RANCANGAN SISTEM MONITORING LIMBAH INDUSTRI BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI DATA PADA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN METODE SUPERVISED LEARNING

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD NAUVAL ASYQAR RIDWAN RITONGA

2109020075

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2025

RANCANGAN SISTEM MONITORING LIMBAH INDUSTRI BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI DATA PADA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN METODE SUPERVISED LEARNING

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

MUHAMMAD NAUVAL ASYQAR RIDWAN RITONGA
NPM. 2109020075

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	Rancangan Sistem Monitoring Limbah Industri Berbasis IoT dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Web Menggunakan Metode Supervised Learning
Nama Mahasiswa	:	Muhammad Nauval Asyqar Ridwan Ritonga
NPM	:	2109020075
Program Studi	:	Teknologi Informasi

Menyetujui
Komisi Pembimbing

(Halim Maulana S.T, M.Kom)
NIDN. 0121119102

Ketua Program Studi	Dekan
(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom.,M.Kom)	**(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)**
NIDN. 0117019301	**NIDN. 0127099201**

PERNYATAAN ORISINALITAS

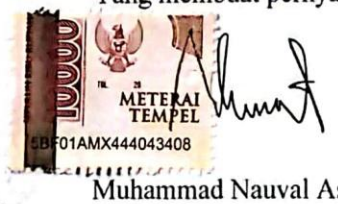
RANCANGAN SISTEM MONITORING LIMBAH INDUSTRI BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI DATA PADA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN METODE SUPERVISED LEARNING

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Muhammad Nauval Asyqar

NPM. 2109020075

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Muhammad Nauval Asyqar Ridwan Ritonga
NPM	: 2109020075
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

RANCANGAN SISTEM MONITORING LIMBAH INDUSTRI BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI DATA PADA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN METODE SUPERVISED LEARNING

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan

Muhammad Nauval Asyqar

NPM. 2109020075

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Muhammad Nauval Asyqar Ridwan R
Tempat dan Tanggal Lahir	: Tanjungbalai, 19 Juni 2003
Alamat Rumah	: Jln. Bunga Raya K.M 4,5 LK. III
Telepon/Faks/HP	: 082160183743
E-mail	: nauvalasyqar@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD	: SDN 132406	TAMAT: 2015
SMP	: SMPN 1 Tanjungbalai	TAMAT: 2018
SMA	: SMAN 1 Tanjungbalai	TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Rancangan Sistem Monitoring Limbah Industri Berbasis IoT dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Web Menggunakan Metode Supervised Learning" ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S.Kom) pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer & Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom., Ketua Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
5. Bapak Halim Maulana, S.T., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Skripsi dan Wakil Dekan I.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknologi Informasi Fakultas Ilmu Komputer & Teknologi Informasi Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu dan didikannya selama perkuliahan.
7. Ayahanda Ridwan Ritonga dan Ibunda Shofya Zahara yang telah memberikan doa dan juga dukungan dari segi kebutuhan material maupun moral serta menjadi motivasi penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Kakak Alya Nabila Ridwan Ritonga, Adik Abiyyu Rakha Athaya Ridwan Ritonga, Adik Raline Rania Ridwan Ritonga, dan juga Adik Nurpadilla yang telah memberikan dukungan dalam segi mentalitas maupun mendoakan.
9. Sahabat dan teman-teman seperjuangan jurusan teknologi informasi UMSU terutama teman teman sewaktu KKN yang telah memberikan semangat untuk mengerjakan skripsi ini.
10. Semua pihak yang terlibat langsung ataupun tidak langsung yang tidak dapat penulis ucapkan satu-persatu yang telah membantu penyelesaian skripsi ini

Semoga allah SWT memberikan balasan atas bantuam yang telah diberikan kepada penulis Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan, khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Nama Bidang Ilmu.

RANCANGAN SISTEM MONITORING LIMBAH INDUSTRI BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI DATA PADA APLIKASI WEB MENGGUNAKAN METODE SUPERVISED LEARNING

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring kualitas air limbah industri dengan menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini menggunakan tiga jenis sensor, yaitu sensor suhu (DS18B20), sensor pH, dan sensor Total Dissolved Solids (TDS) untuk membaca parameter fisik air limbah. Data hasil pembacaan dikirim ke aplikasi web lokal melalui koneksi USB dan divisualisasikan secara real-time.

Sebagai bagian dari proses analisis, data sensor diproses menggunakan algoritma Decision Tree (metode Supervised Learning) untuk mengklasifikasikan kualitas air menjadi tiga kategori: Aman, Tercemar, dan Berbahaya. Model dilatih menggunakan dataset yang telah dilabeli sebelumnya, dan hasil klasifikasinya ditampilkan langsung di antarmuka web yang dibuat dengan HTML, CSS, JavaScript, dan Python Flask.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca parameter air secara stabil, melakukan klasifikasi secara otomatis, dan menampilkan data secara interaktif. Sistem ini dapat dijadikan prototipe awal untuk pengembangan sistem monitoring limbah yang terjangkau dan aplikatif di sektor industri kecil dan menengah.

Kata Kunci: IoT; ESP32; Limbah Industri; Sensor; Decision Tree; Aplikasi Web.

DESIGN OF AN INDUSTRIAL WASTEWATER MONITORING SYSTEM BASED ON IOT WITH DATA VISUALIZATION ON A WEB APPLICATION USING SUPERVISED LEARNING METHOD

ABSTRACT

This study aims to design a monitoring system for industrial wastewater quality using Internet of Things (IoT) technology based on the ESP32 microcontroller. The system utilizes three types of sensors—temperature (DS18B20), pH, and Total Dissolved Solids (TDS)—to read physical parameters of wastewater. The collected data is transmitted to a local web application via USB connection and visualized in real-time.

For analysis purposes, the sensor data is processed using the Decision Tree algorithm (a Supervised Learning method) to classify the water quality into three categories: Safe, Polluted, and Hazardous. The model is trained using pre-labeled datasets, and the classification results are displayed directly on the web interface built with HTML, CSS, JavaScript, and Python Flask.

The test results show that the system is capable of reading water parameters accurately, performing automatic classification, and presenting the data interactively. This system can serve as an initial prototype for the development of an affordable and practical wastewater monitoring system for small and medium-scale industries.

Keywords: IoT; ESP32; Industrial Wastewater; Sensors; Decision Tree; Web Application.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS ..... Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ..... Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **v**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 4
1.3. Batasan Masalah 5
1.4. Tujuan Penelitian 6
1.5. Manfaat Penelitian 6
BAB II LANDASAN TEORI **7**
2.1. Sistem 7
2.2. Internet of Things (IoT) 7
2.3. Aplikasi Web untuk Visualisasi Data 8
2.4. Machine Learning 8
2.5 Supervised Learning 9
2.6. Algoritma Decision Tree 9
2.7. Sensor 10
2.7.1. Sensor pH 10
2.7.2. Sensor Suhu (DS18B20) 11
2.7.3. Sensor TDS (Total Dissolved Solids) 11
2.8. ESP32 12
2.9. Arduino IDE 13
2.10. Baseboard ESP32 14
2.11. Visual Studio Code (VS Code) 15

2.12. Flowchart 16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 20
3.1. Tempat dan Jadwal Penelitian 20
3.1.1. Tempat Penelitian 20
3.1.2. Jadwal Penelitian 20
3.2. Alat dan Bahan 21
3.3. Teknik Pengumpulan Data 21
3.3.1. Observasi 21
3.3.2. Studi Pustaka 22
3.4. Tahapan Penelitian 23
3.4.1. Identifikasi Masalah 23
3.4.2. Studi Literatur 24
3.4.3. Pengembangan Sistem 24
3.4.4. Penggabungan Sistem 24
3.4.5. Pengujian Sistem 25
3.5. Perancangan Alur Kerja Sistem 25
3.5.1. Blok Diagram Sistem 25
3.5.2. Flowchart Alur Kerja Sistem 26
3.6. Perancangan Perangkat Keras 28
3.7. Klasifikasi Kualitas air berdasarkan parameter Sensor 29
3.8. Decision Tree sebagai Metode Klasifikasi 30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32
4.1. Perakitan Alat 32
4.2. Perancangan perangkat lunak (*Software)* 34
4.2.1. Pemrograman Mikrokontroler (Arduino IDE) 34
4.2.2. Rancangan Aplikasi Web 35
4.3. Uji Coba Rangkaian Sistem 38
4.4. Hasil Pengujian 39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 47
5.1. Kesimpulan 47
5.2. Saran 47
5.3. Keterbatasan Penelitian 48
DAFTAR PUSTAKA 49
LAMPIRAN 51

DAFTAR TABEL

		HALAMAN
TABEL 2.1.	Sistem pada Flowchart…….....	19
TABEL 3.1.	Time Line Kegiatan……...	20
TABEL 3.2.	Hubungan Pin ESP32 ke Sensor Suhu, TDS dan pH ……...	29
TABEL 3.3.	Klasifikasi kualitas air berdasarkan parameter suhu pH, dan TDS……	29
TABEL 4.1.	Hubungan Pin ESP32 ke Sensor Suhu, TDS dan pH……	33
TABEL 4.2.	Pengujian Lapangan Hari Pertama…….....	40
TABEL 4.3.	Pengujian Lapangan Hari Kedua……	41
TABEL 4.4.	Pengujian Lapangan Hari Ketiga……	43
TABEL 4.5.	Pengujian Lapangan Hari Keempat……	44
TABEL 4.6.	Pengujian Lapangan Hari Kelima……...	45

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

GAMBAR 2.1.	Sensor pH…….....	11
GAMBAR 2.2.	Sensor Suhu (DS18B20)……..	11
GAMBAR 2.3.	Sensor TDS (Total Dissolved Solids)…….	12
GAMBAR 2.4.	ESP32…….....	13
GAMBAR 2.5.	Arduino IDE…….....	13
GAMBAR 2.6.	Baseboard…….....	14
GAMBAR 2.7.	Visual Studio Code (VS Code)……..	15
GAMBAR 3.1.	Alur Penelitian…….....	23
GAMBAR 3.2.	Blok Diagram Sistem……	25
GAMBAR 3.3.	Flowchart Alur Kerja Sistem ……...	27
GAMBAR 3.4.	Skematik Perangkat Keras……	28
GAMBAR 4.1.	Rangkaian Pin……...	32
GAMBAR 4.2.	Tampilan Aplikasi Web Monitoring Limbah……...	38
GAMBAR 4.3.	Pengujian Lapangan Hari Pertama……...	39

GAMBAR 4.4. Pengujian Lapangan Hari Kedua…….. 41
GAMBAR 4.5. Pengujian Lapangan Hari Ketiga…….. 42
GAMBAR 4.6. Pengujian Lapangan Hari Keempat…….. 44
GAMBAR 4.7. Pengujian Lapangan Hari Kelima……. 45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat telah memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Namun, di sisi lain, pertumbuhan industri ini juga menimbulkan permasalahan baru, yaitu meningkatnya volume limbah industri yang dihasilkan. Limbah industri yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Dampak dari pencemaran ini sangat luas, mulai dari kerusakan ekosistem perairan, gangguan kesehatan masyarakat di sekitar kawasan industri, hingga kerugian pada sektor pertanian dan perikanan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah industri menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan Masyarakat (Sari et al., 2020).

Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan limbah industri adalah kesulitan dalam memantau kualitas limbah secara real-time. Menurut Putra & Rahayu (2021), banyak industri masih mengandalkan metode manual dalam pemantauan limbah, yang dinilai kurang efisien dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, metode konvensional ini memerlukan waktu yang relatif lama untuk mendapatkan hasil analisis, sehingga tindakan pencegahan atau penanganan limbah tidak dapat dilakukan secara cepat. Hal ini tentu menjadi kendala serius dalam upaya menjaga kualitas lingkungan dan mematuhi regulasi yang berlaku (Susanto et al., 2022).

Pencemaran lingkungan akibat limbah industri dapat dikurangi melalui penerapan sistem pemantauan otomatis berbasis teknologi. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah Internet of Things (IoT), yang memungkinkan penggunaan sensor untuk mengukur parameter limbah seperti pH, suhu, dan kandungan zat berbahaya secara otomatis. Teknologi ini memungkinkan data dikumpulkan secara berkala dan dikirimkan langsung ke sistem pemantauan untuk dianalisis tanpa intervensi manusia (Wijaya et al., 2019).

Data yang diperoleh dari sensor dapat dikirimkan secara real-time ke sistem monitoring, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara otomatis tanpa harus mengandalkan pengecekan manual. Dengan adanya sistem berbasis IoT, industri dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan limbah dengan cara mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi biaya operasional, serta mempercepat respons terhadap perubahan kualitas limbah. Pemantauan otomatis ini memungkinkan perusahaan untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, menghemat biaya analisis laboratorium, serta mencegah pencemaran dengan mendeteksi perubahan kualitas limbah lebih cepat. Selain itu, sistem ini juga membantu memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang berlaku dengan menyediakan data yang akurat dan terdokumentasi secara sistematis (Susanto et al., 2022; Zalukhu et al., 2023).

Namun, pengumpulan data saja tidak cukup untuk memastikan bahwa limbah dikelola dengan baik. Data yang terkumpul perlu dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi pola dan tren yang dapat memberikan wawasan lebih lanjut mengenai kondisi limbah. Analisis ini penting untuk mengetahui apakah parameter limbah masih dalam batas aman atau sudah mendekati tingkat yang

berpotensi mencemari lingkungan. Dengan analisis yang lebih terstruktur, pihak industri dapat mengambil langkah korektif yang lebih tepat guna, sehingga pencegahan pencemaran dapat dilakukan lebih dini (Haryanto et al., 2021).

Untuk mengatasi hal ini, metode *Supervised Learning* dalam *Machine Learning* dapat digunakan untuk mengolah data limbah dengan lebih akurat dan sistematis. Menurut Hastie et al. (2009), metode *Supervised Learning* memungkinkan sistem untuk belajar dari data historis dan membangun model klasifikasi yang dapat mengenali pola pencemaran sejak dini. Dengan kemampuan klasifikasi dan prediksi yang dimilikinya, sistem dapat memberikan peringatan otomatis apabila terdeteksi adanya kemungkinan peningkatan risiko pencemaran. Dengan demikian, industri dapat mengambil tindakan pencegahan lebih cepat sebelum limbah mencapai tingkat yang membahayakan lingkungan serta kesehatan manusia, sehingga pengelolaan limbah menjadi lebih efektif dan berkelanjutan (Mitchell, 1997).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menawarkan solusi berupa pembangunan sistem monitoring limbah industri berbasis IoT dengan visualisasi data pada aplikasi web. Sistem ini akan mengintegrasikan penggunaan sensor IoT untuk mengumpulkan data, metode *Supervised Learning* untuk menganalisis data, serta aplikasi web sebagai media untuk menampilkan informasi yang mudah dipahami oleh pengguna. Menurut Rahman & Dewi (2023), aplikasi web yang dirancang secara *user-friendly* dan menyajikan data dalam bentuk visualisasi grafis yang informatif dapat memudahkan pengguna dalam memahami kondisi limbah yang dipantau. Dengan adanya sistem ini, diharapkan industri dapat lebih

efektif dalam mengontrol limbah dan memenuhi standar lingkungan yang telah ditetapkan.

Selain itu, sistem ini juga dapat menjadi langkah awal bagi industri dalam menerapkan teknologi berbasis kecerdasan buatan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional mereka. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mengurangi dampak negatif limbah industri terhadap lingkungan dan masyarakat, serta mendorong penerapan teknologi modern dalam pengelolaan limbah di Indonesia (Zalukhu et al., 2023).

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mengurangi dampak negatif limbah industri terhadap lingkungan dan masyarakat, serta mendorong penerapan teknologi modern dalam pengelolaan limbah di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem monitoring kualitas air limbah berbasis ESP32 yang dapat membaca data sensor pH, suhu, dan TDS (Total Dissolved Solids) secara otomatis dalam rentang waktu tertentu?
2. Bagaimana menerapkan metode Supervised Learning, khususnya algoritma Decision Tree, untuk menganalisis data sensor dan menghasilkan klasifikasi tingkat pencemaran air limbah secara akurat?
3. Bagaimana mengintegrasikan hasil pembacaan sensor dari alat IoT ke dalam aplikasi web agar data dan hasil klasifikasinya dapat ditampilkan secara interaktif dan real-time?

4. Bagaimana mengukur dan mengevaluasi tingkat akurasi model klasifikasi Decision Tree dalam membedakan kategori air limbah (aman, tercemar, berbahaya) berdasarkan data sensor yang dikumpulkan?

1.3. Batasan Masalah

1. Sistem monitoring hanya mengukur tiga parameter kualitas air limbah, yaitu suhu, pH, dan Total Dissolved Solids (TDS), tanpa mempertimbangkan parameter lainnya seperti kekeruhan, logam berat, atau bakteriologis.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32, yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan pembacaan sensor, serta mengirimkan data ke aplikasi web melalui kabel USB (bukan melalui koneksi Wi-Fi).
3. Sensor yang digunakan dalam sistem ini meliputi sensor suhu digital DS18B20, sensor pH, dan sensor TDS analog, yang seluruhnya dikalibrasi secara manual.
4. Sistem dirancang untuk kebutuhan pengujian dan simulasi monitoring kualitas air limbah secara lokal, bukan untuk pemantauan otomatis jangka panjang atau integrasi cloud.
5. Data sensor yang digunakan dalam klasifikasi berasal dari pembacaan sesaat dalam rentang waktu tertentu, bukan dari pemantauan selalu selama 24 jam.
6. Model klasifikasi menggunakan metode supervised learning dengan algoritma Decision Tree yang hanya berlaku untuk dataset uji yang dikumpulkan selama penelitian ini, dan belum mengakomodasi adaptasi terhadap data baru secara otomatis.

7. Implementasi sistem hanya dilakukan dalam skala prototipe sebagai studi kasus, tidak mencakup instalasi nyata pada lingkungan industri atau aliran limbah sesungguhnya.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengembangkan sistem monitoring prototipe limbah industri berbasis IoT menggunakan ESP32, yang mampu membaca parameter suhu, pH, dan TDS (Total Dissolved Solids) dari air limbah.
2. Menerapkan metode Supervised Learning, khususnya algoritma Decision Tree, untuk mengklasifikasikan tingkat pencemaran air limbah berdasarkan data sensor yang diperoleh.
3. Merancang aplikasi web lokal yang menampilkan data hasil pembacaan sensor dan klasifikasinya secara visual, terstruktur, dan mudah dipahami.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran sederhana tentang perancangan sistem monitoring limbah industri berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor pH, suhu, serta TDS.
2. Menerapkan metode Supervised Learning (Decision Tree) untuk klasifikasi kualitas air berdasarkan data sensor.
3. Menyediakan visualisasi data limbah dalam bentuk antarmuka web yang informatif dan mudah dipahami.
4. Menjadi referensi awal bagi pengembangan sistem pemantauan limbah yang efisien dan terjangkau di lingkungan akademik maupun industri..

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Sistem

Sistem adalah sekumpulan komponen yang saling berinteraksi untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Menurut Sutabri (2012), keputusan terdiri dari elemen-elemen yang bekerja sama untuk mengolah data dan menghasilkan informasi yang berguna. Dalam konteks penelitian ini, sistem monitoring limbah berbasis IoT dirancang untuk mengumpulkan, mengolah, dan menampilkan data kualitas limbah agar dapat membantu dalam pengambilan keputusan.

2.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik seperti sensor dan mikrokontroler agar dapat saling bertukar data dan berinteraksi. Menurut Gubbi et al. (2013), IoT memungkinkan berbagai perangkat untuk mengumpulkan data dari lingkungan dan mengirimkannya ke sistem pemrosesan pusat.

Dalam penelitian ini, IoT diterapkan melalui penggunaan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu, pH, dan Total Dissolved Solids (TDS). Meskipun sistem ini tidak menggunakan koneksi internet secara langsung, komunikasi antar perangkat dilakukan secara lokal melalui kabel USB, sehingga tetap termasuk dalam kategori IoT lokal atau offline. Sistem ini memudahkan proses pemantauan tanpa perlu melakukan pengukuran manual secara langsung di lapangan.

2.3. Aplikasi Web untuk Visualisasi Data

Aplikasi web dalam penelitian ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor dan hasil klasifikasi kualitas air limbah. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan teknologi web dasar, seperti HTML, CSS, dan JavaScript, yang menjadikannya mudah dipahami dan digunakan oleh mahasiswa maupun pengguna non-teknis.

Bagian frontend dirancang untuk menampilkan nilai suhu, pH, TDS, serta hasil klasifikasi (Aman, Tercemar, atau Berbahaya) dalam format teks yang rapi dan responsif. Data tersebut diambil dari server lokal yang dibangun menggunakan *Python Flask*, yang juga bertanggung jawab menerima data dari sensor melalui komunikasi serial.

Database tidak digunakan dalam sistem ini, karena data ditampilkan secara langsung saat diterima dari sensor. Oleh karena itu, sistem ini bersifat real-time lokal, dan belum menyimpan histori data untuk pemantauan jangka panjang.

2.4. Machine Learning

Machine Learning merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer atau sistem untuk belajar dari data dan meningkatkan kinerjanya tanpa harus diprogram secara eksplisit. Dalam penelitian ini, Machine Learning digunakan untuk membantu sistem dalam mengklasifikasikan tingkat pencemaran air limbah berdasarkan data sensor yang dikumpulkan.

Salah satu pendekatan yang digunakan adalah Supervised Learning, yang memungkinkan sistem untuk mengenali pola dan membuat keputusan berdasarkan contoh data yang telah diberi label. Menurut Mitchell (1997),

Supervised Learning memungkinkan mesin belajar dari data historis agar dapat melakukan prediksi atau klasifikasi terhadap data baru.

2.5 Supervised Learning

Supervised Learning adalah metode Machine Learning di mana model dilatih menggunakan dataset yang sudah memiliki label kelas tertentu. Model akan belajar mengenali hubungan antara **input** berupa data sensor (pH, suhu, dan TDS) dan output berupa kategori kualitas air limbah, seperti Aman, Tercemar, atau Berbahaya.

Menurut Mitchell (1997), model dalam supervised learning bekerja dengan mempelajari sejumlah besar data yang telah dikategorikan sebelumnya. Dalam penelitian ini, algoritma yang digunakan adalah Decision Tree, yang mampu menghasilkan aturan-aturan klasifikasi berdasarkan pola dalam data, sehingga sistem dapat menentukan kategori pencemaran dari data sensor baru secara otomatis.

2.6. Algoritma Decision Tree

Decision Tree adalah salah satu algoritma dalam metode Supervised Learning yang digunakan untuk melakukan klasifikasi atau prediksi berdasarkan data yang telah diberi label. Algoritma ini membagi data ke dalam bentuk struktur pohon, di mana setiap node internal merepresentasikan sebuah kondisi berdasarkan atribut (fitur), setiap cabang merepresentasikan hasil dari kondisi tersebut, dan setiap daun (leaf) merepresentasikan hasil akhir berupa kelas atau label.

Menurut Quinlan (1996), Decision Tree bekerja dengan memilih atribut terbaik untuk membagi data berdasarkan tingkat impurity atau ketidakteraturan

data, menggunakan ukuran seperti Gini Index, Entropy, atau Information Gain. Proses ini dilakukan secara rekursif hingga semua data berhasil diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu.

Dalam penelitian ini, algoritma Decision Tree digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas air limbah menjadi tiga kategori, yaitu Aman, Tercemar, dan Berbahaya, berdasarkan tiga parameter sensor: suhu, pH, dan Total Dissolved Solids (TDS). Algoritma ini dipilih karena:

a. Mudah dipahami secara visual dan logis
b. Mampu menangani data numerik dari sensor
c. Cocok untuk dataset berskala kecil hingga sedang seperti dalam penelitian ini

Model yang telah dilatih menggunakan data uji kemudian digunakan dalam sistem aplikasi web untuk mengklasifikasikan data sensor secara otomatis dan memberikan hasil interpretasi tingkat pencemaran air.

2.7. Sensor

Sensor adalah komponen utama dalam sistem monitoring limbah industri. Sensor berfungsi untuk mengukur parameter-parameter tertentu dari limbah, seperti pH, suhu, dan Total Dissolved Solids (TDS). Dalam penelitian ini, beberapa jenis sensor digunakan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat dan relevan.

2.7.1. Sensor pH

Sensor ini digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan limbah cair. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi ion hidrogen dalam larutan. Tingkat pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mengindikasikan

adanya pencemaran yang berbahaya bagi lingkungan. Menurut Zhang et al. (2019), sensor pH yang akurat sangat penting untuk memastikan bahwa limbah industri memenuhi standar lingkungan yang berlaku.



Gambar 2.1. Sensor pH

2.7.2. Sensor Suhu (DS18B20)

Sensor Suhu (DS18B20) digunakan untuk mengukur suhu limbah. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi kualitas limbah dan berpotensi merusak ekosistem perairan. Sensor DS18B20 dipilih karena memiliki akurasi tinggi dan dapat bekerja pada rentang suhu yang luas, sehingga cocok untuk aplikasi industri (Maxim Integrated, 2020).



Gambar 2.2. Sensor Suhu (DS18B20)

2.7.3. Sensor TDS (Total Dissolved Solids)

Sensor TDS (Total Dissolved Solids) digunakan untuk mengukur kadar zat terlarut dalam air limbah. Sensor ini bekerja dengan mengukur konduktivitas listrik dari larutan. Kadar zat terlarut yang tinggi dapat mengindikasikan adanya kontaminasi yang berbahaya. Menurut Lee et al. (2018), sensor TDS yang

handal sangat penting untuk memastikan bahwa limbah industri tidak mencemari lingkungan.



Gambar 2.3. Sensor TDS (Total Dissolved Solids)

2.8. ESP32

ESP32 adalah modul mikrokontroler yang memiliki performa tinggi serta mendukung komunikasi digital dan analog, sehingga cocok digunakan dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT). Modul ini dikenal karena harganya yang terjangkau, konsumsi daya yang rendah, serta kemudahan dalam pemrograman menggunakan platform Arduino IDE.

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan untuk membaca data dari sensor pH, suhu, dan TDS, serta mengirimkan data tersebut ke komputer melalui koneksi kabel USB. Meskipun ESP32 memiliki fitur Wi-Fi, pada sistem ini komunikasi dilakukan secara lokal (offline) menggunakan port serial, sehingga lebih stabil dan sesuai dengan kebutuhan prototipe.

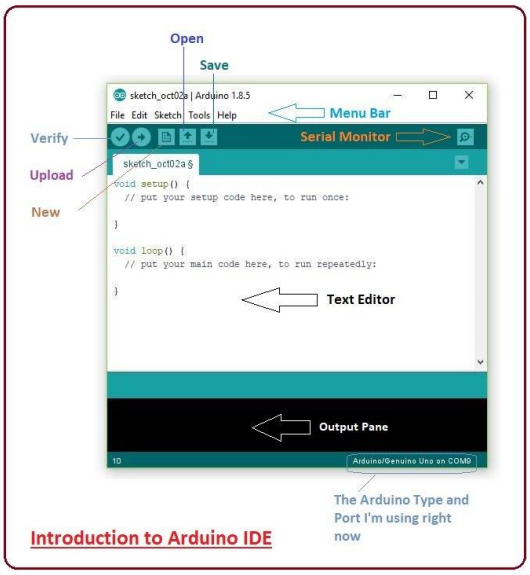
ESP32 juga memiliki kemampuan untuk melakukan pemrosesan data awal secara langsung dari sensor sebelum dikirimkan ke aplikasi web. Hal ini menjadikan ESP32 sebagai komponen utama yang efisien dan fleksibel dalam sistem monitoring limbah industri berbasis IoT yang dirancang.



Gambar 2.4. ESP32

2.9. Arduino IDE

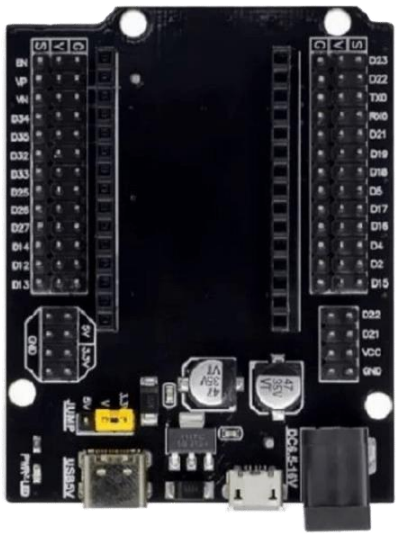
Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode program ke mikrokontroler seperti NodeMCU ESP8266 dan ESP32. Menurut Banzi dan Shiloh (2015), Arduino IDE menyediakan antarmuka yang sederhana dan mendukung berbagai 13 bahasa pemrograman berbasis C/C++. Dalam penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk memprogram mikrokontroler agar dapat membaca data dari sensor dan mengirimkannya ke server.



Gambar 2.5. Arduino IDE

2.10. Baseboard ESP32

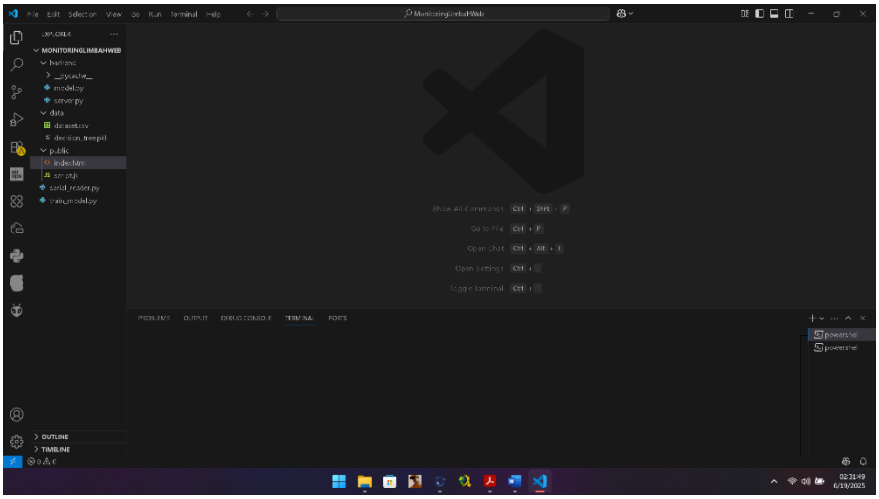
Baseboard ESP32 adalah papan tambahan yang dirancang untuk mempermudah koneksi dan penggunaan modul ESP32 dalam berbagai proyek elektronik. Baseboard ini menyediakan jalur pin yang lebih terorganisir dan dilengkapi dengan header yang kompatibel dengan breadboard, sehingga memudahkan pemasangan sensor dan modul eksternal. Selain itu, baseboard biasanya dilengkapi dengan port daya seperti DC jack untuk adaptor eksternal, regulator tegangan, serta indikator LED dan tombol reset atau boot yang terintegrasi. Dengan menggunakan baseboard, pengguna dapat menghubungkan berbagai komponen tanpa perlu menyolder secara langsung ke papan ESP32, sehingga mempercepat proses prototyping dan mengurangi risiko kesalahan sambungan. Fitur-fitur ini membuat baseboard menjadi solusi praktis bagi pengguna ESP32 yang ingin membangun sistem yang lebih rapi, kuat, dan mudah dikembangkan.



Gambar 2.6. Baseboard

2.11. Visual Studio Code (VS Code)

Visual Studio Code (VS Code) adalah sebuah text editor lintas platform yang ringan namun sangat powerful, dikembangkan oleh Microsoft. Aplikasi ini mendukung berbagai bahasa pemrograman dan teknologi web, seperti HTML, CSS, JavaScript, Python, dan lainnya, sehingga sangat cocok digunakan dalam proses pengembangan aplikasi berbasis web dan Internet of Things (IoT). Dalam penelitian ini, Visual Studio Code digunakan sebagai lingkungan pengembangan utama untuk menulis dan mengelola file kode seperti server.py, script.js, dan index.html. Keunggulan VS Code terletak pada fitur-fitur seperti IntelliSense (auto-complete), terminal bawaan, ekstensi library yang sangat kaya, serta integrasi Git yang memudahkan proses version control. Dengan antarmuka yang sederhana dan fleksibel, Visual Studio Code membantu mempercepat proses coding dan debugging, serta mempermudah pengelolaan struktur folder proyek secara efisien.



Gambar 2.7. Visual Studio Code (VS Code)

2.12. Flowchart

Flowchart adalah representasi visual yang menggambarkan tahapan dan urutan prosedur dalam suatu sistem atau program. Dengan menggunakan simbol-simbol tertentu, flowchart membantu mempermudah pemahaman tentang alur logika dan struktur proses yang terjadi.

Menurut Pressman (2014), flowchart adalah alat bantu grafis yang digunakan untuk memodelkan logika suatu sistem atau program secara terstruktur. Flowchart dapat digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari analisis bisnis, pemrograman, hingga rekayasa perangkat lunak.

Dalam sistem informasi, terdapat dua jenis utama *flowchart*, yaitu:

1. Flowchart Sistem – Menunjukkan proses berurutan dalam sebuah sistem, termasuk bagaimana data dimasukkan, diolah, disimpan, serta hasil yang dihasilkan dari proses tersebut.
2. Flowchart Program – Lebih fokus pada detail prosedur yang dilakukan dalam program, menggunakan simbol-simbol khusus untuk menghubungkan setiap instruksi atau langkah (Shelly & Vermaat, 2011).

Simbol-simbol dalam flowchart memiliki makna tertentu dan digunakan untuk memvisualisasikan logika program secara jelas. Hal ini memastikan bahwa setiap tahapan yang dirancang telah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Menurut Kendall & Kendall (2016), simbol utama yang digunakan dalam *flowchart* adalah:

a. Oval (Terminator): Menandakan awal (Start) dan akhir (Stop) dari proses.
b. Persegi panjang (Process): Melambangkan proses atau langkah yang dilakukan dalam sistem.

c. Belah ketupat (Decision): Digunakan untuk keputusan yang memiliki dua kemungkinan hasil, seperti "Ya" atau "Tidak".
d. Panah (Connector): Menghubungkan setiap elemen dalam flowchart untuk menunjukkan aliran proses.

Ketika seorang analis atau programmer membuat flowchart, ada beberapa pedoman yang perlu diperhatikan agar flowchart yang dihasilkan efektif dan mudah dipahami (Zalukhu et al., 2023):

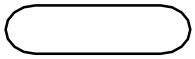
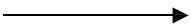
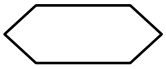
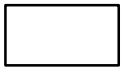
1. Alur yang Jelas – Flowchart harus disusun dengan alur yang mengalir dari atas ke bawah atau dari kiri ke kanan agar mudah dipahami.
2. Deskripsi yang Detail – Setiap aktivitas atau langkah dalam flowchart harus dijelaskan dengan jelas dan detail menggunakan kata-kata yang mudah dipahami.
3. Awal dan Akhir yang Jelas – Setiap flowchart harus memiliki titik awal (Start) dan titik akhir (Stop) yang terdefinisi dengan baik.
4. Menggunakan Kata Kerja – Deskripsi setiap langkah sebaiknya menggunakan kata kerja untuk menggambarkan aktivitas yang dilakukan.
5. Urutan yang Tepat – Langkah-langkah dalam flowchart harus disusun dalam urutan yang benar sesuai dengan logika proses yang dijalankan.
6. Ruang Lingkup yang Sesuai – Pastikan ruang lingkup aktivitas dalam flowchart relevan dengan tujuan utama. Jika ada cabang atau proses yang tidak terkait langsung, sebaiknya dipisahkan menggunakan simbol konektor atau diletakkan di halaman terpisah.

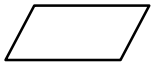
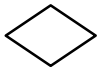
7. Menggunakan Simbol Standar – Gunakan simbol-simbol flowchart yang telah distandarisasi, seperti oval untuk awal/akhir, persegi panjang untuk proses, dan belah ketupat untuk keputusan (Whitten & Bentley, 2007).

Menurut Sommerville (2015), penggunaan flowchart dalam perancangan sistem memiliki beberapa keuntungan, di antaranya:

a. Memudahkan pemahaman alur kerja sistem secara keseluruhan.
b. Membantu dalam dokumentasi dan komunikasi antara tim pengembang sistem.
c. Meminimalisir kesalahan dalam implementasi sistem karena alur yang sudah terstruktur dengan baik.

Tabel 2.1. Simbol pada Flowchart

SIMBOL	NAMA	FUNGSI
	TERMINATOR	Permulaan/akhir program
	GARIS ALIR (FLOW LINE)	Arah aliran program
	PREPERATION	Proses inisialisasi/pemberian harga awal
	PROSES	Proses perhitungan/pengolahan

		data
	INPUT OUTPUT DATA	Proses input/ouput data, parameter, informasi
	PREDIFINED PROCESS (SUB PROGRAM)	Permulaan sub program/proses menjalankan sub program
	DECISION	Perbandingan penyeleksian data yang memberikan pilihan Langkah selanjutnya
	ON PAGE CONNECTOR	Penghubung bagian-bagian *flowchart* yang berada pada satu halaman
	OFF PAGE CONNECTOR	Penghubung bagian-bagian *flowchart* yang berada pada halaman berbeda

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Jadwal Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada CV. Seiring Sejalan di kota Tanjungbalai, sebuah perusahaan industri kecil menengah (IKM) yang bergerak di bidang pengolahan ikan segar.

3.1.2. Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan , yaitu dari Januari 2025 hingga April 2024, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.1. Time Line Kegiatan

No	Agenda	Month					
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Persiapan Penelitian						
2	Studi Kepustakaan						
3	Penyusunan Proposal						
4	Perancangan Alat						
5	Penulisan Bab IV - Bab V						

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. NodeMCU ESP32
2. Sensor pH
3. Sensor Suhu DS18B20
4. Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)
5. Baseboard ESP32
6. Kabel Jumper
7. Micro USB
8. Terminal Sensor Suhu
9. Perangkat Komputer/Laptop

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan menggunakan dua metode utama, yaitu observasi dan studi pustaka. Selain itu, data sensor yang diperoleh akan diproses menggunakan metode Supervised Learning agar hasil analisis lebih akurat dan dapat digunakan untuk klasifikasi kualitas limbah.

3.3.1. Observasi

Observasi dilakukan dengan memantau langsung kondisi limbah industri dan mengumpulkan data dari sensor yang terpasang. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Sensor pH → Mengukur tingkat keasaman atau kebasaan limbah cair.
2. Sensor Suhu DS18B20 → Memantau perubahan suhu ysang ada pada limbah.

3. Sensor TDS → Menunjukkan konsentrasi zat padat terlarut dalam air limbah.

Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan ke server melalui NodeMCU ESP32, lalu dianalisis menggunakan algoritma *Decision Tree* untuk mengklasifikasikan kondisi limbah ke dalam kategori Aman, Waspada, atau Berbahaya. Observasi ini bertujuan untuk memastikan sistem bekerja secara optimal dan memberikan hasil yang akurat dalam pemantauan limbah industri.

3.3.2. Studi Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Wijaya, Lestari, & Anwar (2019) membahas pemantauan limbah industri menggunakan sensor. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi parameter pH, suhu, dan TDS, serta mengurangi kesalahan dalam pemantauan manual. Hal ini relevan dengan skripsi ini karena mendukung penggunaan sensor dalam pemantauan kualitas limbah.

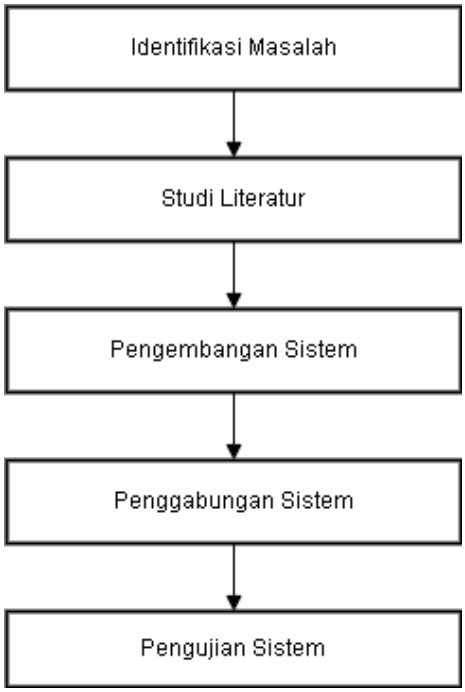
Jurnal dari Susanto, Prasetyo, & Handoko (2022) membahas penerapan IoT dalam pemantauan limbah. Sensor yang digunakan mengirimkan data ke server, memungkinkan tindakan cepat jika terjadi pencemaran. Penelitian ini mendukung penggunaan IoT dalam sistem skripsi ini untuk mengotomatiskan proses pemantauan limbah industri.

Penelitian Rahman & Dewi (2023) berfokus pada pengembangan aplikasi web untuk visualisasi data pemantauan limbah. Aplikasi ini menampilkan data dalam bentuk grafik interaktif dan memberikan notifikasi otomatis jika terjadi perubahan signifikan. Temuan ini menjadi acuan dalam pengembangan aplikasi web skripsi ini untuk menyajikan informasi limbah dengan lebih jelas dan mudah dipahami.

Dalam analisis data limbah, Haryanto et al. (2021) mengkaji algoritma Machine Learning untuk klasifikasi kualitas limbah. Studi ini menunjukkan bahwa *Decision Tree* memiliki akurasi tinggi dalam mengkategorikan limbah menjadi Aman, Waspada, atau Berbahaya. Penelitian ini menjadi dasar dalam pemilihan metode *Supervised Learning* dalam skripsi ini.

Terakhir, penelitian Sari, Wijayanti, & Maulana (2020) membahas dampak limbah industri terhadap lingkungan dan kesehatan. Studi ini menegaskan pentingnya sistem monitoring limbah yang akurat dan berkelanjutan, yang sejalan dengan tujuan pengembangan sistem dalam skripsi ini.

3.4. Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Alur Penelitian

3.4.1. Identifikasi Masalah

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi permasalahan yang sedang diteliti. Tahap ini dilakukan dengan cara mengamati masalah yang terdapat dan kemudian mempelajarinya lebih dalam baik itu melalui observasi

langsung atau melalui studi literatur yang terkait dengan penelitian. Mencari masalah yang akan diteliti adalah Langkah pertama dan paling penting dalam tahap penelitian. Hal ini dapat dilakukan dengan mencermati topik yang sedang diteliti. Selanjutnya, mengamati masalah lebih dalam dengan membaca dan memeriksa literatur.

3.4.2. Studi Literatur

Dalam tahapan ini, penulis mengumpulkan berbagai sumber informasi yang relevan terhadap judul penelitian ini dan mengembangkan kerangka teori sebelumnya.

3.4.3. Pengembangan Sistem

Tahap Terdapat tiga hal yang perlu dilakukan untuk penentuan Tingkat bahaya kualitas air limbah di industry yaitu:

1. Perancangan perangkat keras, Merakit sensor dan mikrokontroler.
2. Memasukkan algoritma *Decision Tree* ke dalam Model yang dilatih menggunakan data sensor yang dikumpulkan.
3. Membuat aplikasi web dan kemudian mengirim data dari sensor dikirim ke server dan ditampilkan dalam bentuk visualisasi.

3.4.4. Penggabungan Sistem

Pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras yang telah dirakit akan diintegrasikan dengan sistem perangkat lunak. Sensor pH, suhu, dan TDS yang telah terpasang akan dihubungkan dengan NodeMCU ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali dan komunikasi data. Setelah itu, algoritma *Decision Tree* yang telah dilatih akan diterapkan dalam sistem untuk mengklasifikasikan kondisi limbah berdasarkan data yang diterima dari sensor.

Data yang telah didapatkan dari sensor akan dikirimkan langsung ke server, di mana model *Decision Tree* akan memproses dan menentukan kategori limbah apakah Aman, Waspada, atau Berbahaya. Hasil klasifikasi ini kemudian ditampilkan pada aplikasi web dalam bentuk grafik interaktif serta notifikasi otomatis jika terdapat parameter yang melebihi batas aman.

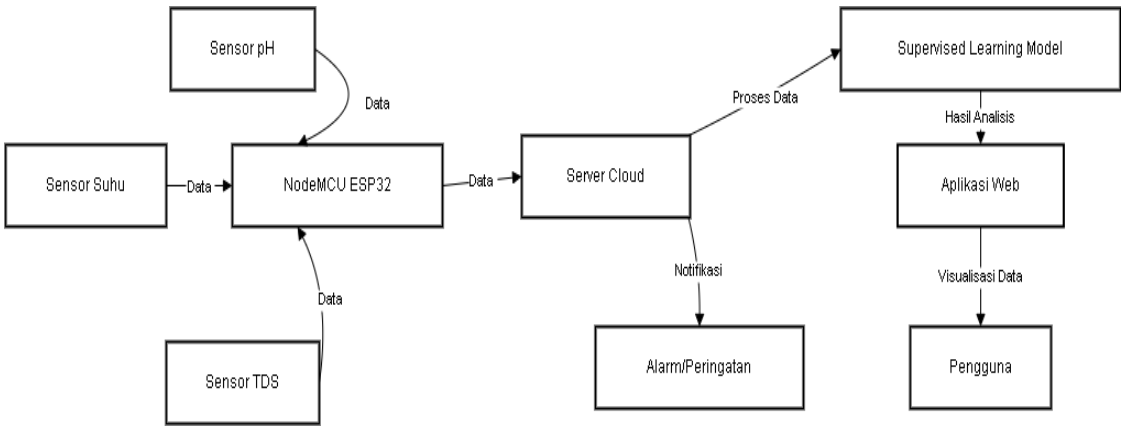
3.4.5. Pengujian Sistem

Pada tahap ini Pengujian dilakukan untuk melihat alat bekerja dengan baik atau tidak, sistem akan diuji untuk memastikan bahwa komunikasi data berjalan lancar dan algoritma bekerja sesuai dengan skenario pengujian yang telah dirancang. jika terdapat kesalahan maka akan segera diatasi agar alat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Setelah semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi,

3.5. Perancangan Alur Kerja Sistem

3.5.1. Blok Diagram Sistem

Blok diagram berikut menunjukkan bagaimana komponen dalam sistem bekerja bersama.



Gambar 3.2. Blok Diagram Sistem

Sistem monitoring limbah industri berbasis IoT bekerja dengan sensor pH, suhu, dan TDS untuk mengukur parameter limbah. Data yang diperoleh dikirim oleh NodeMCU ESP32 ke server cloud, di mana data disimpan dan dianalisis menggunakan algoritma *Decision Tree*. Hasil analisis kemudian ditampilkan di aplikasi web dalam bentuk grafik dan laporan. Jika parameter limbah melebihi batas aman, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan ke aplikasi web.

3.5.2. Flowchart Alur Kerja Sistem

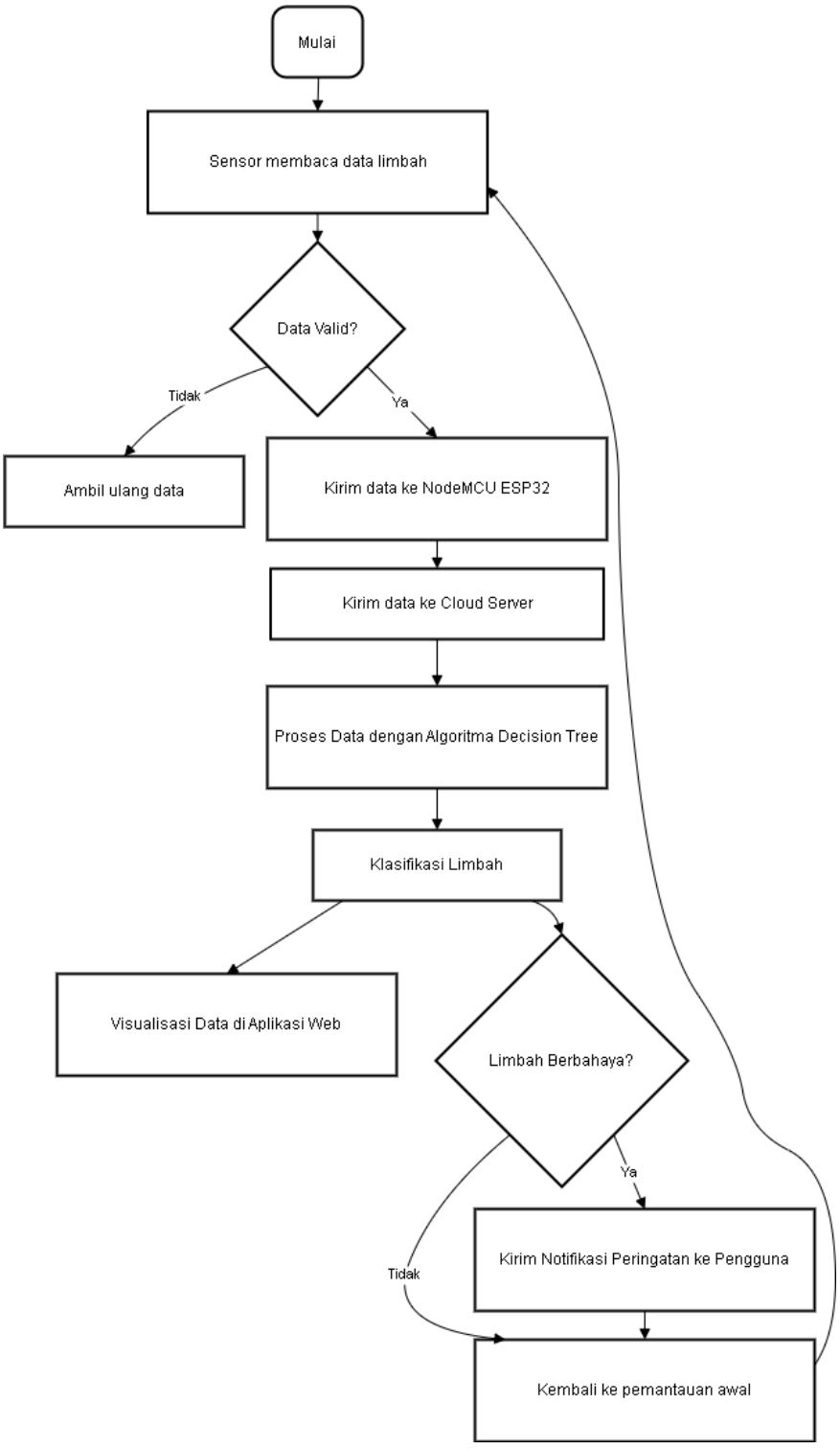
Flowchart berikut menggambarkan tahapan proses sistem pemantauan limbah berbasis IoT:

Pada flowchart sistem monitoring limbah industri berbasis IoT, proses dimulai ketika sistem diaktifkan, dan sensor mulai bekerja untuk membaca parameter limbah seperti pH, suhu, dan TDS. Setelah sensor mengambil sampel, data yang diperoleh akan divalidasi untuk memastikan keakuratannya. Jika data tidak valid, sistem akan mengambil ulang data hingga mendapatkan hasil yang benar. Jika data valid, NodeMCU ESP32 akan mengirimkan data tersebut ke cloud server untuk diproses lebih lanjut.

Selanjutnya, data yang diterima akan dianalisis menggunakan algoritma *Decision Tree* untuk mengklasifikasikan kondisi limbah. Hasil klasifikasi ini akan menentukan apakah limbah masuk dalam kategori Aman, Waspada, atau Berbahaya. Jika limbah dikategorikan sebagai berbahaya, sistem secara otomatis akan mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna.

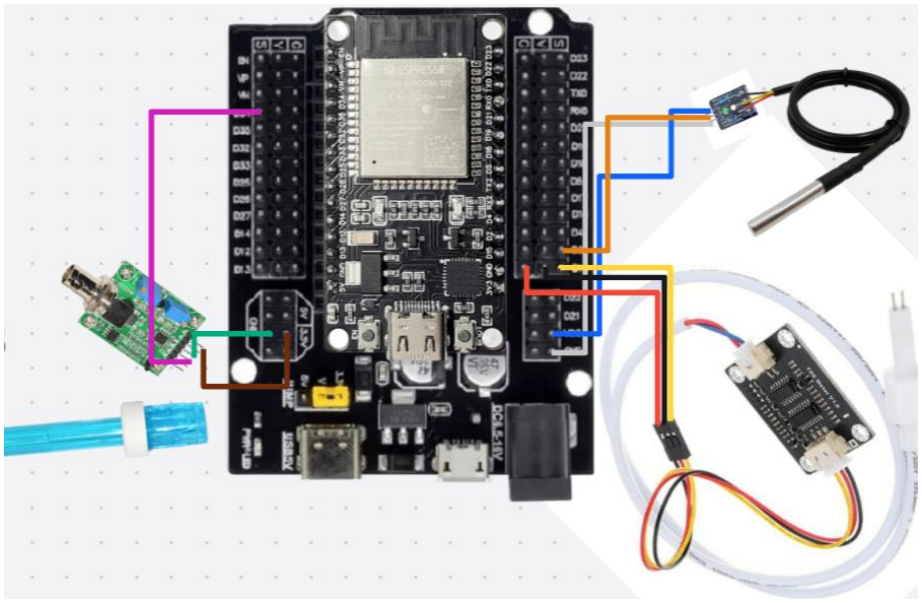
Selain itu, data yang telah diproses akan divisualisasikan dalam bentuk grafik dan informasi interaktif pada aplikasi web, sehingga pengguna dapat

memantau kondisi limbah dengan lebih mudah. Setelah semua proses selesai, sistem akan kembali ke tahap awal untuk terus melakukan pemantauan secara berkala.



Gambar 3.3. Flowchart Alur Kerja Sistem

3.6. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3.4. Skematik Perangkat Keras

ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama yang menghubungkan tiga jenis sensor, yaitu sensor pH, sensor TDS, dan sensor suhu DS18B20. Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air, sedangkan sensor TDS (Total Dissolved Solids) digunakan untuk mengukur tingkat kandungan padatan terlarut dalam air. Sensor suhu DS18B20 berfungsi untuk membaca suhu air secara digital dengan akurasi tinggi. Sensor pH dan TDS dihubungkan ke pin analog pada ESP32, yang bertindak sebagai input untuk membaca tegangan dari masing-masing sensor dan mengubahnya menjadi data digital. Sementara itu, sensor suhu DS18B20 terhubung melalui komunikasi digital menggunakan protokol OneWire. Data yang diperoleh dari ketiga sensor ini kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirim ke aplikasi web untuk ditampilkan dan diklasifikasikan menggunakan metode supervised learning.

Tabel 3.2 Hubungan Pin ESP32 ke Sensor Suhu, TDS dan pH

Sensor	Pin Sensor	Pin ESP32	Warna Kabel
Sensor Suhu DS18B20	Data	D2 (GPIO 2)	Jingga
	VCC	VCC	Biru
	GND	GND	Putih
Sensor TDS	AOUT (Data Analog)	D15 (GPIO 15)	Kuning
	VCC	3V3	Merah
	GND	GND	Hitam
Sensor pH	AOUT (Data Analog)	D34 (GPIO 34)	Ungu
	VCC	3V3	Coklat
	GND	GND	Hijau

3.7. Klasifikasi Kualitas air berdasarkan parameter Sensor

Tabel 3.3. Klasifikasi kualitas air berdasarkan parameter suhu, pH, dan TDS

Kategori	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Keterangan
Aman	25 – 30	6.5 – 8.5	0 – 300	Kondisi normal sesuai dengan standar kualitas air sungai
Tercemar	< 25 atau > 30	5.5 – 6.4 atau 8.6 – 9.0	301 – 500	Menunjukkan adanya pencemaran ringan
Berbahaya	< 20 atau > 35	< 5.5 atau > 9.0	> 500	Air sangat tercemar dan berpotensi merusak ekosistem

Tabel klasifikasi di atas digunakan sebagai dasar dalam menentukan kategori kualitas air berdasarkan tiga parameter utama, yaitu suhu, pH, dan TDS. Parameter-parameter tersebut dibandingkan dengan rentang nilai standar yang telah ditentukan untuk masing-masing kategori, yaitu Aman, Tercemar, dan Berbahaya.

Klasifikasi ini kemudian dijadikan acuan dalam proses pelabelan data untuk model Supervised Learning. Dengan adanya pembagian kategori tersebut, sistem dapat secara otomatis mengelompokkan kondisi air berdasarkan hasil pembacaan sensor. Nilai-nilai dari suhu, pH, dan TDS yang dibaca oleh sensor akan dibandingkan dengan batas-batas dalam tabel, lalu diklasifikasikan oleh model Decision Tree untuk menghasilkan keputusan mengenai tingkat pencemaran air limbah.

P3.8. Decision Tree sebagai Metode Klasifikasi

Metode *Decision Tree* adalah salah satu algoritma dalam *Supervised Learning* yang digunakan untuk melakukan klasifikasi berdasarkan data yang sudah diberi label. Algoritma ini bekerja dengan cara membentuk struktur seperti pohon, di mana setiap cabang mewakili pengambilan keputusan berdasarkan nilai atribut (fitur), dan setiap daun (leaf) menunjukkan hasil akhir berupa kelas atau label.

Dalam penelitian ini, *Decision Tree* digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas air limbah berdasarkan tiga parameter utama yang diperoleh dari sensor, yaitu:

1. Suhu air (dalam °C),
2. pH air, dan
3. Total Dissolved Solids (TDS) dalam satuan ppm.

Algoritma ini akan mempelajari data latih berupa kombinasi nilai suhu, pH, dan TDS yang telah dikategorikan sebelumnya sebagai Aman, Tercemar, atau Berbahaya. Setelah model dilatih, sistem dapat digunakan untuk memprediksi atau mengklasifikasikan data baru dari hasil pembacaan sensor.

Misalnya, kita punya data latih seperti berikut:

1. Suhu 27.0 °C; pH 7.0; TDS 150 ppm → Kategori: Aman
2. Suhu 24.0 °C; pH 6.0; TDS 320 ppm → Kategori: Tercemar
4. Suhu 35.0 °C; pH 9.1; TDS 600 ppm → Kategori: Berbahaya
5. Suhu 30.0 °C; pH 8.0; TDS 250 ppm → Kategori: Aman
6. Suhu 31.0 °C; pH 5.9; TDS 450 ppm → Kategori: Tercemar
7. Suhu 36.0 °C; pH 9.5; TDS 700 ppm → Kategori: Berbahaya

Dari data ini, *Decision Tree* akan mencari pola, misalnya:

a. Jika TDS > 500, maka Berbahaya.
b. Jika pH < 6.5 atau pH > 8.5, maka Tercemar.
c. Jika Suhu < 25°C atau Suhu > 30°C, maka Tercemar.
d. Jika semua parameter dalam batas normal, maka Aman.

Kemudian, jika ada pembacaan baru dari sensor seperti:
Suhu: 28°C, pH: 7.2, TDS: 280 ppm
Maka model akan mengevaluasi berdasarkan aturan pohon keputusan, dan menyimpulkan bahwa kondisi air tersebut masuk dalam kategori Aman.

Dengan cara ini, sistem dapat secara otomatis dan cepat memberikan informasi kepada pengguna apakah limbah air yang dipantau termasuk aman, tercemar, atau berbahaya.

BAB IV

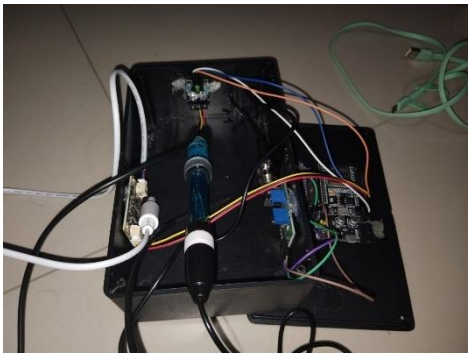
HASIL DAN PEMBAHASAN

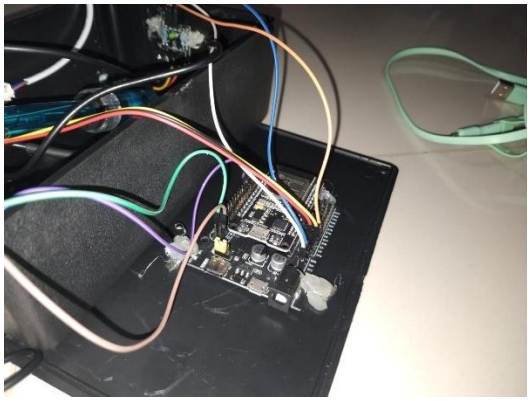
Sistem ini memanfaatkan sensor pH, suhu (DS18B20), dan Total Dissolved Solids (TDS) yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Data sensor diproses dan diklasifikasikan menggunakan algoritma Decision Tree, lalu ditampilkan melalui aplikasi web lokal secara real-time.

Fokus utama pengujian adalah kemampuan sistem untuk membaca parameter kualitas air limbah dan memberikan hasil klasifikasi yang akurat berdasarkan nilai suhu, pH, dan TDS. Selain itu, sistem juga diuji dalam hal kestabilan pengiriman data ke aplikasi web dan keakuratan hasil klasifikasinya berdasarkan model machine learning yang telah dilatih.

4.1. Perakitan Alat

Pada proses ini dibahas secara rinci langkah-langkah perakitan sistem monitoring limbah industri yang menggunakan modul ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Sistem ini dilengkapi dengan tiga sensor: sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan sensor TDS. Untuk sumber daya dan komunikasi data, sistem menggunakan sambungan kabel USB dari ESP32 ke komputer. Pada pembahasan ini akan mencakup dari perakitan fisik komponen-komponen tersebut, pengaturan dan pengujian awal untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan.





Gambar 4.1. Rangkaian Pin

Pada gambar 4.1 ditampilkan diagram sambungan kabel dari masing-masing sensor ke ESP32. Sensor suhu disambungkan ke GPIO 2, sensor TDS ke GPIO 15, dan sensor pH ke GPIO 34. Seluruh sensor menerima catu daya dari pin 3V3 dan GND pada ESP32. Penyambungan dilakukan menggunakan kabel jumper melalui terminal block pada masing-masing sensor.

Tabel 4.1. Hubungan Pin ESP32 ke Sensor Suhu, TDS dan pH

Sensor	Pin Sensor	Pin ESP32	Warna Kabel
Sensor Suhu DS18B20	Data	D2 (GPIO 2)	Jingga
	VCC	VCC	Biru
	GND	GND	Putih
Sensor TDS	AOUT (Data Analog)	D15 (GPIO 15)	Kuning
	VCC	3V3	Merah
	GND	GND	Hitam
Sensor pH	AOUT (Data Analog)	D34 (GPIO 34)	Ungu
	VCC	3V3	Coklat
	GND	GND	Hijau

4.2. Perancangan perangkat lunak (*Software)*

Pada sistem monitoring limbah industri ini, perangkat lunak dirancang untuk mengelola pengambilan data dari sensor melalui mikrokontroler ESP32 dan menampilkan hasil klasifikasi kualitas air secara interaktif pada aplikasi web. Sistem terdiri dari dua komponen utama: pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE dan pengembangan aplikasi web berbasis Python Flask.

4.2.1. Pemrograman Mikrokontroler (Arduino IDE)

Pemrograman ESP32 dilakukan dengan Arduino IDE, yang berfungsi sebagai platform untuk menulis dan mengunggah kode ke perangkat mikrokontroler. Pada penelitian ini, ESP32 digunakan untuk membaca data dari tiga sensor:

1. Sensor suhu DS18B20
2. Sensor pH
3. Sensor TDS

Berikut adalah tahapan utama dalam pemrograman:

a) Untuk mendefinisikan jenis board dan sensor suhu, digunakan kode sebagai berikut:

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

b) kodingan ini berfungsi mendefinisikan pin-pin analog dan koneksi ke masing-masing sensor:

```
#define ONE_WIRE_BUS 2   // Pin data sensor suhu DS18B20
#define PH_PIN 34        // Pin analog untuk sensor pH
```

```
#define TDS_PIN 15       // Pin analog untuk sensor TDS
```

c) Agar ESP32 bisa berkomunikasi dan mengambil data dari sensor suhu DS18B20 dipakai kode sebagai berikut:

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature tempSensor(&oneWire);
```

4.2.2. Rancangan Aplikasi Web

Aplikasi web pada sistem monitoring limbah ini dibangun dengan pendekatan client-server lokal, di mana data hasil pembacaan sensor dari alat diproses menggunakan model machine learning yang telah dilatih sebelumnya. Hasil pengolahan kemudian ditampilkan melalui antarmuka berbasis web yang responsif dan sederhana.

Perancangan sistem ini terdiri dari beberapa komponen, antara lain:

1. Dataset dan Pelatihan Model (dataset.csv dan train_model.py)

Sebelum sistem dapat mengklasifikasikan data sensor, dibutuhkan model machine learning yang dilatih berdasarkan data nyata. Untuk itu, digunakan file dataset.csv sebagai sumber data pelatihan. File ini berisi kolom suhu, ph, tds, dan label, yang masing-masing mewakili nilai sensor dan kategori hasil (Aman, Tercemar, Berbahaya).

Contoh isi dataset.csv:

```
suhu,ph,tds,label
27.0,7.0,150,Aman
30.0,8.0,250,Aman
35.0,9.1,600,Berbahaya
24.0,6.0,320,Tercemar
```

```
28.0,6.4,301,Tercemar
```

Berdasarkan dataset ini, model decision tree dilatih menggunakan script Python train_model.py, yang memanfaatkan pustaka pandas dan scikit-learn.

Isi dari train_model.py:

```
import pandas as pd
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
import joblib
# Load data dari file
df = pd.read_csv('data/dataset.csv')
X = df[['suhu', 'ph', 'tds']]
y = df['label']
# Melatih model
model = DecisionTreeClassifier()
model.fit(X, y)
# Simpan model ke file
joblib.dump(model, 'data/decision_tree.pkl')
print("Model trained and saved.")
```

File ini hanya perlu dijalankan sekali sebelum sistem digunakan, kecuali apabila dataset diperbarui. Hasil pelatihan disimpan dalam file decision_tree.pkl, yang kemudian digunakan dalam backend Flask untuk klasifikasi data sensor secara real-time.

2. Backend Python (model.py dan server.py)

Setelah model dilatih, sistem menggunakan file model.py untuk memuat model dan membuat fungsi klasifikasi berdasarkan input suhu, pH, dan TDS

```
import joblib
def klasifikasi(suhu, ph, tds):
    model = joblib.load('data/decision_tree.pkl')
    hasil = model.predict([[suhu, ph, tds]])
    return hasil[0]
```

Fungsi ini akan dipanggil oleh file server.py, yang berperan sebagai backend Flask untuk menerima data dari frontend dan mengembalikan hasil klasifikasi.

3. Antarmuka Pengguna (index.html dan script.js)

Tampilan web dirancang menggunakan HTML dan CSS agar responsif dan mudah digunakan. Data ditampilkan melalui elemen yang akan diperbarui setiap dua detik oleh script.js.

4. Pembacaan Serial dari Alat (serial_reader.py)

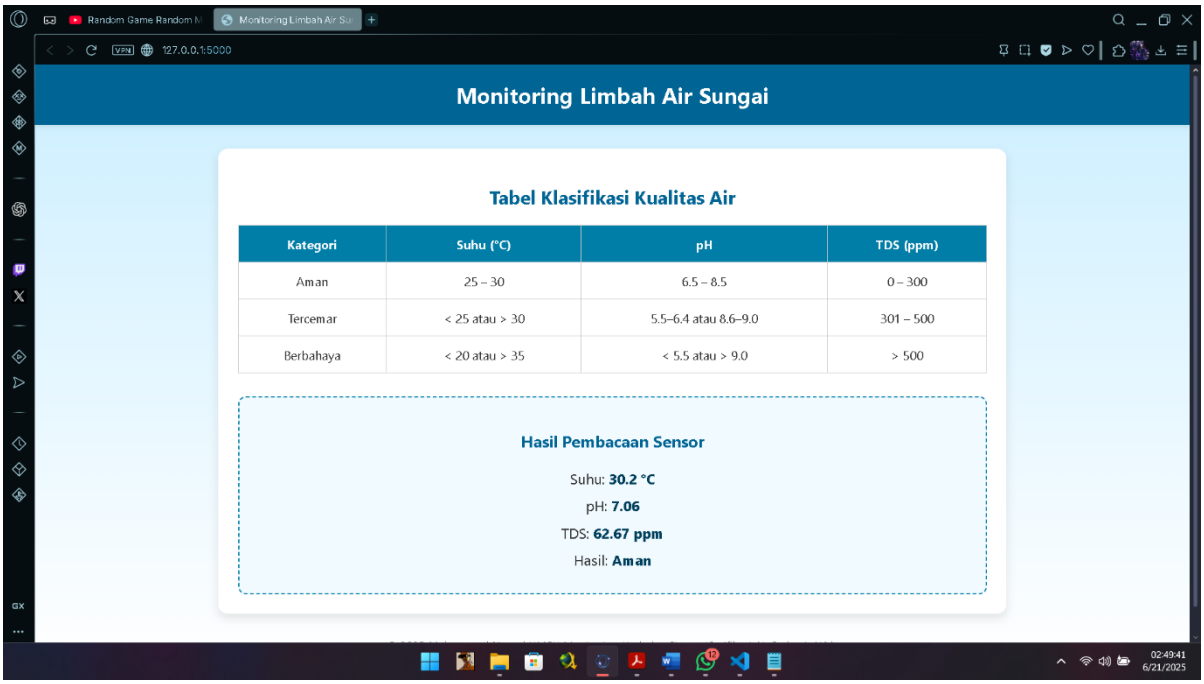
Agar data dari ESP32 dapat diproses oleh sistem, digunakan file serial_reader.py yang membaca port serial dan mengirimkan data ke backend.

```
ser = serial.Serial('COM7', 115200, timeout=1)
while True:
    line = ser.readline().decode().strip()
    if "Suhu:" in line:
        # Ekstrak data dan kirim POST ke server Flask
```

Dengan integrasi dari alat hingga antarmuka web ini, sistem dapat berjalan secara real-time dan memberikan klasifikasi limbah berdasarkan data sensor aktual.

4.3. Uji Coba Rangkaian Sistem

Uji coba rangkaian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen yang telah dirancang, baik perangkat keras (ESP32 dan sensor) maupun perangkat lunak (aplikasi web dan model klasifikasi), dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang diuji adalah sistem monitoring kualitas limbah air berbasis IoT yang mengukur tiga parameter utama yaitu suhu, pH, dan TDS, lalu mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan hasil pembacaan tersebut menggunakan metode Supervised Learning.



Gambar 4.2. Tampilan Aplikasi Web Monitoring Limbah

Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai suhu, pH, dan TDS berhasil ditampilkan pada halaman web, dan hasil klasifikasi juga muncul dengan kategori yang sesuai berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan dalam tabel. Hal ini menunjukkan bahwa webnya berfungsi dengan baik dalam menampilkan hasil pembacaan sensor secara real-time dan dapat memproses klasifikasi melalui model decision tree yang telah dilatih sebelumnya.

Selain itu, antarmuka aplikasi web dapat menampilkan data secara dinamis setiap beberapa detik tanpa perlu dilakukan refresh secara manual. Hal ini membuktikan bahwa komunikasi antara alat, backend, dan frontend berjalan dengan baik.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring limbah industri berbasis IoT yang dirancang telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem tidak hanya mampu membaca dan mengirimkan data dari sensor, tetapi juga mampu mengolah data tersebut secara otomatis menggunakan algoritma supervised learning dan menyajikan hasilnya dalam bentuk klasifikasi kualitas air yang jelas, akurat, dan mudah dipahami oleh pengguna melalui tampilan web.

4.4. Hasil Pengujian

Hasil pengujian dilakukan selama lima hari, mulai dari tanggal 8 Juni 2025 sampai dengan 12 Juni 2025.

Pada hari pertama, tanggal 8 Juni 2025, pengujian dilakukan dari pukul 09.00 WIB hingga 10.00 WIB, dengan pengambilan data sensor setiap lima menit. Data dikumpulkan secara otomatis.



Gambar 4.3. Pengujian Lapangan Hari Pertama

Tabel 4.2. Pengujian Lapangan Hari Pertama

Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Status Kualitas Air
09.00	29.0	5.85	43.76	Aman
09.05	29.1	5.88	45.10	Aman
09.10	28.9	5.90	44.20	Aman
09.15	29.0	5.86	43.00	Aman
09.20	29.2	5.84	42.50	Aman
09.25	29.1	5.87	43.40	Aman
09.30	29.0	5.86	43.76	Aman
09.35	28.8	5.89	44.10	Aman
09.40	29.2	5.83	45.00	Aman
09.45	29.1	5.85	44.20	Aman
09.50	29.0	5.86	43.60	Aman
09.55	28.9	5.88	42.80	Aman
10.00	29.0	5.85	43.76	Aman

Hasil yang ditunjukkan oleh sistem pada tanggal 8 Juni 2025 dari pukul 09.00 WIB hingga 10.00 WIB merupakan hasil pembacaan sensor suhu, pH, dan TDS yang dikirimkan melalui ESP32 dan ditampilkan pada aplikasi web monitoring limbah. Seluruh nilai yang terbaca termasuk dalam kategori Aman berdasarkan parameter klasifikasi kualitas air. Aplikasi web menampilkan nilai-nilai tersebut secara real-time dalam bentuk teks dan klasifikasi status, yang membantu pengguna mengetahui kondisi air limbah dengan cepat dan mudah dipahami.

Hari kedua tanggal 9 Juni 2025 dilakukan pengujian dengan rentan waktu satu jam, dari pukul 16.15 WIB sampai pukul 17.15 WIB



Gambar 4.4. Pengujian Lapangan Hari Kedua

Tabel 4.3. Pengujian Lapangan Hari Kedua

Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Status Kualitas Air
16.15	29.1	6.44	36.45	Aman
16.20	29.2	6.46	37.00	Aman
16.25	29.0	6.42	35.80	Aman
16.30	29.1	6.45	36.20	Aman
16.35	29.2	6.43	36.00	Aman
16.40	29.1	6.44	36.45	Aman
16.45	29.1	6.45	36.60	Aman
16.50	29.2	6.46	37.10	Aman
16.55	29.0	6.43	36.20	Aman
17.00	29.1	6.44	36.50	Aman

17.05	29.1	6.45	36.30	Aman
17.10	29.2	6.46	37.00	Aman
17.15	29.1	6.44	36.45	Aman

Pada tanggal 9 Juni 2025 dari pukul 16.15 WIB hingga 17.15 WIB, sistem kembali melakukan pengambilan data sensor dari air limbah. Hasil yang ditampilkan di web menunjukkan bahwa parameter suhu, pH, dan TDS tetap berada dalam batas aman. Data yang diterima ditampilkan di antarmuka web secara otomatis, memberikan informasi langsung kepada pengguna tanpa perlu analisis manual. Fungsi klasifikasi Supervised Learning berhasil memberikan hasil status kualitas air secara akurat.

Hari ketiga tanggal 10 Juni 2025 dilakukan pengujian dengan rentan waktu satu jam, dari pukul 08.30 WIB sampai pukul 09.30 WIB



Gambar 4.5. Pengujian Lapangan Hari Ketiga

Tabel 4.4. Pengujian Lapangan Hari Ketiga

Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Status Kualitas Air
08.30	28.8	7.30	43.10	Aman
08.35	28.9	7.32	43.40	Aman
08.40	28.8	7.31	43.00	Aman
08.45	28.7	7.29	43.30	Aman
08.50	28.8	7.30	43.20	Aman
08.55	28.9	7.28	43.50	Aman
09.00	28.8	7.30	43.10	Aman
09.05	28.7	7.31	43.20	Aman
09.10	28.8	7.30	43.30	Aman
09.15	28.8	7.30	43.20	Aman
09.20	28.9	7.29	43.10	Aman
09.25	28.8	7.30	43.30	Aman
09.30	28.8	7.30	43.20	Aman

Pengujian pada 10 Juni 2025 dari pukul 08.30 WIB sampai 09.30 WIB menunjukkan konsistensi sistem dalam membaca dan menampilkan data. Meskipun dilakukan pada jam berbeda dari hari sebelumnya, nilai sensor tetap stabil dan menunjukkan kategori Aman. Sistem web juga memberikan pembacaan hasil klasifikasi yang konsisten, serta mampu menangani data input berulang tanpa error atau keterlambatan.

Hari keempat tanggal 11 Juni 2025 dilakukan pengujian dengan rentan waktu satu jam, dari pukul 16.45 WIB sampai pukul 17.45 WIB



Gambar 4.6. Pengujian Lapangan Hari Keempat

Tabel 4.5. Pengujian Lapangan Hari Keempat

Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Status Kualitas Air
16.45	28.8	7.32	60.83	Aman
16.50	28.7	7.31	60.20	Aman
16.55	28.9	7.33	59.80	Aman
17.00	28.8	7.32	60.50	Aman
17.05	28.8	7.31	60.30	Aman
17.10	28.9	7.34	60.70	Aman
17.15	28.7	7.30	60.10	Aman
17.20	28.8	7.32	60.90	Aman
17.25	28.9	7.33	60.40	Aman
17.30	28.8	7.31	60.20	Aman
17.35	28.8	7.32	60.70	Aman
17.40	28.7	7.30	60.10	Aman
17.45	28.8	7.32	60.83	Aman

Selama pengujian pada tanggal 11 Juni 2025 dari pukul 16.45 WIB hingga 17.45 WIB, sistem menunjukkan bahwa meskipun nilai TDS mencapai angka di

atas 60 ppm, status kualitas air tetap tergolong Aman. Ini karena batas TDS aman yang ditetapkan dalam sistem adalah ≤300 ppm. Web aplikasi berhasil menampilkan semua nilai dengan cepat dan klasifikasi juga ditampilkan langsung secara otomatis berdasarkan model decision tree yang telah dilatih sebelumnya.

Hari kelima tanggal 12 Juni 2025 dilakukan pengujian dengan rentan waktu satu jam, dari pukul 07.50 WIB sampai pukul 08.50 WIB



Gambar 4.7. Pengujian Lapangan Hari Kelima

Tabel 4.6. Pengujian Lapangan Hari Kelima

Waktu	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Status Kualitas Air
07.50	29.1	6.60	38.88	Aman
07.55	29.2	6.62	39.10	Aman
08.00	29.0	6.59	38.70	Aman
08.05	29.1	6.61	38.90	Aman
08.10	29.2	6.60	39.00	Aman
08.15	29.1	6.60	38.80	Aman
08.20	29.0	6.63	38.60	Aman
08.25	29.1	6.61	39.10	Aman

08.30	29.2	6.60	39.20	Aman
08.35	29.1	6.60	38.90	Aman
08.40	29.0	6.62	39.00	Aman
08.45	29.1	6.60	38.80	Aman
08.50	29.1	6.60	38.88	Aman

Pengujian terakhir dilakukan pada tanggal 12 Juni 2025 dari pukul 07.50 WIB hingga 08.50 WIB. Nilai suhu, pH, dan TDS semuanya berada di rentang kategori Aman, dan sistem menunjukkan bahwa web aplikasi mampu menampilkan data sensor serta klasifikasi dengan stabil tanpa gangguan. Dengan demikian, sistem monitoring ini terbukti dapat digunakan secara konsisten selama beberapa hari pengamatan berturut-turut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi sistem monitoring limbah industri berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah berhasil dirancang dan dibangun sistem monitoring limbah industri yang menggunakan sensor suhu (DS18B20), sensor pH, dan sensor TDS, serta dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32.
2. Sistem mampu membaca parameter kualitas air limbah (suhu, pH, dan TDS) secara berkala dan mengirimkan hasil pembacaan ke aplikasi web berbasis lokal.
3. Metode Supervised Learning jenis Decision Tree berhasil diterapkan untuk mengklasifikasikan status kualitas limbah menjadi kategori Aman, Tercemar, atau Berbahaya berdasarkan data pelatihan yang diberikan.
4. Aplikasi web yang dibuat dapat menampilkan hasil pembacaan sensor, klasifikasi kualitas limbah, serta tabel referensi klasifikasi secara real-time dengan antarmuka yang sederhana dan mudah dipahami.
5. Berdasarkan pengujian selama lima hari di CV. Seiring Sejalan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa kualitas air limbah tergolong dalam kategori aman, menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah di industri tersebut telah memenuhi parameter standar kualitas.

5.2. Saran

Untuk pengembangan sistem ke depan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan menjadi versi online (berbasis server atau cloud) agar dapat diakses dari lokasi mana saja.
2. Penambahan sensor lain seperti sensor kekeruhan (*turbidity*), sensor DO (Dissolved Oxygen), atau sensor logam berat akan membuat sistem lebih komprehensif.
3. Model klasifikasi dapat ditingkatkan menggunakan algoritma lain seperti Random Forest atau SVM, agar akurasi klasifikasi lebih tinggi.
4. Sistem dapat dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis apabila hasil pengukuran menunjukkan kualitas air dalam kategori tercemar atau berbahaya.
5. Disarankan untuk menambahkan fitur grafik pada aplikasi web yang dapat menampilkan data secara berkala setiap lima menit.

5.3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi bahan evaluasi untuk pengembangan selanjutnya:

1. Sistem hanya berfungsi dalam mode lokal, belum menggunakan penyimpanan cloud atau integrasi online secara real-time.
2. Data sensor hanya dikumpulkan dalam rentang waktu terbatas dan belum mencerminkan kondisi jangka panjang atau cuaca ekstrem.
3. Kalibrasi sensor pH dan TDS masih dilakukan secara manual dan dapat menimbulkan ketidaktepatan jika tidak dilakukan secara hati-hati.
4. Dataset yang digunakan untuk pelatihan model masih terbatas sehingga klasifikasi bisa lebih optimal jika jumlah data ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

Trevor, H., Robert, T., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer.

Rudi, H., Putra, S., & Muhammad, F. (2021). Implementasi Machine Learning dalam Pemantauan Kualitas Air Limbah Industri. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *12*(2), 87–99.

Tom Michael, M. (1997). *Machine Learning* (1st ed.). McGraw-Hill.

Roger Stewart, P. (2014). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (8th ed.). McGraw-Hill.

Ahmad, P., & Siti, R. (2021). Analisis Efisiensi Pemantauan Limbah Industri Menggunakan Metode Konvensional. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *14*(3), 112–120.

Bayu, R., & Kartika, D. (2023). Perancangan Aplikasi Web Interaktif untuk Monitoring Lingkungan Industri. *Jurnal Sistem Informasi*, *21*(1), 77–89.

Lestari, S., Fitri, W., & Hafiz, M. (2020). Dampak Limbah Industri terhadap Ekosistem dan Kesehatan Masyarakat di Indonesia. *Jurnal Ekologi Lingkungan*, *9*(4), 134–148.

Gary B., S., & Misty E., V. (2011). *Discovering Computers: Fundamentals* (2011th ed.). Cengage Learning.

Ian, S. (2015). *Software Engineering* (10th ed.). Pearson.

Yudi, S., Bambang, P., & Mulyadi, H. (2022). Implementasi Internet of Things (IoT) dalam Sistem Pemantauan Limbah Berbasis Sensor Nirkabel. *Jurnal Teknologi Terapan*, *16*(2), 88–99.

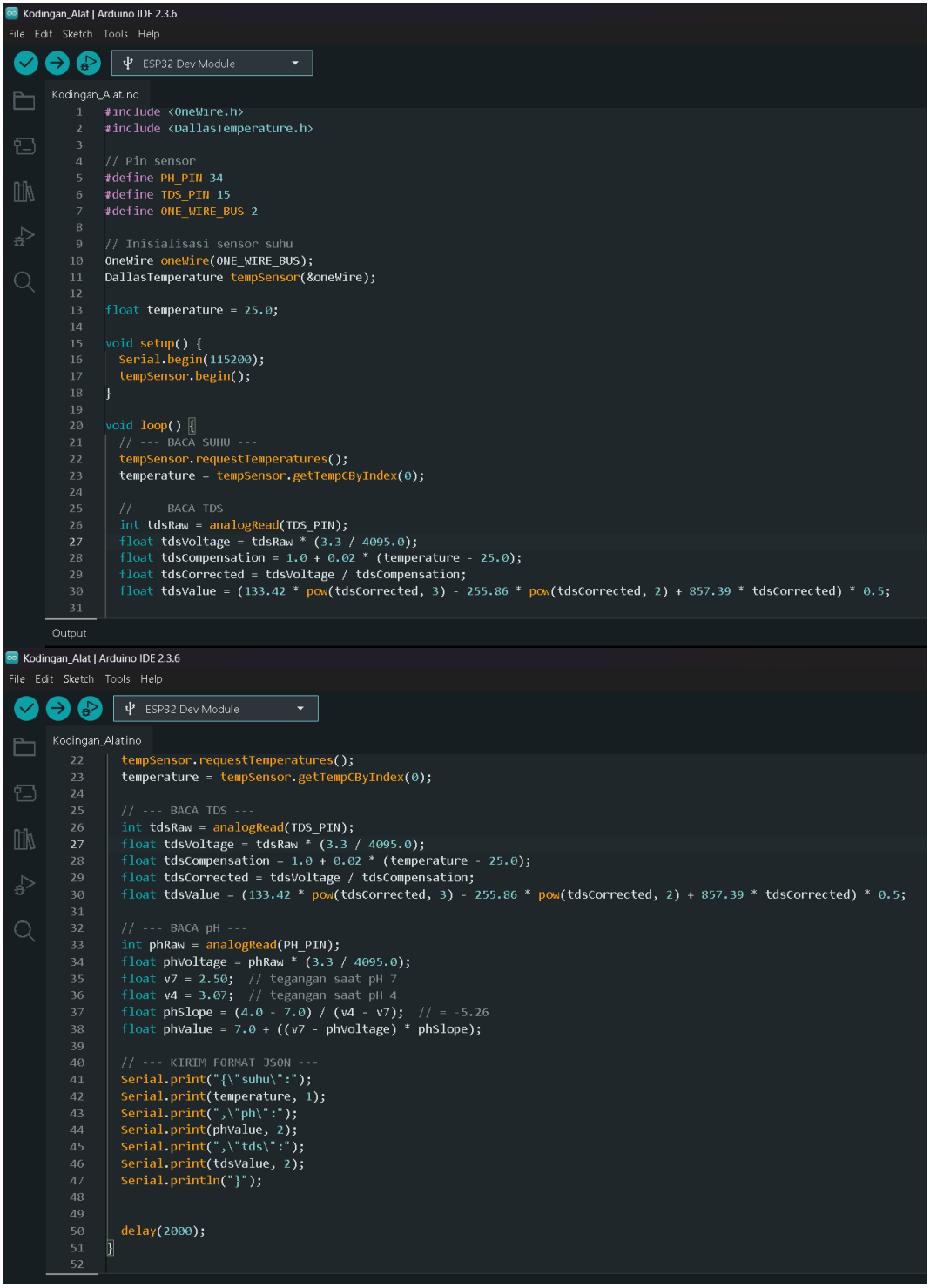
John Ross, Q. (1996). Improved Use of Continuous Attributes in C4.5. *Journal of*

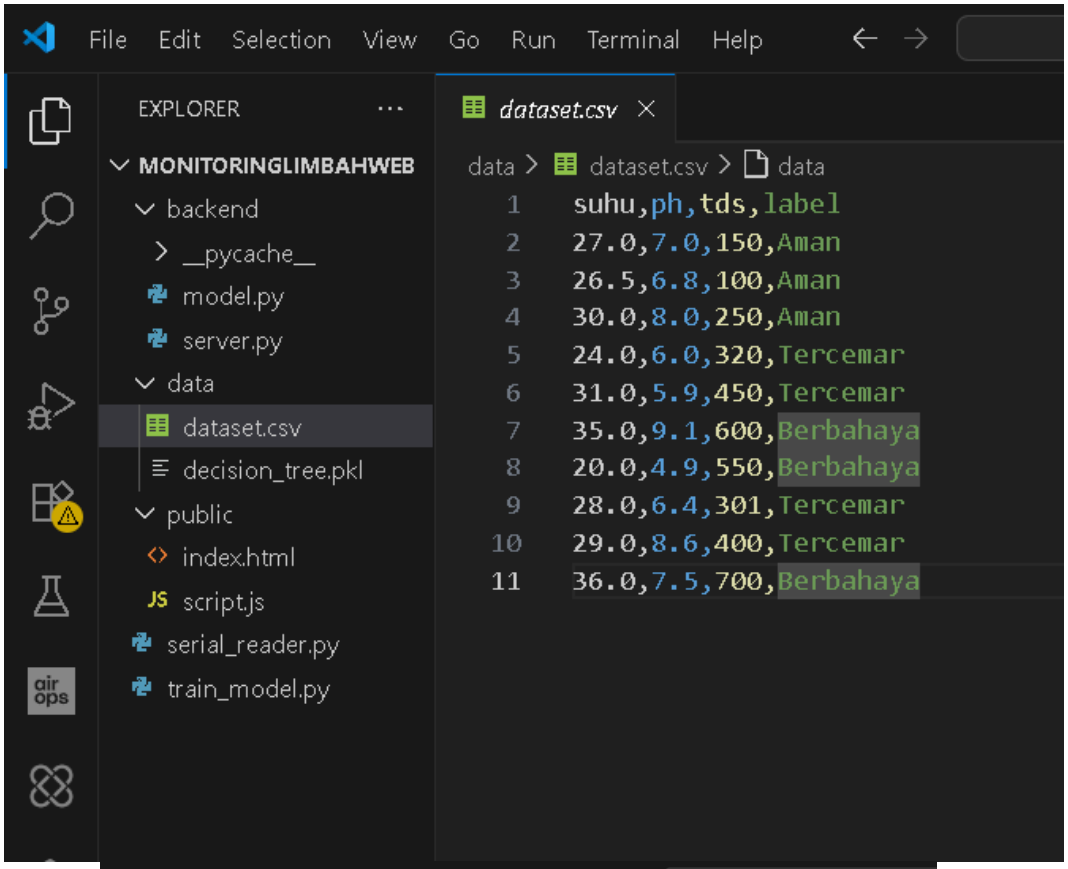
Artificial Intelligence Research, *4*, 77–90. https://doi.org/10.1613/jair.279

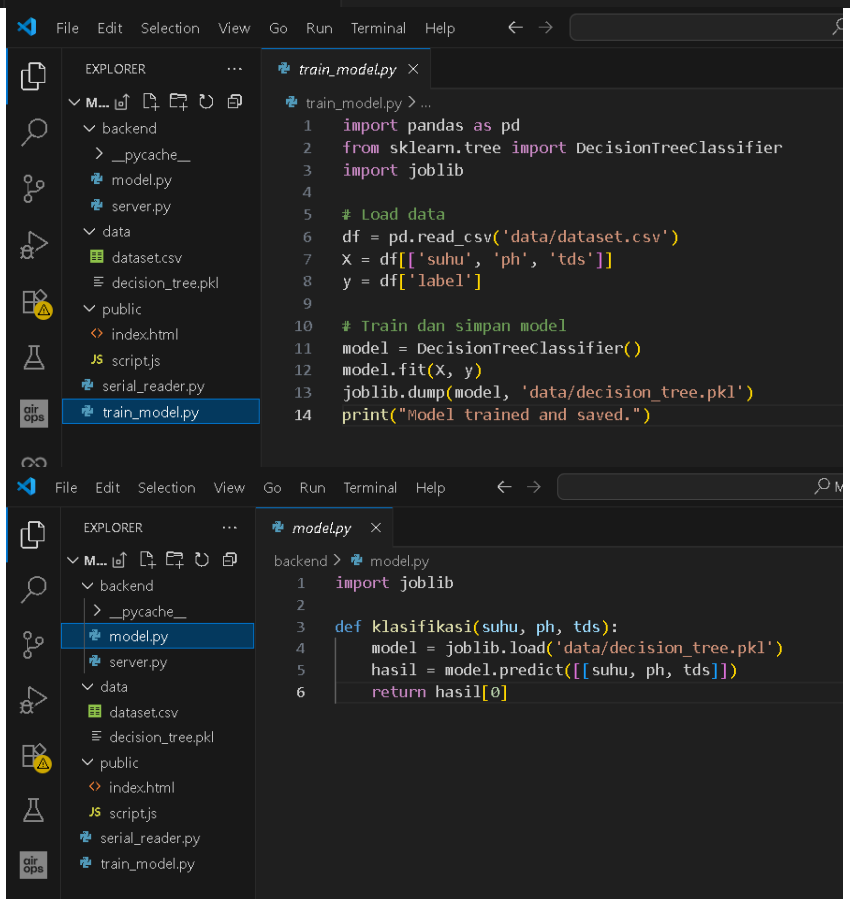
Rendi, W., Dian, L., & Anwar, P. (2019). Optimasi Pengolahan Limbah Industri melalui Pemantauan Otomatis Berbasis Teknologi Sensor. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *10*(1), 55–67.

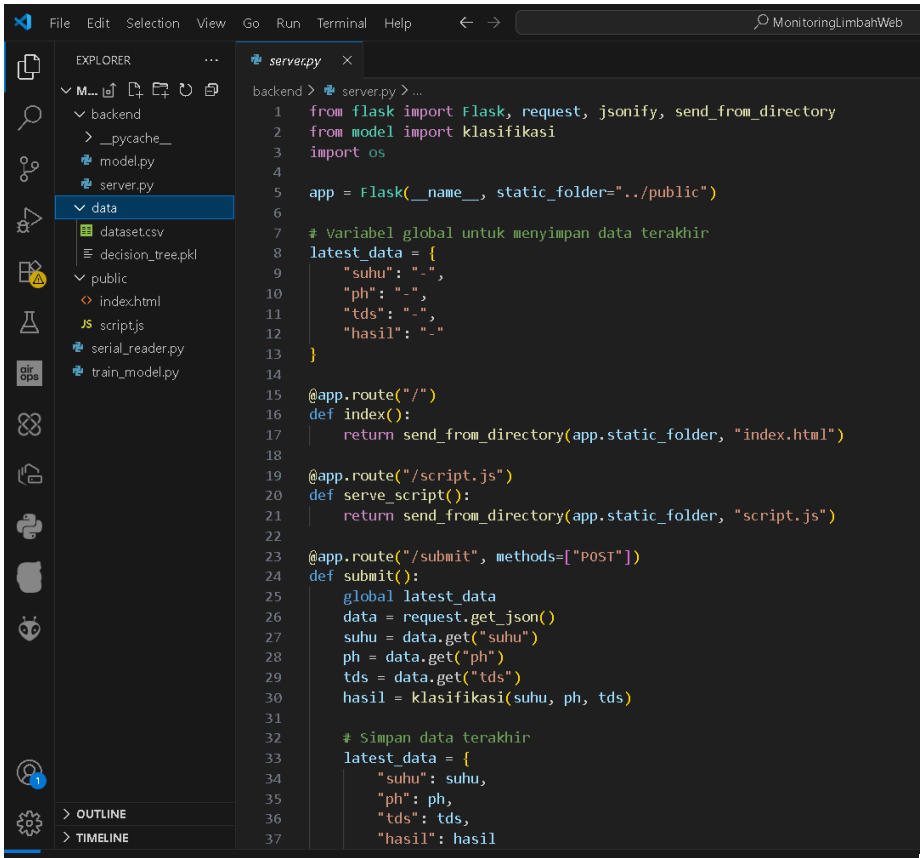
Yohanes Matius, Z., Saut Napoleon, S., & Paulus Pardede, S. (2023). Penerapan Flowchart dalam Perancangan Sistem Informasi Manajemen. *Jurnal Teknologi Informasi*, *19*(1), 45–58.

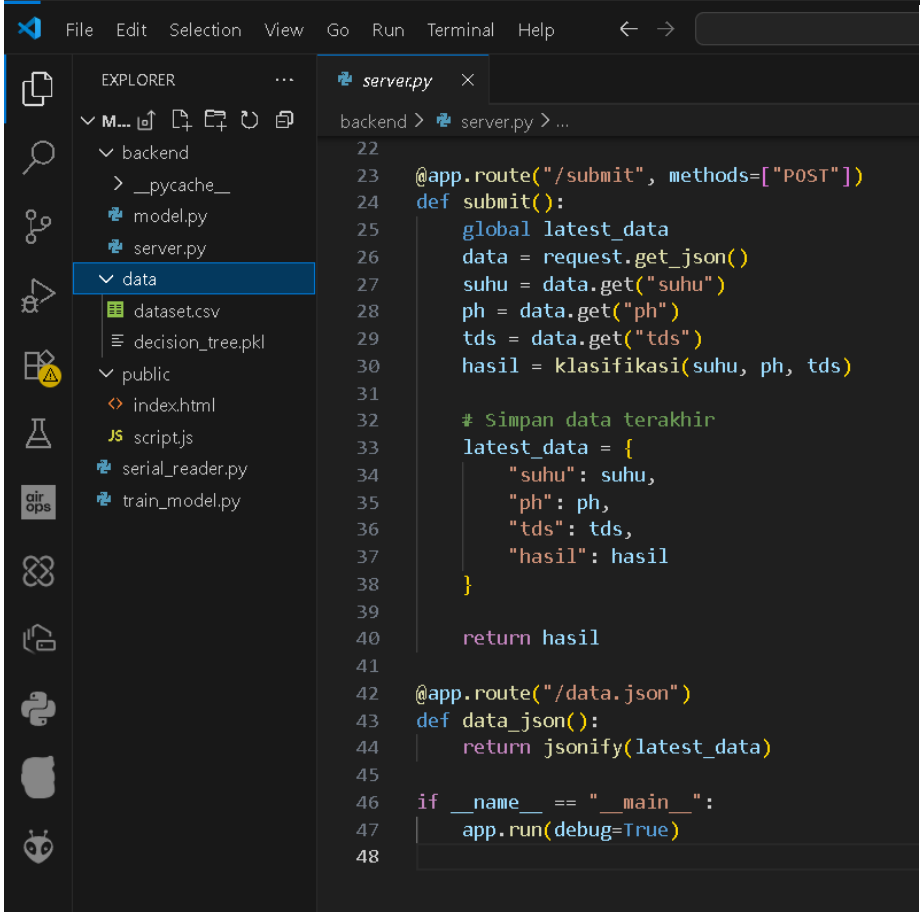
LAMPIRAN

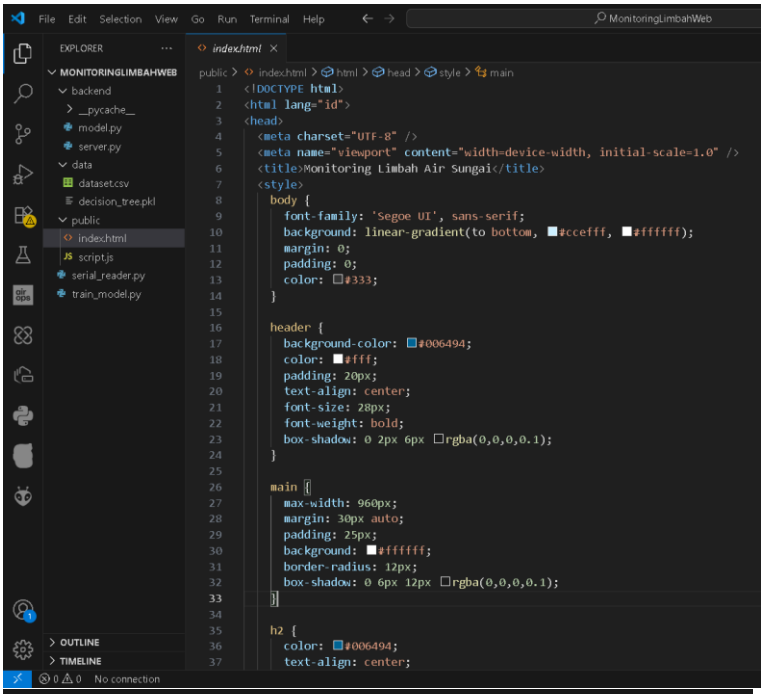

Kodingan_Alat | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
Kodingan_Alatino
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// Pin sensor
#define PH_PIN 34
#define TDS_PIN 15
#define ONE_WIRE_BUS 2
// Inisialisasi sensor suhu
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature tempSensor(&oneWire);
float temperature = 25.0;
void setup() {
Serial.begin(115200);
tempSensor.begin();
}
void loop() {
// --- BACA SUHU ---
tempSensor.requestTemperatures();
temperature = tempSensor.getTempCByIndex(0);
// --- BACA TDS ---
int tdsRaw = analogRead(TDS_PIN);
float tdsVoltage = tdsRaw * (3.3 / 4095.0);
float tdsCompensation = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
float tdsCorrected = tdsVoltage / tdsCompensation;
float tdsValue = (133.42 * pow(tdsCorrected, 3) - 255.86 * pow(tdsCorrected, 2) + 857.39 * tdsCorrected) * 0.5;
Output
Kodingan_Alat | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
Kodingan_Alatino
tempSensor.requestTemperatures();
temperature = tempSensor.getTempCByIndex(0);
// --- BACA TDS ---
int tdsRaw = analogRead(TDS_PIN);
float tdsVoltage = tdsRaw * (3.3 / 4095.0);
float tdsCompensation = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
float tdsCorrected = tdsVoltage / tdsCompensation;
float tdsValue = (133.42 * pow(tdsCorrected, 3) - 255.86 * pow(tdsCorrected, 2) + 857.39 * tdsCorrected) * 0.5;
// --- BACA pH ---
int phRaw = analogRead(PH_PIN);
float phVoltage = phRaw * (3.3 / 4095.0);
float v7 = 2.50; // tegangan saat pH 7
float v4 = 3.07; // tegangan saat pH 4
float phSlope = (4.0 - 7.0) / (v4 - v7); // = -5.26
float phValue = 7.0 + ((v7 - phVoltage) * phSlope);
// --- KIRIM FORMAT JSON ---
Serial.print("{\"suhu\":");
Serial.print(temperature, 1);
Serial.print(",\"ph\":");
Serial.print(phValue, 2);
Serial.print(",\"tds\":");
Serial.print(tdsValue, 2);
Serial.println("}");
delay(2000);
}

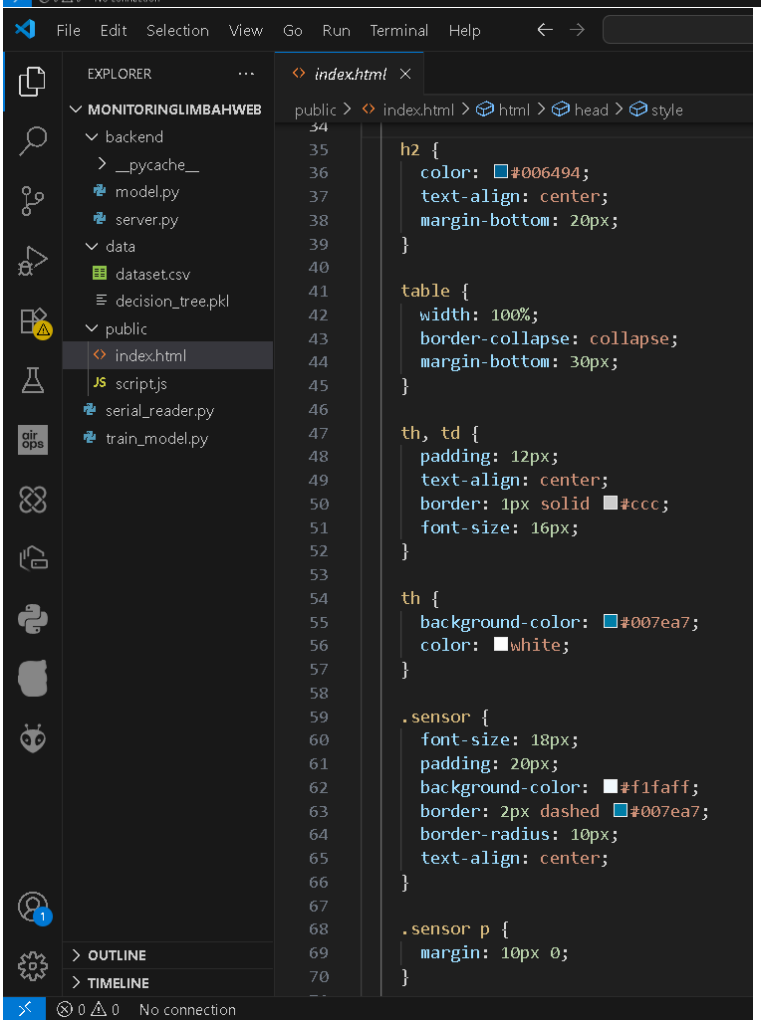

File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
MONITORINGLIMBAHWEB
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
dataset.csv
data > dataset.csv > data
1 suhu,ph,tds,label
2 27.0,7.0,150,Aman
3 26.5,6.8,100,Aman
4 30.0,8.0,250,Aman
5 24.0,6.0,320,Tercemar
6 31.0,5.9,450,Tercemar
7 35.0,9.1,600,Berbahaya
8 20.0,4.9,550,Berbahaya
9 28.0,6.4,301,Tercemar
10 29.0,8.6,400,Tercemar
11 36.0,7.5,700,Berbahaya

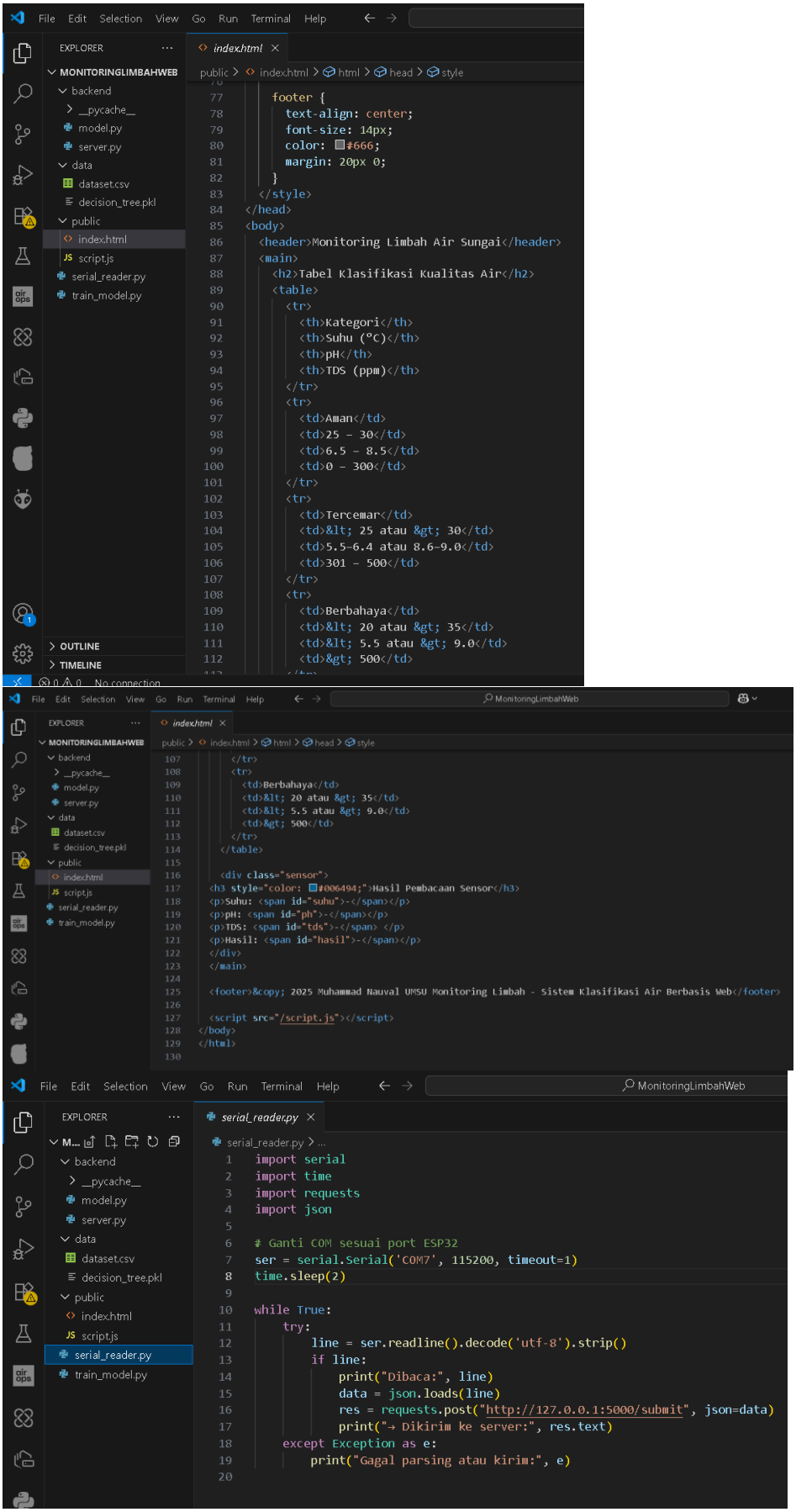

File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
train_model.py
train_model.py > ...
1 import pandas as pd
2 from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
3 import joblib
4
5 # Load data
6 df = pd.read_csv('data/dataset.csv')
7 X = df[['suhu', 'ph', 'tds']]
8 y = df['label']
9
10 # Train dan simpan model
11 model = DecisionTreeClassifier()
12 model.fit(X, y)
13 joblib.dump(model, 'data/decision_tree.pkl')
14 print("Model trained and saved.")
model.py
backend > model.py
1 import joblib
2
3 def klasifikasi(suhu, ph, tds):
4 model = joblib.load('data/decision_tree.pkl')
5 hasil = model.predict([[suhu, ph, tds]])
6 return hasil[0]


File Edit Selection View Go Run Terminal Help
MonitoringLimbahWeb
EXPLORER
server.py
backend > server.py > ...
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
OUTLINE
TIMELINE
1 from flask import Flask, request, jsonify, send_from_directory
2 from model import klasifikasi
3 import os
4
5 app = Flask(__name__, static_folder="../public")
6
7 # Variabel global untuk menyimpan data terakhir
8 latest_data = {
9 "suhu": "-",
10 "ph": "-",
11 "tds": "-",
12 "hasil": "-"
13 }
14
15 @app.route("/")
16 def index():
17 return send_from_directory(app.static_folder, "index.html")
18
19 @app.route("/script.js")
20 def serve_script():
21 return send_from_directory(app.static_folder, "script.js")
22
23 @app.route("/submit", methods=["POST"])
24 def submit():
25 global latest_data
26 data = request.get_json()
27 suhu = data.get("suhu")
28 ph = data.get("ph")
29 tds = data.get("tds")
30 hasil = klasifikasi(suhu, ph, tds)
31
32 # Simpan data terakhir
33 latest_data = {
34 "suhu": suhu,
35 "ph": ph,
36 "tds": tds,
37 "hasil": hasil


File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
server.py
backend > server.py > ...
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
22
23 @app.route("/submit", methods=["POST"])
24 def submit():
25 global latest_data
26 data = request.get_json()
27 suhu = data.get("suhu")
28 ph = data.get("ph")
29 tds = data.get("tds")
30 hasil = klasifikasi(suhu, ph, tds)
31
32 # Simpan data terakhir
33 latest_data = {
34 "suhu": suhu,
35 "ph": ph,
36 "tds": tds,
37 "hasil": hasil
38 }
39
40 return hasil
41
42 @app.route("/data.json")
43 def data_json():
44 return jsonify(latest_data)
45
46 if __name__ == "__main__":
47 app.run(debug=True)
48


File Edit Selection View Go Run Terminal Help
MonitoringLimbahWeb
EXPLORER
index.html
MONITORINGLIMBAHWEB
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
public > index.html > html > head > style > main
<!DOCTYPE html>
<html lang="id">
<head>
<meta charset="UTF-8" />
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" />
<title>Monitoring Limbah Air Sungai</title>
<style>
body {
font-family: 'Segoe UI', sans-serif;
background: linear-gradient(to bottom, #ccefff, #ffffff);
margin: 0;
padding: 0;
color: #333;
}
header {
background-color: #006494;
color: #fff;
padding: 20px;
text-align: center;
font-size: 28px;
font-weight: bold;
box-shadow: 0 2px 6px rgba(0,0,0,0.1);
}
main {
max-width: 960px;
margin: 30px auto;
padding: 25px;
background: #ffffff;
border-radius: 12px;
box-shadow: 0 6px 12px rgba(0,0,0,0.1);
}
h2 {
color: #006494;
text-align: center;
OUTLINE
TIMELINE
0 0 No connection


File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
index.html
MONITORINGLIMBAHWEB
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
public > index.html > html > head > style
h2 {
color: #006494;
text-align: center;
margin-bottom: 20px;
}
table {
width: 100%;
border-collapse: collapse;
margin-bottom: 30px;
}
th, td {
padding: 12px;
text-align: center;
border: 1px solid #ccc;
font-size: 16px;
}
th {
background-color: #007ea7;
color: white;
}
.sensor {
font-size: 18px;
padding: 20px;
background-color: #f1faff;
border: 2px dashed #007ea7;
border-radius: 10px;
text-align: center;
}
.sensor p {
margin: 10px 0;
}
OUTLINE
TIMELINE
0 0 No connection


File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
index.html
MONITORINGLIMBAHWEB
backend
__pycache__
model.py
server.py
data
dataset.csv
decision_tree.pkl
public
index.html
script.js
serial_reader.py
train_model.py
OUTLINE
TIMELINE
public > index.html > html > head > style
footer {
text-align: center;
font-size: 14px;
color: #666;
margin: 20px 0;
}
</style>
</head>
<body>
<header>Monitoring Limbah Air Sungai</header>
<main>
<h2>Tabel Klasifikasi Kualitas Air</h2>
<table>
<tr>
<th>Kategori</th>
<th>Suhu (°C)</th>
<th>pH</th>
<th>TDS (ppm)</th>
</tr>
<tr>
<td>Aman</td>
<td>25 – 30</td>
<td>6.5 – 8.5</td>
<td>0 – 300</td>
</tr>
<tr>
<td>Tercemar</td>
<td>< 25 atau > 30</td>
<td>5.5–6.4 atau 8.6–9.0</td>
<td>301 – 500</td>
</tr>
<tr>
<td>Berbahaya</td>
<td>< 20 atau > 35</td>
<td>< 5.5 atau > 9.0</td>
<td>> 500</td>
</tr>
</table>

<h3 style="color: #006494;">Hasil Pembacaan Sensor</h3>
Suhu: -
pH: -
TDS: -
Hasil: -

</main>
<footer>© 2025 Muhammad Nauval UMSU Monitoring Limbah - Sistem Klasifikasi Air Berbasis Web</footer>
<script src="/script.js"></script>
</body>
</html>
MonitoringLimbahWeb
serial_reader.py
import serial
import time
import requests
import json
# Ganti COM sesuai port ESP32
ser = serial.Serial('COM7', 115200, timeout=1)
time.sleep(2)
while True:
try:
line = ser.readline().decode('utf-8').strip()
if line:
print("Dibaca:", line)
data = json.loads(line)
res = requests.post("http://127.0.0.1:5000/submit", json=data)
print("→ Dikirim ke server:", res.text)
except Exception as e:
print("Gagal parsing atau kirim:", e)

" CV. SEIRING SEJALAN "

PENGOLAHAN IKAN SEGAR

JI. BUNGA RAYA KM 4,5 SIJAMBI NO.5 KOTA TANJUNGBALAI

HP. 0821 6611 1777 TANJUNGBALAI

SURAT IZIN PENELITIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini Direktur CV. Seiring Sejalan menerangkan dengan sebenarnya bahwa telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Perusahaan kami. Adapun mahasiswa yang akan melakukan penelitian di CV. Seiring Sejalan adalah

Nama	: Muhammad Nauval Asyqar Ridwan Ritonga
NPM	: 2109020075
Fakultas	: Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi
Prodi	: Teknologi Informasi

Yang merupakan mahasiswa Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mengadakan penelitian di CV. Seiring Sejalan dalam rangka pengumpulan data guna penelitian dan penyusunan skripsi yang berjudul "Rancangan Sistem Monitoring Limbah Industri Berbasis IoT dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Web Menggunakan Metode Supervised Learning"

Demikian surat izin peneletian ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya

Tanjungbalai, 14 Mei 2025

Menyetujui,

Shofya Zahara

Direktur

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING
PROPOSAL/SKRIPSI MAHASISWA
NOMOR : 44/II.3-AU/UMSU-09/F/2025

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan Persetujuan permohonan judul penelitian Proposal / Skripsi dari Ketua / Sekretaris.

Program Studi	**: Teknologi Informasi**
Pada tanggal	**: 03 Januari 2025**

Dengan ini menetapkan Dosen Pembimbing Proposal / Skripsi Mahasiswa.

Nama	**: Muhammad Nauval Asyqar Ridwan Ritonga**
NPM	**: 2109020075**
Semester	**: VII (Tujuh)**
Program studi	**: Teknologi Informasi**
Judul Proposal / Skripsi	**: Rancangan Sistem Monitoring Limbah Industri Berbasis IoT dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Web Menggunakan Metode Supervised Learning**
Dosen Pembimbing	**: Halim Maulana, S.T.,M.Kom.**

Dengan demikian di izinkan menulis Proposal / Skripsi dengan ketentuan

1. Penulisan berpedoman pada buku panduan penulisan Proposal / Skripsi Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU
2. Pelaksanaan Sidang Skripsi harus berjarak 3 bulan setelah dikeluarkannya Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi.
3. **Proyek Proposal / Skripsi** dinyatakan " **BATAL** " bila tidak selesai sebelum Masa Kadaluarsa tanggal : **03 Januari 2026**
4. Revisi judul……

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Ditetapkan di : Medan
Pada Tanggal : 03 Rajab 1446 H
03 Januari 2025 M

a.n.Dekan
Wakil Dekan I

Halim Maulana, S.T.,M.Kom.
NIDN : 0121119102

Cc. File