, A. Stefańska, and M. Hebda, "Analysis of Chemical Nickel-Plating Process," *Materials Science*, 2018, doi: 10.1007/s11003-018-0196-x.
- [19] P. Laokhen, N. Ma-ud, T. Yingnakorn, T. Patcharawit, and S. Khumkoa, "Recovery of nickel from spent electroplating solution by hydrometallurgical and electrometallurgical process," *Journal of Metals Materials and Minerals*, vol. 32, no. 2, pp. 95–100, 2022, doi: 10.55713/jmmm.v32i2.1253.