

**APLIKASI SENSOR pH SEN0161 DALAM RANCANG BANGUN
SISTEM MONITORING OTOMASI PADA LARUTAN LIMBAH
YANG MENGANDUNG LOGAM BERAT**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Fisika**

**OLEH:
ARINI ALFAHIDAYAH
NIM. 08021282126025**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI SENSOR pH SEN0161 DALAM RANCANG BANGUN
SISTEM MONITORING OTOMASI PADA LARUTAN LIMBAH
YANG MENGANDUNG LOGAM BERAT

Skripsi

*Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Fisika*

Oleh:

ARINI ALFAHIDAYAH

NIM. 08021282126025

Indralaya, 21 Mei 2025

Pembimbing I



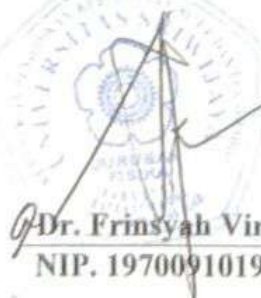
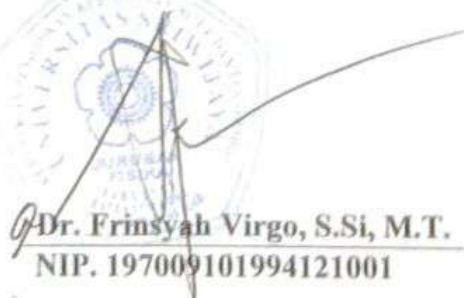
Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.
NIP. 197010191995122001

Pembimbing II



Dr. Erry Koriyanti, M.T.
NIP. 196910261995122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T.
NIP. 197009101994121001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya:

Nama : Arini Alfahidayah

NIM : 0802128212625

Judul TA : Aplikasi Sensor pH SEN0161 dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Otomasi pada Larutan Limbah yang Mengandung Logam Berat

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun merupakan hasil karya sendiri yang didampingi oleh dosen pembimbing dalam proses penyelesaiannya serta mengikuti etika penulisan karya ilmiah tanpa adanya Tindakan Plagiat, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Program studi Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan Sebenar-benarnya tanpa ada paksaan plagiat dalam skripsi ini. dari pihak manapun. Apabila ditemukan adanya unsur plagiat dalam skripsi ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 05 Mei 2025

Yang menyatakan,



Arini Alfahidayah
NIM. 08021282126025

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya].

Skripsi ini merupakan hasil dari proses panjang yang penuh tantangan. Banyak malam-malam tanpa tidur yang dilalui, hari-hari penuh kebimbangan, serta perjuangan batin untuk terus bertahan di tengah kelelahan fisik dan mental. Namun, sebagaimana kata Hi-Vi:

“Pelaud hebat tak pernah lahir di laut yang tenang.”

Perjalanan ini telah menempa penulis, membentuk keteguhan hati, serta mengajarkan nilai-nilai kesabaran dan ketekunan yang tidak ternilai. Sampailah di hari ini, dengan pikiran yang lebih dewasa, penulis siap menerima kemudahan-kemudahan yang akan datang kepada penulis. Rasa terima kasih tak terhingga penulis sampaikan kepada:

1. Allah Swt. Atas limpahan rahmat dan karunianya, kesulitan dan kemudahannya yang telah menguatkan penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini sekaligus mengajarkan banyak hal kepada penulis selama masa perkuliahan ini khususnya, yang membuat penulis menjadi pribadi yang jauh lebih baik.
2. Rasa terima kasih tak terhingga kepada orang tua penulis, Bapak Mazuhu dan Ibu Emi Enersi atas do'a, cinta dan kasih sayangnya yang selalu menyertai langkah penulis.
3. Terima kasih kepada adik-adik penulis atas dukungannya kepada penulis, yang selalu menghibur penulis disaat ada masalah dan memberikan masalah saat baik-baik saja.
4. Terima kasih juga kepada Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I dalam penelitian ini dan juga Dr. Erry Koriyanti, M.T. selaku

dosen pembimbing II yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, ilmu, do'a yang sangat berharga selama proses penulisan ini berlangsung.

5. Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh Bapak dan Ibu Dosen Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya atas ilmu dan wawasan yang telah diberikan selama masa perkuliahan, serta bantuan dalam penyelesaian skripsi.
6. Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf administrasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya atas bantuan dalam urusan administrasi.
7. Penulis juga mengucapkan rasa terima kasih kepada teman-teman anak buk Fit aka grup pemrosesan sinyal sekaligus teman satu tim dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang juga selalu kebersamai pada masa perkuliahan. Kepada Weanda, Irma Suryani, Dede Ridwan Ismail, dan Sadam Husin semoga kita semua bisa menggapai mimpi kita masing-masing khususnya mulai hari ini 23 Mei 2025.
8. Rasa bangga dan terima kasih kepada almamater, Universitas Sriwijaya yang banyak memberikan kesempatan dan mengajarkan banyak hal kepada penulis.
9. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan, penelitian, hingga penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
10. Dan kepada diri sendiri, yang mampu bertahan sampai detik ini dan masa-masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini ke depannya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi ladang amal jariyah bagi kita semua. Aamiin.

Indralaya, 23 Mei 2025

Penulis,



Arini Alfahidayah
NIM.08021282126025

**APPLICATION OF SEN0161 pH SENSOR IN THE DESIGN AND
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM FOR
WASTEWATER CONTAINING HEAVY METALS**

By:

**Arini Alfahidayah
NIM: 08021282126025**

ABSTRACT

The management of liquid waste containing heavy metals such as lead (Pb), chromium (Cr), mercury (Hg), and cadmium (Cd) presents a serious environmental challenge in Indonesia due to their toxic nature, which can pollute ecosystems and endanger human health. The pH parameter is a critical indicator in waste management, as it influences the solubility, mobility, and toxicity of heavy metals. Conventional methods of pH monitoring have significant limitations, including the lack of real-time data and the requirement for intensive labor. This study aims to design and evaluate an automatic pH monitoring system using the SEN0161 pH sensor integrated with an ESP32 microcontroller, an I2C LCD display, and the Blynk application. The system is designed to provide real-time and remote pH monitoring and was tested on liquid waste samples containing heavy metals. The test results show that the SEN0161 pH sensor achieved an accuracy of 98.58% and a precision of 99.60%, with a measurement error of less than 1.2% in most samples. Although a slight decrease in accuracy was observed in solutions containing Pb^{2+} ions due to ionic interference, the error remained well below the acceptable tolerance threshold of 5%. Based on this performance, the system is considered suitable for automatic and efficient pH monitoring applications in liquid waste management, aligning with environmental management needs in Indonesia.

Keywords: Sensor pH, SEN0161, Logam Berat, Limbah Cair, Sistem Monitoring, IoT, ESP32

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.
NIP. 197010191995122001

Indralaya, 07 Mei 2025

Pembimbing II



Dr. Erry Koriyanti, M.T.
NIP. 196910261995122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T.
NIP. 197009101994121001

**APLIKASI SENSOR pH SEN0161 DALAM RANCANG BANGUN
SISTEM MONITORING OTOMASI PADA LARUTAN LIMBAH
YANG MENGANDUNG LOGAM BERAT**

Oleh:

**Arini Alfahidayah
NIM: 08021282126025**

ABSTRAK

Pengelolaan limbah cair yang mengandung logam berat seperti timbal (Pb), kromium (Cr), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd) merupakan tantangan serius di Indonesia karena sifat toksiknya yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan. Parameter pH menjadi indikator penting dalam pengelolaan limbah karena memengaruhi kelarutan, mobilitas, dan toksisitas logam berat. Metode konvensional pemantauan pH memiliki keterbatasan seperti tidak tersedianya data secara *real-time* dan membutuhkan tenaga kerja intensif. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem monitoring pH otomatis berbasis sensor pH SEN0161 yang terintegrasi dengan ESP32, LCD I2C, dan aplikasi Blynk. Sistem dirancang untuk memberikan pemantauan pH secara *real-time* dan jarak jauh, serta diuji pada sampel limbah cair yang mengandung logam berat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH SEN0161 memiliki akurasi sebesar 98,58% dan presisi 99,60%, dengan *error* pengukuran di bawah 1,2% pada sebagian besar sampel. Meskipun terdapat sedikit penurunan akurasi pada larutan yang mengandung ion Pb^{2+} karena interferensi ionik, nilai *error* tetap berada di bawah ambang batas toleransi 5%. Dengan performa tersebut, sistem ini dinyatakan layak untuk digunakan dalam aplikasi pemantauan pH limbah cair secara otomatis dan efisien, sesuai dengan kebutuhan pengelolaan lingkungan di Indonesia.

Kata kunci: Sensor pH, SEN0161, Logam Berat, Limbah Cair, Sistem Monitoring, IoT, ESP32

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si.
NIP. 197010191995122001

Indralaya, 07 Mei 2025

Pembimbing II



Dr. Erry Koriyanti, M.T.
NIP. 196910261995122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T.
NIP. 197009101994121001

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORSISINILITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karakteristik Limbah	4
2.1.1 Logam Berat dalam Limbah.....	4
2.2 Konsep pH dan Pengukuran pH	6
2.3 Teknologi Sensor pH	7
2.4 Sensor pH SEN0161 Berbasis Elektroda Kaca Silika	8
2.6.1 Prinsip Kerja Sensor SEN0161	9
2.6.2 Material Aktif Sensor	12
2.5 Sensor Suhu DS18B20.....	14
2.6 Modul ESP32 Sebagai Mikrokontroler.....	15
2.7 Teknologi IoT dalam Monitoring dan Pengelolaan Limbah.....	16
2.8 <i>Software</i> Arduino IDE	17
2.9 Blynk.....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20

3.2	Desain dan Rancang Bangun Alat.....	21
3.2.1.	Konsep Alat.....	21
3.2.2.	Komponen Utama.....	21
3.2.3.	Bagan Alir Penelitian.....	23
3.3	Rancangan <i>Hardware</i> Sistem Monitoring pH Limbah Logam Berat.....	24
3.4	Rancangan <i>Software</i> Sistem Monitoring pH Limbah Logam Berat.....	27
3.4.1	Membuat Fitur Monitoring Blynk.....	29
3.4.2	Rancangan Software Arduino IDE.....	33
3.5	Metode Kalibrasi Sensor.....	34
3.6	Uji Coba dan Evaluasi	35
3.6.1	Persiapan Larutan Uji	35
3.6.2	Pengujian Sistem Monitoring Otomasi pH pada Sampel Limbah Larutan	37
3.6.3	Pengujian Validasi Data <i>Output</i> Pada Media Antarmuka Pengguna	39
3.7	Penerapan Monitoring pH Limbah.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Hasil Rancangan Sistem Monitoring pH Limbah Larutan	41
4.1.1	Hasil Rancangan <i>Hardware</i>	41
4.1.2	Hasil Rancangan <i>Software</i>	42
4.1.2.1	Hasil Rancangan <i>Software</i> Aplikasi Blynk.....	42
4.1.2.2	Hasil Rancangan <i>Software</i> Arduino IDE.....	43
4.2	Hasil Kalibrasi Sensor pH SEN0161 dan Sensor Suhu DS18B20.....	46
4.2.1	Hasil Kalibrasi Sensor pH SEN0161	46
4.2.2	Hasil Kalibrasi Sensor pH SEN0161	48
4.3	Pembahasan Uji Karakteristik Sensor.....	55
4.4.1	Hasil Pengujian Sistem Monitoring Otomasi pH pada Sampel Limbah Larutan	55
4.4.2	Pengaruh Suhu terhadap Nilai pH.....	62
4.4.3	Hasil Pengujian Validasi Data <i>Output</i> Pada Media Antarmuka Pengguna	64
4.5	Hasil Monitoring pH Limbah.....	65

BAB V PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Asal-usul Limbah Logam Berat.....	5
Gambar 2.2 Sensor pH SEN0161	8
Gambar 2.3 Bagian Dalam Sensor SEN0161	10
Gambar 2.4 Hubungan pH dan $-\log$	11
Gambar 2.5 Skema Prinsip Kerja Sensor pH SEN0161	12
Gambar 2.6 Material Aktif Sensor	12
Gambar 2.7 Struktur Atom Material Kaca Silika	13
Gambar 2.8 Interaksi Material Aktif Kaca Silika dan Larutan.....	14
Gambar 2.9 Pin-pin ESP32.....	16
Gambar 2.10 Pemanfaatan IoT	17
Gambar 2.11 Tampilan <i>Software</i> Arduino IDE	18
Gambar 2.12 Aplikasi Blynk	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Simulasi Rancangan Alat Monitoring Otomasi pH Larutan Limbah Logam Berat.....	26
Gambar 3.3 Diagram Alir Perancangan <i>Software</i>	28
Gambar 3.4 Halaman <i>Log In</i> Website Blynk.....	29
Gambar 3.5 Membuat <i>Template</i> Baru	29
Gambar 3.6 Mengisi Konfigurasi Datastreams.....	30
Gambar 3.7 Bagian <i>Settings</i> Komponen Label.....	31
Gambar 3.8 Menambahkan Device untuk Monitoring dari <i>Smartphone</i>	31
Gambar 3.9 Tampilan Monitoring di Website Blynk dan Device Info untuk Pemrograman Arduino IDE	32
Gambar 3.10 Tampilan Depan Aplikasi Blynk dan Menu <i>Log In di Smartphone</i>	32
Gambar 4.1 (a) Bagian dalam rancangan alat dan (b) Tampak depan rancangan alat monitoring pH larutan limbah	42
Gambar 4.2 Tampilan Monitoring pada Blynk.....	43
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Digital Sensor pH SEN0161 terhadap pH.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rencana Tugas Akhir.....	20
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Rancang Bangun Monitoring Otomasi Pengukuran pH Larutan Limbah Logam Berat.....	21
Tabel 3.3 <i>Software</i> yang dalam Rancang Bangun Monitoring Otomasi Pengukuran pH Larutan Limbah Logam Berat	22
Tabel 3.4 Konfigurasi Pin Modul Sensor pH SEN0161 ke Modul ESP32	25
Tabel 3.5 Konfigurasi Pin Sensor Suhu DS18B20 ke Modul ESP32	25
Tabel 3.6 Konfigurasi Pin LCD <i>I2C</i> 20x4 ke Modul ESP32	25
Tabel 4.1 Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu DS18B20	47
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Parameter Statistik Sensor Suhu DS18B20.....	47
Tabel 4.3 Nilai Tegangan <i>Output</i> (Analog) Sensor pH SEN0161 Terhadap Nilai pH Meter Alat Pembanding	50
Tabel 4.4 Pengujian Nilai pH dari Sensor pH SEN0161 dengan Alat Pembanding	54
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem Monitoring Otomasi pH pada Sampel Limbah Larutan.....	57
Tabel 4.6 Nilai Hasil Uji Karakteristik Sensor pH SEN0161	59
Tabel 4.7 Pengaruh Suhu Larutan Sampel Air Sungai Pasar Indralaya dengan Tegangan <i>Output</i>	63
Tabel 4.8 Pengujian Validasi Output Hasil Pembacaan pH pada Media Tampilan	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan limbah cair merupakan tantangan lingkungan yang signifikan di Indonesia, yang diatur oleh peraturan seperti Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Logam berat, seperti timbal (Pb), kromium (Cr), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd) sering ditemukan dalam limbah dari berbagai sumber, termasuk industri, pertambangan, pertanian, dan domestik. Logam berat memiliki sifat toksik, dapat mencemari sumber air, menumpuk dalam rantai makanan, serta membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem jika tidak dikelola dengan baik (Irianti *et al.*, 2017). Salah satu parameter penting dalam pengelolaan limbah cair adalah pH, hal ini karena pH dapat memengaruhi kelarutan, mobilitas, dan toksisitas logam berat. Misalnya, pada larutan dengan pH asam dapat meningkatkan kelarutan logam berat, memperbesar risiko pencemaran, sedangkan pH basa dapat memicu pengendapan logam berat (Rustiah *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pemantauan pH yang akurat dan berkelanjutan sangat penting untuk memastikan limbah dikelola secara efektif dan sesuai dengan standar lingkungan Indonesia.

Menurut penelitian yang telah dilakukan mengenai rentang pH limbah cair yang layak dibuang ke lingkungan berkisar antara pH 6.00-7.00 (Anggraini *et al.*, 2022). Di Indonesia, peraturan terkait limbah berbahaya dan beracun, termasuk yang mengandung logam berat, diatur oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Peraturan ini mencakup batasan pH dan konsentrasi logam berat dalam limbah yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan.

Metode konvensional untuk memantau pH limbah, seperti pengambilan sampel manual dan analisis laboratorium, memiliki keterbatasan signifikan. Proses ini memakan waktu dan tidak memberikan data *real-time*. Keterlambatan dalam mendapatkan hasil pengukuran dapat menghambat respons cepat terhadap

perubahan pH, yang berpotensi menyebabkan pelepasan limbah yang tidak memenuhi standar lingkungan. Selain itu, metode ini sering kali memerlukan tenaga kerja intensif, meningkatkan biaya operasional, terutama untuk operasi skala kecil atau komunitas dengan sumber daya terbatas (Ramadhan & Firdaus, 2024). Oleh karena itu, dikembangkanlah metode pengukuran pH limbah menggunakan sensor pH SEN0161 yang dirancang untuk membangun alat monitoring pH yang efektif dan terintegrasi secara otomatis. Penggunaannya dalam sistem monitoring otomatis yang praktis dan dapat dilakukan dari jarak jauh akan sangat memudahkan bagi masyarakat secara umum (Wardhani et al., 2022).

Penelitian mengenai rancang bangun alat monitoring otomatis pH larutan telah banyak dilakukan sebelumnya, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Faza *et al.*, (2021) yang merancang sistem monitoring kualitas limbah cair industri batik secara otomatis melalui teknologi komunikasi LoRa dengan sensor pH yang digunakan berupa sensor pH 4502C, dari hasil penelitian diperoleh rata-rata *error* dari pembacaan sensor sebesar 2.10%. Penelitian selanjutnya oleh Fajryn *et al.*, (2024) dari Universitas Indo Global Mandiri Palembang di Laboratorium BSPJI yang membuat alat deteksi pH larutan limbah laboratorium dengan mengintegrasikan Arduino Uno dan modul ESP8266 ke sensor pH SEN0161.

Pada penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan pH otomatis menggunakan sensor pH SEN0161 yang diintegrasikan dengan modul ESP32 dan aplikasi Blynk, sekaligus mengevaluasi performa sensor tersebut dalam lingkungan limbah yang mengandung logam berat. Limbah yang mengandung logam berat dipilih sebagai kasus uji karena keberadaannya yang tersebar luas di lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membangun sensor pH SEN0161 untuk monitoring otomatis pengukuran pH larutan limbah yang mengandung logam berat?

2. Bagaimana cara kerja sensor dalam mengukur pH larutan limbah yang mengandung logam berat?
3. Bagaimana akurasi sensor dalam mendeteksi pH pada larutan limbah yang mengandung logam berat?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengukuran pH limbah yang mengandung logam berat menggunakan sensor pH SEN0161.
2. Mikrokontroler yang digunakan untuk memproses sinyal dari sensor pH SEN0161 dan komunikasi ke sistem platform monitoring menggunakan modul ESP32.
3. Sistem monitoring pH pada larutan limbah menggunakan aplikasi Blynk untuk memonitor data pH larutan limbah secara *real-time*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun alat monitoring otomatis pengukuran pH larutan limbah yang mengandung logam berat menggunakan sensor pH.
2. Mengetahui cara kerja sensor dalam mengukur pH larutan limbah yang mengandung logam berat.
3. Menganalisis akurasi sensor dalam mendeteksi pH pada larutan limbah yang mengandung logam berat.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan *prototype* atau purnarupa alat monitoring pH larutan limbah.
2. Mendorong inovasi untuk masa depan yang lebih berkelanjutan dan aman bagi lingkungan dan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, N., Agustina, T. E., & Hadiah, F. (2022). Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 345–355. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.345-355>
- Antohe, I., Jinga, L. I., Antohe, V. A., & Socol, G. (2021). Sensitive ph Monitoring Using a Polyaniline-functionalized Fiber Optic—surface Plasmon Resonance Detector. *Sensors*, 21(12), 1–11. <https://doi.org/10.3390/s21124218>
- Baharudin, A. M., Suhada, K., & Yudiana, Y. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Trafo Online Menggunakan Aplikasi Whatsapp Berbasis Iot Studi Kasus Pada Gardu Induk PLN 150KV Mekarsari. *Jurnal Interkom: Jurnal Publikasi Ilmiah Bidang Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 17(3), 135–145. <https://doi.org/10.35969/interkom.v17i3.263>
- BSN. (2022). Panduan Pengukuran pH dengan Teknik Kalibrasi Dua Titik. In *Badan Standardisasi Nasional*. Direktorat Standar Nasional Satuan Ukuran Termoelektrik dan Kimia Badan Standardisasi Nasional.
- Das, S., Sultana, K. W., Ndhlala, A. R., Mondal, M., & Chandra, I. (2023). Heavy Metal Pollution in the Environment and Its Impact on Health: Exploring Green Technology for Remediation. *Environmental Health Insights*, 17. <https://doi.org/10.1177/11786302231201259>
- DFRobot. (n.d.). Gravity: Analog pH Meter Kit for Lab Liquid Analysis. DFRobot. <https://www.dfrobot.com/product-1782.html> Diakses pada 4 Januari 2025.
- DFROBOT CN. (2022, Juni 14). How A pH Sensor Works - Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2 - SEN0161-V2 [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=PmNBrYSdz1Q>. Diakses pada 6 Januari 2025.
- Fajryn, F., Setiawan, H., & Sartika, D. (2024). Digitalisasi Sistem Monitoring pH Air pada Instalasi Pengelolaan Air Limbah Laboratorium BSPJI Palembang. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi*, 5(2), 139–148.

- Faza, J., Purnama, S. I., & Syifa, F. T. (2021). Sistem Monitoring Tingkat pH, Kekeruhan dan Suhu Air Limbah Batik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Berbasis LoRa. *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, 3(1), 10–15. <https://doi.org/10.20895/jtece.v3i1.146>
- Irianti, T. T., Kuswadi, Nuranto, S., & Budiyan, A. (2017). Logam Berat dan Kesehatan. *Grafika Indah ISBN: 979820492-1, January 2017*, 1–131.
- Ishak, N. I., Mahmudah, Kasman, Ishak, E., Effendy, I. J., & Fekri, L. (2023). Analisis Kandungan Logam Berat Pada Air Sungai Martapura , Provinsi Kalimantan Selatan Tahun 2022. *JURNAL SAINS Dan INOVASI PERIKANAN*, 7(1), 35–41.
- Jejak Media. (tanpa tahun). Menggunakan Aplikasi BLYNK untuk fungsi IOT [Gambar]. Jejak Media. <https://blog.jejakmedia.link/menggunakan-aplikasi-blynk-untuk-fungsi-iot/>. Diakses pada 6 Januari 2025.
- Karangan, J., Sugeng, B., & Sulardi. (2019). Uji Keasaman Air Dengan Alat Sensor pH Di STT Migas Balikpapan. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 2(1), 65–72. <https://doi.org/10.31602/jk.v2i1.2065>
- Komaria, P. N. H. (2024). Rancang Bangun Otomasi Kelembaban Tanah pada Tanaman Anggrek menggunakan ESP32 Berbasis IoT. In *Jurnal Penelitian Sains* (Issues 30–32). <https://doi.org/10.56064/jps.v26i2.969>
- Maharani, T., 2023. Perkembangan dan Penggunaan Internet Of Things untuk Masa Yang Akan Datang. Artikel Ilmiah Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Manjakkal, L., Szwagierczak, D., & Dahiya, R. (2020). Metal Oxides Based Electrochemical pH Sensors: Current Progress and Future Perspectives. *Progress in Materials Science*, 109(February 2019), 100635. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100635>
- Martiyah, Roziqin, & Rosdiana. (2020). Law Enforcement of Liquid Waste Pollution in the Palm Oil Factory in North Paster Loan District Based on Law Number 32 of 2009 Concerning Protection and Management of Living Environmental Regencies. *Jurnal Lex Supreme*, 2(1), 147–167. martiyah016@gmail.com Aroziqin@uniba-bpn.ac.id

- Maulina, D. R. A., Pringgenies, D., & Haryanti, D. (2024). Kandungan Logam Berat Pb dan Cd dalam Sedimen di Pantai Trimulyo dan Pantai Tirang, Semarang. *Journal of Marine Research*, 13(1), 20–28. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i1.35038>
- Novenpa, N. N., & Dzulkiflih. (2020). Alat Pendeteksi Kualitas Air Portable dengan Parameter pH, TDS Dan Suhu Berbasis Arduino Uno. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 85–92. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n2.p85-92>
- Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Putra, G. M., Wardhana, R., 2021. Pendeteksi Kehadiran Menggunakan Esp32 Untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis. *Jurnal Teknologi Terapan*, 1 (7) : 37-43.
- Ramadhan, I. W., & Firdaus. (2024). Kajian Awal Pemanfaatan Sistem Cerdas untuk Pemantauan Kualitas Air dalam Konteks Pembangunan Pabrik AMDK. *Journal Zetroem*, 6(1), 49–57. <https://doi.org/10.36526/ztr.v6i1.3550>
- Ristyana, L. (2022). Analisis Kandungan DO, BOD, COD, TS, TDS, TSS dan Analisis Karakteristik Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta Ristyana Listyaningrum. *Universitas Ahmad Dahlan, June*.
- Rustiah, W., Noor, A., Maming, Lukman, M., & Nurfadilah. (2019). Analisis Distribusi Logam Berat Timbal dan Cadmium dalam Sedimen Sepanjang Muara Sungai dan Laut Perairan Spermonde, Sulawesi Selatan, Indonesia. *J. Chem. Res*, 7(1), 1–8.
- Salsabila, N., Choir, R. A., Tiara, S. I. N. J., Rahmadinanti, M. O., Istifadah, H., Maryani, & Harijanto, A. (2023). Rancang Alat Praktikum untuk Mengukur Suhu Menggunakan Sensor Ds18B20 Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Sains Riset*, 13(2), 409–418. <https://doi.org/10.47647/jsr.v13i2.1591>
- Saputro, A. F. Y., & Prasetyo, D. A. (2022). Rancang Bangun Thermopen Sebagai Pengukur Suhu Menggunakan Sensor Ds18B20 Dilengkapi Internet of Things. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 26–33. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i1.14928>
- Shcherbina, A., Mattsson, M. C., Waggott, D., Salisbury, H., Christle, J. W.,

- Hastie, T., Wheeler, M. T., & Ashley, E. A. (2017). Accuracy in Wrist-Worn, Sensor-Based Measurements of Heart Rate and energy Expenditure in A Diverse Cohort. *Journal of Personalized Medicine*, 7(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/jpm7020003>
- Sitorus, E., Taufiq, N., Pramita, A., Sugrani, A., Suhirman, Asnawi, I., Hevira, L., Palupi, I. F. J., & Budirohmi, A. (2023). *Elektrokimia* (Issue May).
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2016). Principles of Instrumental Analysis (7th ed). In *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics* (Ketujuh, Vol. 45, Issue C). [https://doi.org/10.1016/0020-7381\(82\)80120-4](https://doi.org/10.1016/0020-7381(82)80120-4)
- Syukhron, I., Rahmadewi, R., & Ibrahim. (2021). Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Sistem Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar berbasis IoT. *Electrician*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n1.2158>
- Tang, Y., Zhong, L., Wang, W., He, Y., Han, T., Xu, L., Mo, X., Liu, Z., Ma, Y., Bao, Y., Gan, S., & Niu, L. (2022). Recent Advances in Wearable Potentiometric pH Sensors. *Membranes*, 12(5), 1–20. <https://doi.org/10.3390/membranes12050504>
- Visiniaga Mitra Kreasindo. (tanpa tahun). Internet of Things [Gambar]. Visiniaga. <https://www.visiniaga.com/id/blog/our-blog-1/internet-of-things-54>. Diakses pada 6 Januari 2025.
- Vivaldi, F., Salvo, P., Poma, N., Bonini, A., Biagini, D., Del Noce, L., Melai, B., Lisi, F., & Di Francesco, F. (2021). Recent advances in optical, electrochemical and field effect pH sensors. *Chemosensors*, 9(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9020033>
- Wardhani, R. N., Danaryani, S., Setiowati, S., & Riandini. (2022). Desain Sistem Monitoring Cerdas Kualitas Air Keramba Budidaya Teripang Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 24(1), 28–39. <https://doi.org/10.33557/jurnalmatrik.v24i1.1648>