

KONTROL KUALITAS PEMBUANGAN LIMBAH ETCHING DI LABORATORIUM TRSE BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN IoT

Isa Evander Richard¹, Medi Yuwono Tharam², Hasan³, Satrio⁴

¹⁻⁴ Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri
Pontianak

Jl. Jenderal Ahmad Yani, Kota Pontianak, Kalimantan Barat 78124

*Penulis Korespondensi: svansync@gmail.com¹

Abstract. Etching waste containing ferric chloride (FeCl_3) is corrosive and potentially contaminates the environment if disposed of without proper treatment. At the TRSE Laboratory, waste quality monitoring was previously conducted manually, posing a risk of delays in detecting substandard waste. This study designs a monitoring and control system for etching waste quality based on the ESP32 microcontroller integrated with Internet of Things (IoT) technology via the Blynk application. The system uses pH (E-4502C), TDS (Gravity DFRobot), turbidity, and ultrasonic HC-SR04 sensors to monitor water quality parameters in real-time. Sensor data is transmitted directly to the Blynk dashboard for remote access via mobile devices. The system is also equipped with an automatic control mechanism using a DC pump for recirculation through two filtration stages (zeolite sand and Reverse Osmosis) when waste quality does not meet standards. Test results show that the system successfully reads parameters stably with pH values ranging from 6.30–6.69, TDS at 81–98 ppm, and turbidity at 100 NTU after filtration. This system effectively assists the etching waste treatment process to be safer, more efficient, and environmentally friendly.

Keywords: Etching waste, ESP32, IoT, Blynk, pH sensor, TDS, turbidity, waste monitoring

Abstrak. Limbah etching yang mengandung ferric chloride (FeCl_3) bersifat korosif dan berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan yang tepat. Di Laboratorium Teknik Rekayasa Sistem Elektronika (TRSE), pemantauan kualitas limbah sebelumnya masih dilakukan secara manual sehingga berisiko terlambat dalam mendeteksi limbah yang tidak memenuhi standar. Penelitian ini merancang sistem monitoring dan pengendalian kualitas limbah etching berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Blynk. Sistem menggunakan sensor pH (E-4502C), TDS (Gravity DFRobot), turbidity, dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau parameter kualitas air secara real-time. Data sensor dikirim langsung ke dashboard Blynk sehingga dapat diakses dari jarak jauh melalui perangkat mobile. Sistem juga dilengkapi mekanisme kontrol otomatis berupa pompa DC untuk melakukan sirkulasi ulang melalui dua tahap filtrasi (pasir zeolit dan Reverse Osmosis) apabila kualitas limbah belum memenuhi standar. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca parameter secara stabil dengan nilai pH pada rentang 6,30–6,69, TDS berkisar 81–98 ppm, dan turbidity pada 100 NTU setelah proses filtrasi. Sistem ini efektif membantu pengolahan limbah etching agar lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Limbah etching, ESP32, IoT, Blynk, sensor pH, TDS, turbidity, monitoring limbah

1. LATAR BELAKANG

Limbah cair hasil proses etching logam, khususnya yang mengandung senyawa ferric chloride (FeCl_3), merupakan salah satu jenis limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang menjadi perhatian serius dalam pengelolaan lingkungan industri dan laboratorium. Senyawa ini melepaskan ion besi (Fe^{3+}) dan klorida (Cl^-) yang bersifat toksik dan berpotensi merusak ekosistem perairan apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai [1].

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, ambang batas maksimal kadar besi (Fe) pada air minum adalah 0,3 mg/L, sedangkan menurut Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, kadar maksimum Fe pada limbah cair adalah 1,0 mg/L. Regulasi ini menegaskan bahwa pembuangan limbah etching secara sembarangan dapat menimbulkan risiko hukum sekaligus kerusakan ekosistem yang serius.

Di Laboratorium Teknik Rekayasa Sistem Elektronika (TRSE) Politeknik Negeri Pontianak, proses etching untuk pembuatan PCB merupakan kegiatan yang rutin dilaksanakan. Namun, pemantauan kualitas limbah yang dihasilkan masih dilakukan secara manual, yang tidak efisien dan rawan keterlambatan deteksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis yang mampu memantau dan mengendalikan kualitas limbah secara real-time.

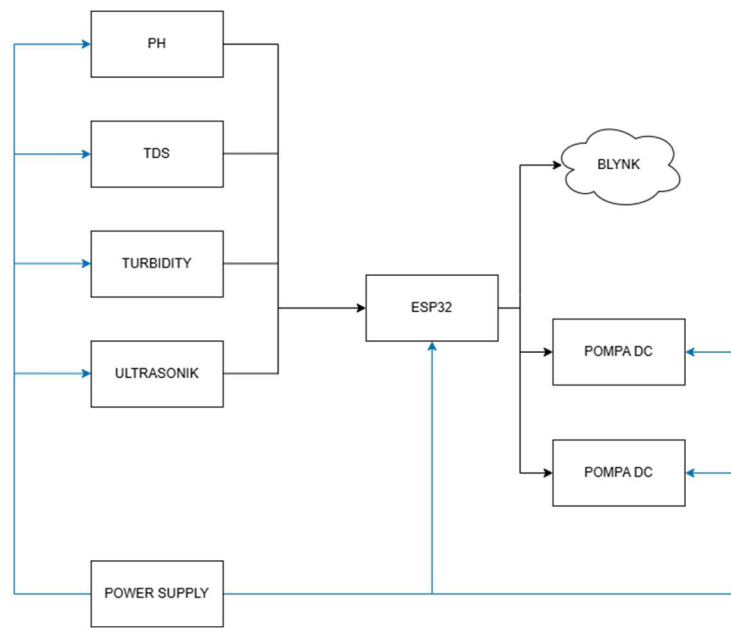
Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dan mikrokontroler ESP32 telah membuka peluang bagi pengembangan sistem monitoring kualitas air yang terjangkau namun akurat. Beberapa penelitian terdahulu membuktikan keefektifan pendekatan ini: Chuzaini & Dzulkiflih (2022) mengembangkan sistem monitoring berbasis ESP32 dengan akurasi 98,28%–100% [2]; Lestari & Zafia (2022) membangun sistem monitoring PAMSIMAS dengan akurasi sensor pH mencapai 97,88% [3]; serta Kamil et al. (2022) yang mengintegrasikan web server dengan parameter QoS delay rata-rata hanya 43,87 ms [4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta pengendalian kualitas limbah etching berbasis ESP32 dan IoT yang dilengkapi mekanisme filtrasi dua tahap secara otomatis, guna memastikan kualitas air limbah memenuhi standar sebelum dibuang ke lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Diagram Blok Desain

Diagram blok sistem yang akan dibuat ditunjukkan pada gambar 1



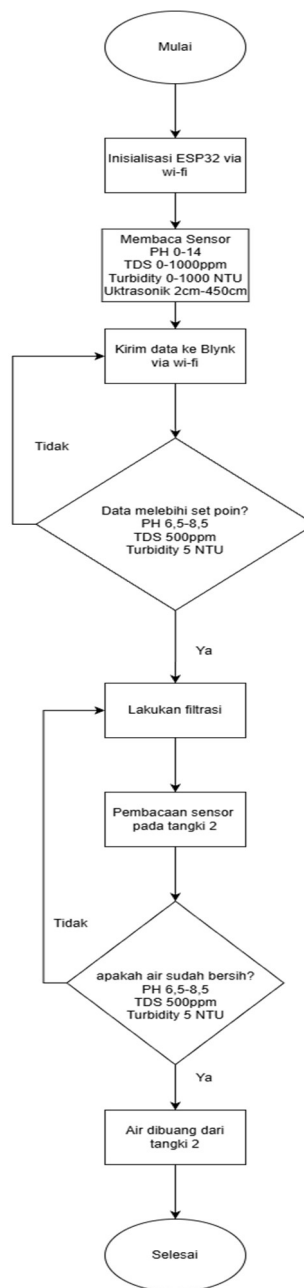
Gambar 1. Diagram Blok Desain

Berdasarkan gambar blok diagram dapat diketahui bahwa terdapat beberapa blok yang memiliki fungsi masing-masing yaitu :

Mikrokontroler Arduino Mega berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengatur keseluruhan sistem smart dispenser, memastikan setiap komponen saling terhubung dan bekerja secara terkoordinasi. Sensor proximity digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek wadah air yang diletakkan di bawah dispenser. RFID berfungsi mengidentifikasi tag RFID sebagai identitas pengguna sebelum penggunaan alat. Keypad digunakan sebagai tombol input bagi pengguna untuk memilih jumlah air yang diinginkan. Power supply berperan sebagai konverter dari arus listrik AC menjadi DC. Buck converter digunakan untuk menurunkan tegangan DC sesuai kebutuhan sistem. LCD berfungsi menampilkan informasi akses pengguna, baik validitas kartu maupun notifikasi jika pengguna telah mencapai batas maksimum tiga kali pengambilan air. Relay bekerja sebagai saklar elektronik yang membuka dan menutup aliran arus berdasarkan kendali dari mikrokontroler. Water pump digunakan untuk memompa air dari galon dan mengalirkannya ke dalam wadah seperti gelas atau botol.

Flowchart Sistem

Berikut adalah adalah cara kerja dari sistem flowchart terdiri dari beberapa langkah dapat dilihat pada gambar 2, yaitu:



Gambar 2. Flowchart Sistem

1. Langkah pertama yaitu mulai dengan sistem otomatis
2. Inisialisasi ESP32 agar dapat terhubung ke wifi yang memungkinkan sistem dapat mengirim data sensor secara online setelah berhasil terkoneksi ESP32 akan mulai membaca data dari berbagai sensor yang terpasang, yaitu sensor pH, TDS, turbidity, dan sensor ultrasonik. Sensor-sensor ini bertugas memantau kondisi air limbah, mulai dari tingkat keasaman, jumlah zat terlarut, tingkat kekeruhan, hingga tinggi permukaan air dalam tangki. Semua data hasil pembacaan sensor ini

dikirimkan secara real-time ke aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem langsung dari smartphone.

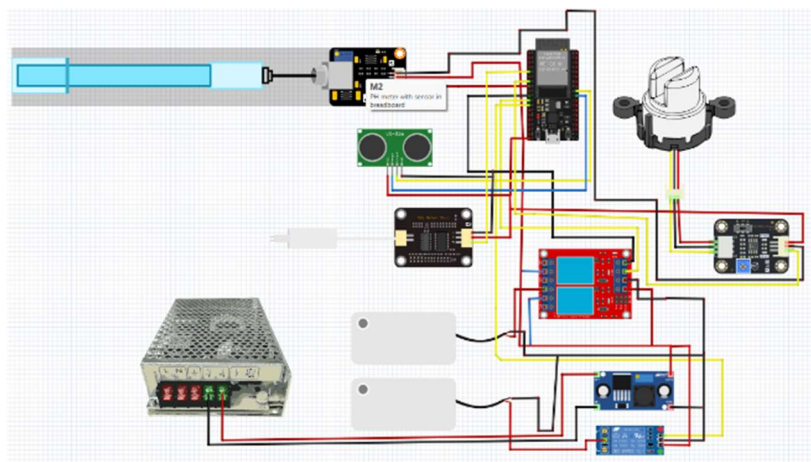
3. Membaca kualitas air:

Limbah pertama kali masuk di wadah ke 1 sebelum masuk proses filter dari wadah ke 1 akan melalui proses filter dan kemudian masuk ke proses sensor pada tangki 2 jika hasil pembacaan menunjukkan bahwa nilai parameter kualitas air masih belum memenuhi standar pH terlalu asam, air terlalu keruh, atau kadar zat terlarut terlalu tinggi maka sistem akan melakukan penyaringan kembali ke filter 1. Jika jika sensor sudah memenuhi standar kualitas air yang diinginkan maka air siap dibuang.

4. Setelah sensor mendapatkan data dari limbah maka akan otomatis mengirim data sensor secara real-time ke blynk jika terkoneksi ke internet dengan ini pengguna dapat memantau kondisi air limbah darimana saja.
5. Jika air sudah melalui sistem filter maka akan masuk ke dalam tangki 2 sensor akan mengecek kembali kualitas air
6. Apakah air sudah bersih? Jika belum maka limbah akan kembali masuk ke proses filter kembali, jika sudah maka air dapat dibuang
7. Jika air sudah bersih maka air akan dibuang melalui pembuangan yang ada pada tangki 2 secara otomatis
8. Proses selesai dan akan dimulai lagi jika ada data baru dari sensor

Rancangan Sistem Keseluruhan

Pada tahap ini akan dilakukan pengawatan secara keseluruhan antara input, output, dan Esp32 (gambar 3), sedangkan koneksi pin input dan output dirangkum dalam tabel 1.



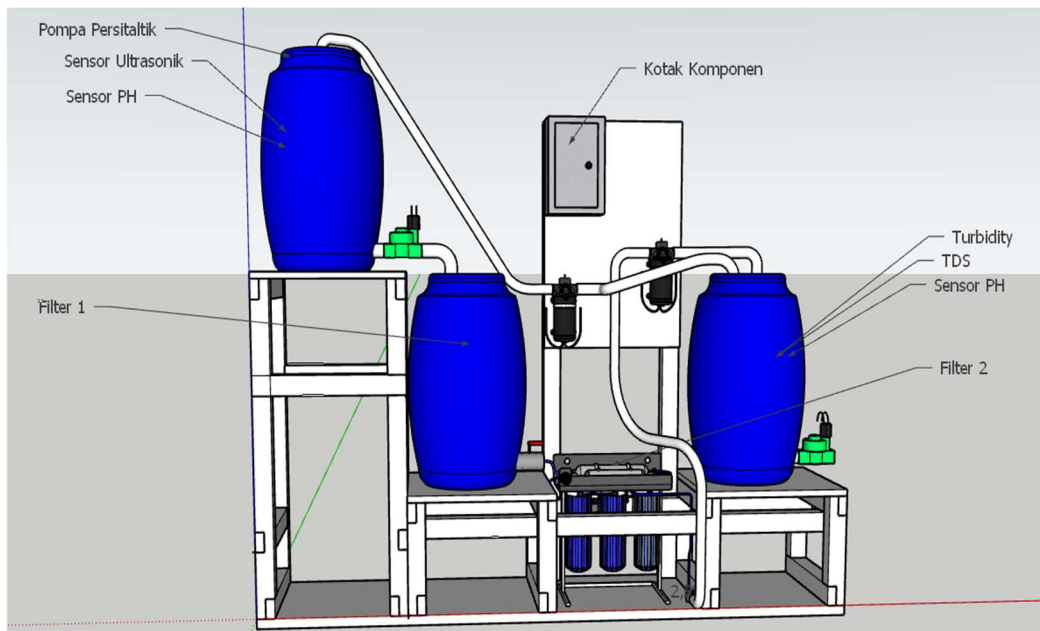
Gambar 3. Wiring Penjaluran Sistem Controller

Tabel 1. Pin yang Dipakai

No	Komponen	VCC	GND	DATA / I/O Pin	Keterangan
1	ESP32	5V (dari buck converter)	GND (shared)	-	Pusat kendali
2	Sensor pH (E-4502C)	3.3V	GND	A0 → GPIO35	Output analog
3	Sensor TDS (DFRobot)	3.3V	GND	A1 → GPIO35	Output analog
4	Sensor Turbidity (SEN0189)	5V dari buck converter	GND	A2 → GPIO32	Output analog
5	Sensor Ultrasonik (US-015)	5V	GND	Trig → GPIO12, Echo → GPIO14	Jarak permukaan air
6	Relay 2 Channel	5V dari buck converter	GND	IN1 → GPIO27, IN2 → GPIO26	Aktuator pompa DC dan peristaltik
7	Pompa Peristaltik	+ → COM1 (Relay 1)	- → GND power supply	-	Dikendalikan oleh Channel 1 relay
8	Pompa DC Air	+ → COM2 (Relay 2)	- → GND power supply	-	Dikendalikan oleh Channel 2 relay
9	Buck Converter (LM2596)	IN+ → +12V, IN- → GND	OUT- → GND	OUT+ → 5V ke sensor & ESP32	Penurun 12V ke 5V

Desain Rancangan Alat

Sebuah alat mekanik yang terbuat dari bahan besi dan plastik telah dirancang dan dipersiapkan secara khusus untuk keperluan pada system ini. Desain alat ini telah disusun dengan sedemikian rupa agar semua komponen elektronik dapat dipasang dan bereoperasi didalamnya, tahap perancangan sistem ini desain yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Model Perancangan Keseluruhan

Keterangan :

- a. Filter Ro(Reverse Osmosis)
- b. Sensor Ultrasonik
- c. Sensor Turbidity
- d. Sensor TDS
- e. Selang Air
- f. Sensor PH
- g. Tong air
- h. Keran
- i. Kotak Komponen
- j. Pompa Dc

Untuk komponen *Esp32*, *Relay*, *Power Supply*, *Buck Converter* dan berada pada *kotak komponen* bagian atas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem monitoring kualitas air dilakukan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan parameter yang diamati meliputi pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan turbidity. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor pada

kondisi pengoperasian yang berbeda. Hasil pengukuran ditampilkan secara real-time sistem monitoring berbasis Blynk.

Pengukuran Limbah Etching Sebelum Di Filter



Gambar 5. Pengukuran TDS air sebelum di filter



Gambar 6. PH air sebelum di filter

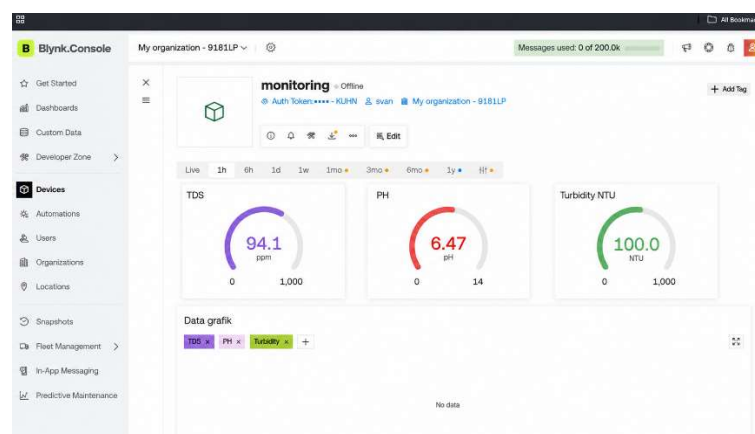
Pengukuran Sensor setelah melalui proses filter ke-1

Timestamp	Tinggi (cm)	pH	NTU	TDS (ppm)
03:25:47.584	10.3	6.51	98.3	94
03:25:48.831	10.3	6.36	97.6	96
03:25:50.040	10.3	6.32	96.8	97
03:25:51.272	10.3	6.62	98.5	97
03:25:52.496	10.3	6.37	97.1	97
03:25:52.743	10.3	6.69	98.9	96
03:25:54.955	10.3	6.43	97.4	98
03:25:56.197	10.3	6.48	98.1	98
03:25:57.425	10.3	6.44	98.7	99
03:25:58.653	10.3	6.11	96.2	97
03:25:59.894	10.3	14.13	95.8	96
03:26:01.128	9.0	12.12	95.1	93
03:26:02.336	10.3	15.33	94.6	92
03:26:03.574	10.3	3.03	93.7	91
03:26:04.783	10.3	3.01	92.8	91
03:26:06.035	10.3	3.08	94.0	92
03:26:07.244	10.3	3.22	94.2	90
03:26:08.468	10.3	3.27	93.6	85
03:26:09.694	10.3	3.02	92.9	82
03:26:10.939	10.3	3.23	92.5	80
03:26:12.149	10.3	3.24	92.7	83
03:26:13.355	10.3	3.24	92.8	81
03:26:14.603	10.3	3.23	92.6	81
03:26:15.850	10.3	3.20	93.0	82
03:26:17.089	10.3	3.22	92.9	82

Gambar 7. Hasil Filter Ke-1

Tabel 2. Hasil Pembacaan yang tercatat pada serial monitor Filter Ke-1

No. Sampel	Ketinggian Air (cm)	pH	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)
1	10,3	6,51	98,3	94
2	10,3	6,36	97,6	96
3	10,3	6,32	96,8	97
4	10,3	6,62	98,5	97
5	10,3	6,37	97,1	97
6	10,3	6,69	98,9	96
7	10,3	6,43	97,4	98
8	10,3	6,48	98,1	98
9	10,3	6,44	98,7	99
10	10,3	6,11	96,2	97



Gambar 8. Tampilan Blynk Hasil Pengukuran Ke-1

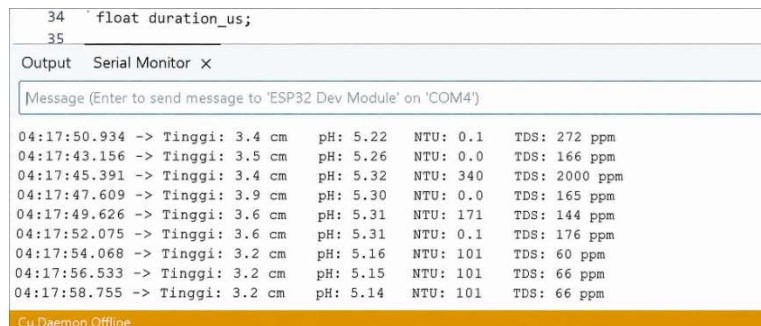
Analisa Hasil Pengukuran Sensor pada Filter Ke-1

Berdasarkan Tabel 2, sepuluh data awal hasil pembacaan sensor pada tahap filter ke-1 menunjukkan pola yang stabil, dengan nilai pH berada pada rentang 6,11 hingga 6,69 (rata-rata 6,43), kekeruhan (NTU) pada rentang 96,2 hingga 98,9 (rata-rata 97,76), dan TDS pada rentang

94 hingga 99 ppm (rata-rata 96,9 ppm). Apabila dibandingkan dengan kondisi limbah sebelum filtrasi (TDS 900 ppm dan pH 2,5), hasil ini menunjukkan penurunan konsentrasi zat terlarut yang signifikan serta kenaikan pH mendekati netral, yang mengindikasikan bahwa proses filtrasi tahap pertama bekerja secara efektif pada fase awal pengujian.

Namun demikian, data pada Serial Monitor (Gambar 7) menunjukkan bahwa setelah sepuluh pembacaan awal tersebut, muncul anomali berupa lonjakan nilai pH secara tiba-tiba ke angka 14,13; 12,12; dan 15,33 — nilai yang berada di luar skala pH yang mungkin (0–14) sehingga dapat dipastikan merupakan kesalahan pembacaan sensor, bukan kondisi aktual limbah. Setelah lonjakan tersebut, pembacaan pH tidak kembali ke rentang stabil semula (6,11–6,69), melainkan menetap pada rentang baru yaitu sekitar 3,01 hingga 3,27, disertai penurunan nilai NTU (ke kisaran 92,5–94,2) dan TDS (ke kisaran 80–93 ppm). Perubahan pola pembacaan yang menetap pada rentang berbeda ini menunjukkan kemungkinan adanya gangguan pada sensor atau perubahan kondisi pengujian yang belum teridentifikasi, dan memerlukan investigasi lebih lanjut sebelum data pada fase ini dapat dianggap mewakili kondisi limbah yang sesungguhnya. Data pada Tabel 2 yang digunakan sebagai representasi utama hasil filter ke-1 dalam artikel ini merupakan sepuluh pembacaan awal sebelum anomali tersebut muncul.

Hasil Pengukuran Sensor Filter ke-2

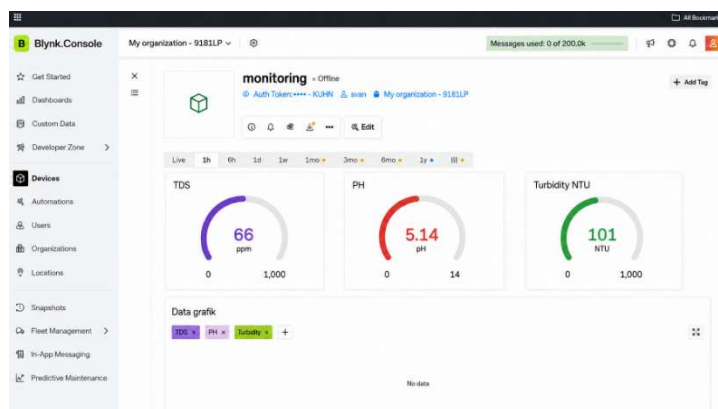


Time	Tinggi (cm)	pH	NTU	TDS (ppm)
04:17:50.934	3,4	5,22	0,1	272
04:17:43.156	3,5	5,26	0,0	166
04:17:45.391	3,4	5,32	340	2000
04:17:47.609	3,9	5,30	0,0	165
04:17:49.626	3,6	5,31	171	144
04:17:52.075	3,6	5,31	0,1	176
04:17:54.068	3,2	5,16	101	60
04:17:56.533	3,2	5,15	101	66
04:17:58.755	3,2	5,14	101	66

Gambar 9. Hasil Filter Ke-2

Tabel 3. Hasil Pembacaan yang tercatat pada serial monitor Filter Ke-2

No. Sampel	Ketinggian Air (cm)	pH	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)
1	3,4	5,22	0,1	272
2	3,5	5,26	0	166
3	3,4	5,32	340	2000
4	3,9	5,3	0	165
5	3,6	5,31	171	144
6	3,6	5,31	0,1	176
7	3,2	5,16	101	60
8	3,2	5,15	101	66



Gambar 10. Tampilan Blynk Hasil Pengukuran Ke-2

Data pada Tabel 3 menunjukkan karakteristik yang berbeda dibandingkan hasil filter ke-1. Nilai pH relatif konsisten pada rentang 5,14 hingga 5,32 (lebih asam dibandingkan hasil filter ke-1 tahap awal yang mencapai 6,11–6,69), sedangkan nilai kekeruhan (NTU) dan TDS menunjukkan fluktuasi yang sangat besar dan tidak konsisten — NTU bervariasi dari 0,0 hingga 340,0, dan TDS bervariasi dari 60 hingga 2000 ppm dalam rentang waktu pengujian yang singkat (kurang dari 20 detik). Fluktuasi ekstrem ini secara fisik tidak wajar untuk kondisi air yang homogen dan mengindikasikan adanya gangguan pembacaan pada sensor turbidity dan TDS pada tahap ini, kemungkinan disebabkan oleh ketinggian air yang rendah (3,2–3,9 cm) sehingga posisi sensor tidak sepenuhnya terendam secara stabil, atau adanya gelembung udara/interferensi elektrik selama pengujian. Nilai pH yang tidak mengalami perbaikan dibandingkan filter ke-1 turut mengindikasikan bahwa tahap filter ke-2 pada pengujian ini belum menunjukkan peningkatan kualitas limbah yang diharapkan, sehingga temuan ini menjadi catatan penting untuk perbaikan desain pengujian selanjutnya.

Analisis Perbandingan Keseluruhan Tahapan

Secara umum, perbandingan ketiga tahap pengukuran menunjukkan tren perbaikan kualitas limbah pada tahap awal filtrasi, namun belum konsisten hingga tahap filter ke-2. Sebelum filtrasi, limbah tercatat sangat asam (pH 2,5) dan pekat (TDS 900 ppm). Setelah filter ke-1 (fase stabil awal), pH naik mendekati netral (6,11–6,69) dan TDS turun signifikan (94–99 ppm), menunjukkan efektivitas filtrasi tahap pertama. Akan tetapi, data filter ke-1 pada fase lanjutan dan seluruh data filter ke-2 menunjukkan ketidakstabilan yang mengindikasikan bahwa sistem belum sepenuhnya andal dalam mempertahankan kualitas pembacaan secara konsisten di sepanjang durasi pengujian maupun pada tahap filtrasi berikutnya. Temuan ini penting untuk diungkapkan secara transparan sebagai dasar perbaikan pada pengembangan sistem selanjutnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini merancang dan menguji sistem monitoring serta pengendalian kualitas limbah etching berbasis ESP32 dan IoT yang terintegrasi dengan aplikasi Blynk. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan tingkat keasaman limbah dari pH 2,5 (sebelum filtrasi) menjadi mendekati netral pada rentang 6,11–6,69 pada fase awal filter ke-1, serta menurunkan konsentrasi zat terlarut (TDS) dari 900 ppm menjadi 94–99 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme filtrasi tahap pertama (pasir zeolit) cukup efektif dalam memperbaiki kualitas limbah pada kondisi pengujian awal.

Meskipun demikian, penelitian ini juga menemukan sejumlah keterbatasan yang perlu diungkapkan secara jujur. Pertama, ditemukan anomali pembacaan sensor pH pada fase lanjutan filter ke-1, berupa lonjakan nilai di luar skala pH yang wajar, yang kemudian menetap pada rentang berbeda (pH 3,01–3,27) dan belum dapat dijelaskan penyebabnya secara pasti. Kedua, data pada tahap filter ke-2 menunjukkan fluktuasi ekstrem pada parameter turbidity (0,0–340,0 NTU) dan TDS (60–2000 ppm), serta nilai pH yang tidak menunjukkan perbaikan dibandingkan filter ke-1, mengindikasikan bahwa sistem belum bekerja secara andal pada tahap ini. Ketiga, seluruh pengujian dilakukan dalam skala terbatas (satu rangkaian pengujian untuk masing-masing tahap) sehingga belum mencerminkan konsistensi jangka panjang, dan data sensor belum divalidasi terhadap alat ukur pH/TDS standar yang terkalibrasi.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan tersebut, penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan beberapa perbaikan sebagai berikut:

1. Investigasi dan kalibrasi ulang terhadap sensor Ph, Turbidity dan Tds untuk setiap melakukan pengukuran setelah melalui filter
2. Pengujian dengan ketinggian air yang cukup agar sensor terendam secara stabil agar dapat membaca dengan normal
3. Proses Filter diperlukan peningkatan agar prosesnya agar airnya bisa lebih jernih

DAFTAR REFERENSI

- [1] Chuzaini, F., & Dzulkiflih. (2022). Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT menggunakan sensor DS18B20, pH, dan TDS dengan mikrokontroler ESP32. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 10(1), 21–29.
- [2] Chuzaini, F., & Dzulkiflih. (2022). *Ibid.*

- [3] Lestari, R., & Zafia, U. (2022). Pengembangan sistem monitoring kualitas air PAMSIMAS berbasis IoT di Desa Cendana. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 5(3), 112–120.
- [4] Kamil, M., Rahmat, R., & Primadianti, D. (2022). Perancangan sistem monitoring kualitas air minum berbasis web server dan Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8(4), 507–515.
- [5] Amani, S., & Prawiroredjo, D. (2016). Pengembangan alat ukur kualitas air berbasis mikrokontroler dengan parameter pH, suhu, kekeruhan, dan TDS. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 3(2), 45–51.
- [6] Kementerian Kesehatan RI. (2010). Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta: Kemenkes RI.
- [7] Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran VI Baku Mutu Air Limbah. Jakarta: Sekretariat Negara.