

# Analisis pH Level pada Purwarupa Alat *Monitoring Ph Level* secara *Real-time* sebagai Optimalisasi Proses *Nickel Plating* di Industri

Rahmat Ersya Ramadhan<sup>1</sup>, Ika K. L. N. Suciningtyas<sup>2</sup>, Abdullah Sani<sup>3</sup>, Yusiran<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika,  
Jurusan Teknik Elektro,  
Politeknik Negeri Batam, Batam

<sup>1</sup>rahmatersyar@gmail.com, <sup>2</sup>ikakarlina@polibatam.ac.id, <sup>3</sup>sani@polibatam.ac.id

<sup>4</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi,  
Jurusan Teknik Elektro,  
Politeknik Negeri Batam, Batam  
<sup>4</sup>yusiran@polibatam.ac.id

## Abstrak

*Nickel plating* merupakan 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. Data produksi pada *tank* 14B juga menunjukkan *defect* turun dari 8,3% ke 3,1%, menegaskan peran *monitoring pH* dalam optimasi proses.

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

## Abstract

Nickel plating is an important method for improving corrosion resistance and product performance, especially in the manufacture of medical lamps at PT XYZ. The main problem in this process is maintaining the stability of the pH of the solution, which was previously monitored manually and was prone to extreme fluctuations. To address this issue, this study developed and implemented pH level analysis and real-time pH monitoring tools that continuously record data, provide alarms when the pH falls outside the specified range, and display historical data via a web interface. Test results showed high accuracy with an average error of less than 2% and a 93.75% increase in time efficiency compared to the manual method. Pearson correlation analysis results show no significant relationship between time and pH. I-MR chart analysis of the four tanks reveals variations in pH stability, with tank 10C showing the best performance, while tank 10B requires special attention due to high instability.

Production data on tank 14B also shows defects decreasing from 8.3% to 3.1%, confirming the role of pH monitoring in process optimization.

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

## 1. Pendahuluan

Industri manufaktur mengalami kemajuan pesat yang 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 elektrodposisi 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. 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 memengaruhi kinerja lampu yang diproduksi [7].

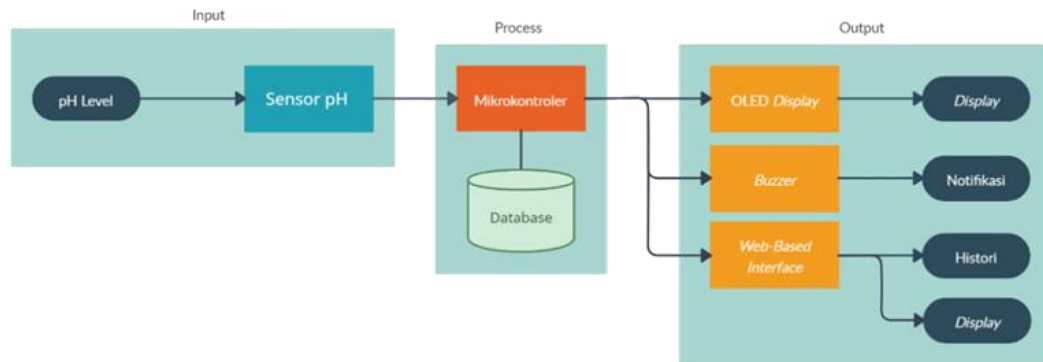
PT XYZ menghadapi masalah dalam memantau pH pada proses *nickel plating* karena pengukuran masih dilakukan secara manual di awal *shift* dan sebelum *running*. Pendekatan ini berisiko menyebabkan fluktuasi pH yang tidak terdeteksi, menurunkan kualitas produk, dan mengganggu stabilitas proses produksi. 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 *internet of things* (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.

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

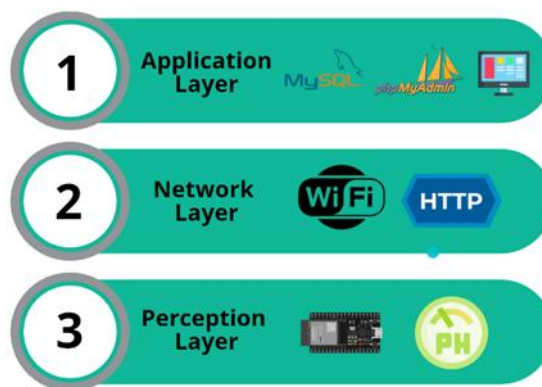
### 2.1. Perancangan Sistem

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



Gambar 1. Blok diagram alat

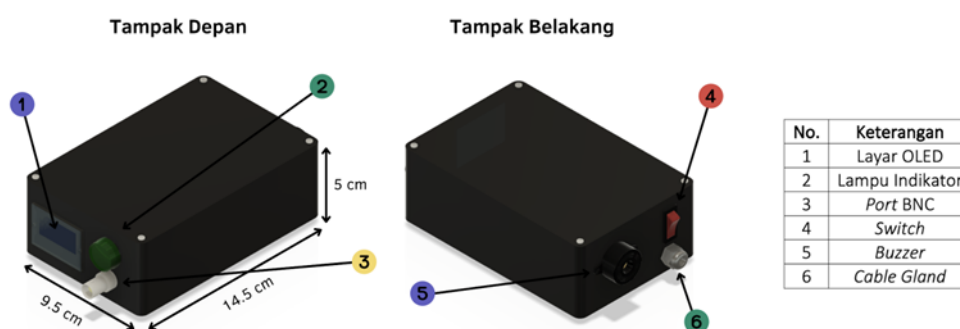
Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama. DFRobot pH sensor V2 sebagai sensor pH berfungsi sebagai *input* untuk mengukur nilai pH *nickel plating bath*. ESP32 berperan sebagai mikrokontroler yang memproses sinyal dari sensor dan mengevaluasi kesesuaian nilai pH dengan parameter yang ditetapkan 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.



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

Arsitektur 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, umumnya menggunakan teknologi komunikasi nirkabel. *Application layer* berfungsi untuk 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].

*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 *perception layer* ke *application 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.



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 pada Tabel 1.

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 (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 (2) dan (3), dengan  $\Delta y$  = perubahan nilai  $y$  (pH),  $\Delta x$  = perubahan nilai  $x$  (tegangan),  $pH_2$  = nilai pH pada titik kedua,  $pH_1$  = nilai pH pada titik pertama,  $V_2$  = nilai tegangan pada titik kedua,  $V_1$  = nilai tegangan pada titik pertama.

$$y = mx + c \quad (1)$$

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

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

### 2.3. Metode Pengambilan Data dan Pengujian Alat

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data *real-time* dengan interval 1 menit selama sekitar satu minggu pada setiap *nickel plating bath* (10B, 14B, 10C, dan 10D) dengan durasi sekitar sehari, disertai pengambilan *sample* data setiap 60 menit. Untuk pengujian akurasi alat, dilakukan 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 (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.

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 memengaruhi kestabilan pH, yang berpotensi memengaruhi kualitas proses *plating* [15]. Untuk menghitung koefisien *Pearson correlation* digunakan rumus pada persamaan berikut, dengan  $r_{xy}$  = korelasi antara  $x$  dan  $y$ ,  $n$  = banyak *sample*,  $x$  = nilai dari *dataset* waktu,  $y$  = nilai dari *dataset* pH.

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

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. 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 modul sensor pH serta pH *electrode* yang digunakan untuk pembacaan nilai pH.



(a)



(b)



(c)

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

### 3.2. Hasil Rancangan Alat

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

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 (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 Kalibrasi Alat

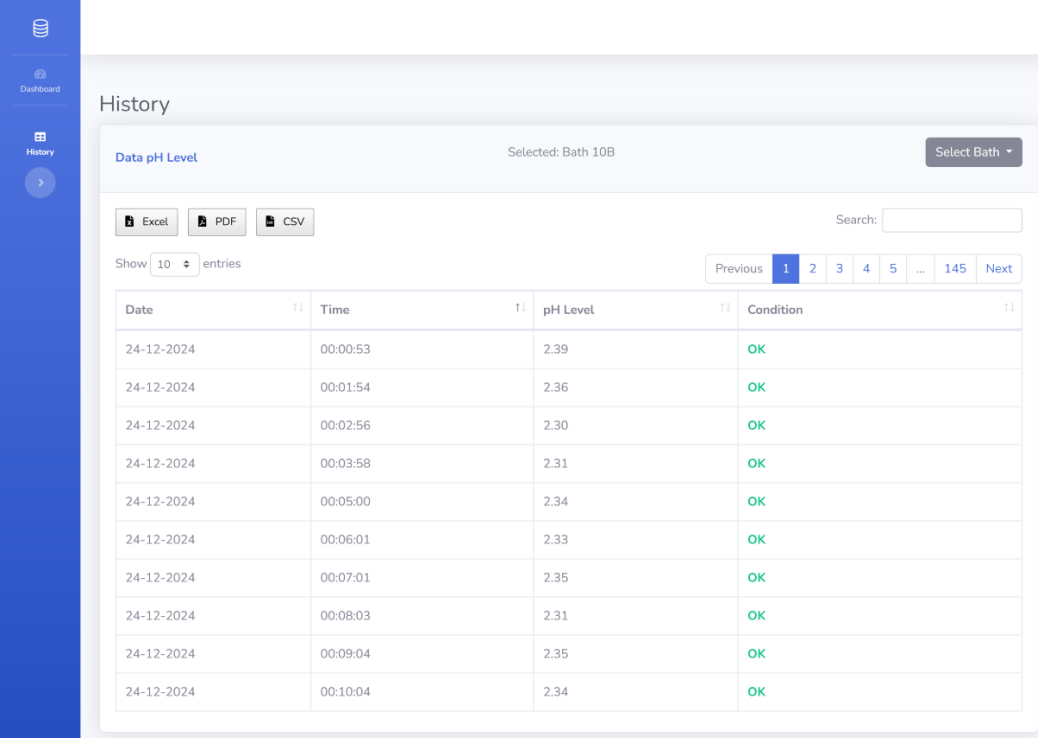
Data hasil pengujian akurasi alat pada keempat *tank* (10B, 14B, 10C, dan 10D) dapat dilihat pada Tabel 4.

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
2,26	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 4, 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. Nilai *error* yang rendah dan konsisten ini menunjukkan bahwa alat memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik, di mana *error* relatif dalam kisaran beberapa persen dianggap menunjukkan hasil pengukuran yang akurat dan dapat diandalkan [18].

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, yang disebabkan oleh proses pengiriman data dan pemrosesan server. *Delay* tersebut masih dalam batas toleransi karena tidak memengaruhi keakuratan data pengukuran secara signifikan.



History

Data pH Level Selected: Bath 10B

Excel PDF CSV Search:

Show 10 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 145 Next

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

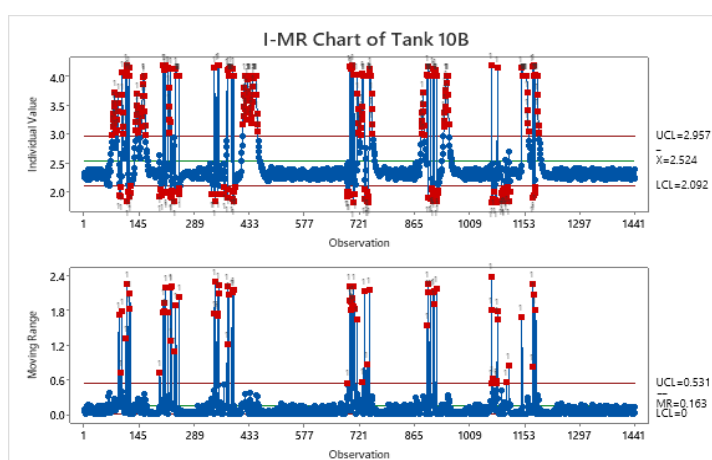
Hasil dari analisis *Pearson correlation* menggunakan Minitab dari tiap *nickel plating bath* dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan tabel, nilai koefisien korelasi ( $r$ ) yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara waktu dan pH pada semua tank yang diuji. Hal ini mengindikasikan 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*:



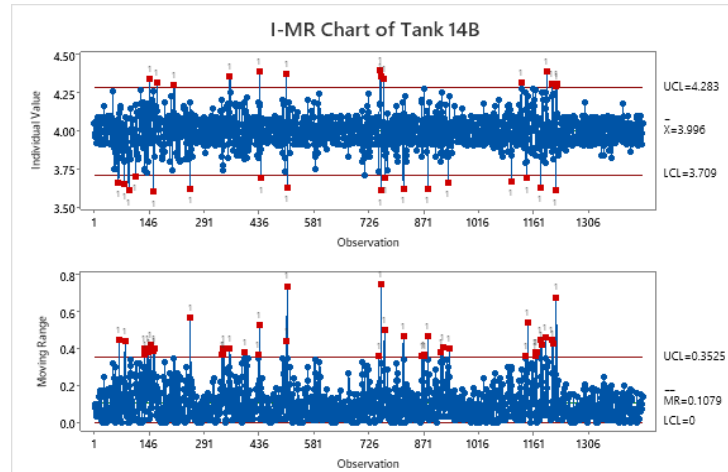
Gambar 7. Hasil analisis I-MR *chart* pada *tank* 10B

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 ( $\bar{X}$ ) 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.

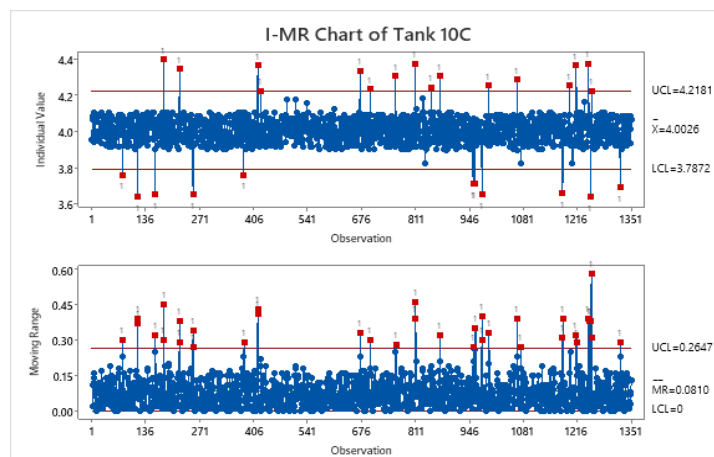
Berdasarkan Gambar 8, analisis I-MR *chart* dari *tank* 14B menunjukkan proses yang lebih terkendali dibandingkan *tank* 10B. Nilai rata-rata pH ( $\bar{X}$ ) tercatat 3,996, dengan batas kontrol atas (UCL) 4,283 dan batas kontrol bawah (LCL) 3,709, serta terdapat 31 titik gagal, yang menunjukkan fluktuasi yang lebih stabil dengan mayoritas data berada dalam batas kendali. Pada *moving range chart*, rata-rata 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.

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 MR adalah 0,0810,

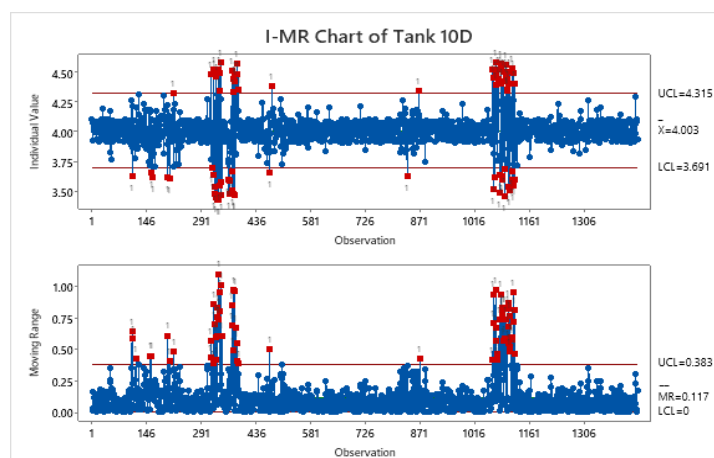
dengan UCL 0,2647 dan LCL 0, serta 36 titik gagal, menunjukkan variabilitas proses yang rendah dengan beberapa *spike* teridentifikasi. Secara keseluruhan, tank 10C menunjukkan level kendali yang baik dibandingkan tank 10B, dengan lebih sedikit *outlier* dan variabilitas yang terkendali.



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



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



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 (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 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 pemantauan *pH level* setelah penerapan alat *monitoring pH real-time* dalam proses *nickel plating* menunjukkan peningkatan efisiensi waktu dari segi *processing time* yang diperlukan untuk mengetahui nilai *pH level* pada suatu *tank*. Peningkatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan waktu pengecekan pH real-time dan manual

Metode	Deskripsi Proses	Lama Waktu (rata-rata)
<i>Monitoring pH real-time</i>	Data pH direkam secara <i>real-time</i> oleh alat yang dilengkapi layar OLED dan antarmuka <i>web</i> .	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 tersebut, penggunaan metode *monitoring pH real-time* menghasilkan peningkatan efisiensi waktu sebesar 93,75% dibandingkan dengan metode manual menggunakan pH meter untuk mengetahui nilai pH dari suatu *tank*. Besaran efisiensi didapat dengan menggunakan rumus pada persamaan berikut.

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

Hasil dari persamaan ini menunjukkan bahwa alat *monitoring pH real-time* secara signifikan mempercepat proses untuk mengetahui nilai pH pada *nickel plating bath*. Dengan kemampuan pengukuran secara *real-time*, alat ini memungkinkan pemantauan berkelanjutan sepanjang proses produksi, dibandingkan dengan metode manual yang hanya dilakukan pada awal *shift*. Selain mempercepat pengambilan data, penerapan alat ini juga memungkinkan deteksi fluktuasi nilai pH yang sebelumnya sulit teridentifikasi dengan pengukuran manual. Dengan demikian, alat *monitoring pH real-time* tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu tetapi juga kualitas kontrol proses *nickel plating* secara keseluruhan.

Data produksi juga menginterpretasi adanya optimasi proses pada tank 14B yang dapat dilihat dari persentase terjadinya *defect* yang dapat dilihat pada Tabel 7. Pada periode Januari 2025 sebelum penerapan *monitoring pH* secara *real-time*, persentase *defect* masih cukup tinggi, yaitu berkisar pada 8,2–8,3%. Namun setelah sistem *monitoring pH* diterapkan pada Februari 2025, persentase *defect* turun signifikan hingga berada di kisaran 3,1–3,9%. Hal ini menunjukkan bahwa kestabilan pH melalui sistem *monitoring* secara *real-time* berperan penting dalam meningkatkan konsistensi hasil produksi pada proses *nickel plating* di Tank 14.

Tabel 7. Perbandingan sebelum dan sesudah penerapan monitoring pH real-time pada tank 14B

Periode (2025)	Week	Total Output	Total Defect	Persentase Defect	Remark (defect)
Januari (Sebelum Monitoring pH)	Week 4	1,034	86	8,3%	<i>discoloration, rough, burn mark, unplated, minor rough, slight discoloration</i>
	Week 5	1,122	92	8,2%	
Februari (Sesudah Monitoring pH)	Week 6	1,107	43	3,9%	
	Week 7	1,182	37	3,1%	

*Monitoring* pH secara *real-time* mampu menurunkan persentase *defect* karena sistem ini memungkinkan deteksi dan koreksi langsung jika kondisi pH mulai keluar dari rentang optimal, sehingga kualitas proses *plating* tetap stabil. Dengan pengendalian yang lebih responsif, fluktuasi ekstrem yang menyebabkan *defect* dapat dicegah, sehingga hasil akhir menjadi lebih konsisten dan *defect* berkurang signifikan.

Lebih lanjut untuk memahami penyebab fluktuasi yang terjadi, hasil dari *individual chart* kemudian dibandingkan dengan *record* harian proses *nickel plating* untuk mengidentifikasi fluktuasi atau penyimpangan yang terjadi. Analisis menunjukkan adanya keterkaitan, dimana fluktuasi pH terjadi selama proses *nickel plating* berlangsung. Fluktuasi ini disebabkan oleh reaksi kimia selama *electroplating*, dimana ion nikel ( $\text{Ni}^{2+}$ ) dan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) 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 ( $\text{OH}^-$ ) juga terbentuk, yang dapat meningkatkan alkalinitas lokal. Akibatnya, pH larutan menjadi tidak stabil dan sering berfluktuasi [19].

Fluktuasi pH dipengaruhi oleh berbagai faktor proses, seperti konsentrasi larutan, suhu, dan waktu pengerjaan yang memengaruhi keseimbangan ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dalam larutan. Fluktuasi pH yang ekstrem sehingga keluar dari rentang spesifikasi dapat memicu pembentukan endapan kasar, ketidakteraturan ketebalan lapisan, serta cacat pada hasil pelapisan. Ketidakseimbangan ion-ion hidrogen dan hidroksida yang timbul selama reaksi elektrokimia serta pengaruh penambahan zat kimia penstabil pH menjadi penyebab utama fluktuasi ini yang memengaruhi daya lekat, ketebalan, dan kekerasan lapisan nikel sehingga meningkatkan persentase kegagalan produksi [20][21].

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. Penelitian yang ada mendukung pentingnya kedua aspek ini untuk mencapai hasil yang optimal dalam aplikasi industri [22].

#### 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. Data produksi pada *tank* 14B menginterpretasi adanya optimasi proses, di mana persentase *defect* turun dari 8,2–8,3% (Januari 2025) menjadi 3,1–3,9% (Februari 2025) setelah penerapan *monitoring* pH, yang menunjukkan peran penting kestabilan pH dalam menjaga konsistensi hasil produksi. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa alat dapat digunakan sebagai alat bantu kontrol kualitas produksi *nickel plating* yang sebelumnya belum ada. Alat ini membantu teknisi menentukan jadwal pemeliharaan, terutama penggantian *filter* secara berkala, untuk mengatasi fluktuasi pH yang ekstrem yang dapat memengaruhi kestabilan proses dan kualitas produk. Dengan demikian, alat ini bukan hanya memantau pH, tetapi juga mempermudah pengambilan keputusan perawatan *tank nickel plating* secara lebih efektif dan efisien.

## Daftar Pustaka

- [1] V. Tseluikin, A. Dzhumieva, D. Tikhonov, A. Yakovlev, A. Strilets, A. Tribis, and M. Lopukhova, "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. Razeed, 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] J. P. Holman, *Experimental Methods for Engineers*, 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2012.
- [19] K. Mazur, A. Stefańska, and M. Hebda, "Analysis of Chemical Nickel-Plating Process," *Materials Science*, vol. 54, pp. 387–394, 2018, doi: 10.1007/s11003-018-0196-x.
- [20] M. G. Martins, *The effect of electroplating parameters on the durability and corrosion protection of nickel coatings on steel*, Master thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal, 2020.
- [21] Sugiyarta, Bayuseno, dan Nugroho, "Pengaruh konsentrasi larutan dan kuat arus terhadap ketebalan pada proses pelapisan nikel untuk baja karbon rendah," *Rotasi*, vol. 14, no. 4, pp. 23–27, Okt. 2012.
- [22] 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.

This Page Intentionally Left Blank