

LAPORAN INTERKONEKSI SISTEM INSTRUMENTASI - VI231418

Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Pasca Pembuatan Dangke (Keju) untuk Menjaga Kualitas Fermentasi

NAMA KELOMPOK:

Muhammad Yusron Maskur	(2042231030)
Rahmat	(2042231050)
Agus Wedi	(2042231066)

DOSEN PENGAMPU :

Dwi Oktavianto Wahyu
Nugroho, S.T., M.T.
Ahmad Radhy, S.Si., M.Si
Muhammad Roy Ashiddiqi,
S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNOLOGI REKAYASA INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2025**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Desain Arsitektur System.....	4
2.2 Sensor SHT20.....	4
2.3 Antar Muka RS-485	4
2.4 TCP (Transmission Control Protocol).....	4
2.5 InfluxDB sebagai Database Time-Series	5
2.6 Visualisasi Real-Time Menggunakan Grafana.....	5
BAB III METODE	7
3.1 Kode Rust Modbus Client	7
3.2 Kode Rust TCP Server	7
3.3 Konfigurasi InfluxDB dan Integrasi.....	7
3.4 Dashboard Grafana.....	7
3.5 Dashboard QT	8
3.6 Blockchain.....	8
3.7 Web 3.....	9
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	10
DAFTAR PUSTAKA	11

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Whey merupakan cairan hasil samping dari proses koagulasi susu dalam pembuatan keju, yang meskipun sering dianggap sebagai limbah, sebenarnya masih memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi, seperti protein, laktosa, dan lemak dalam jumlah kecil. Komponen-komponen ini menjadikan whey sebagai bahan baku potensial dalam pengolahan produk pangan fermentasi (Yudhistira Pratama S., 2014).

Sayangnya, dalam praktik industri keju, khususnya skala kecil, whey seringkali tidak dimanfaatkan lebih lanjut dan dibuang sebagai limbah. Padahal, data dari Kementerian Perindustrian dan Perdagangan menunjukkan bahwa pada tahun 2010, produksi keju di Indonesia mencapai 126,77 ton, yang menghasilkan sekitar 800 ton whey sebagai limbah (Yudhistira Pratama S., 2014). Oleh karena itu, perlu dikembangkan upaya pemanfaatan whey menjadi produk pangan yang bernilai ekonomi dan gizi, seperti minuman fermentasi.

Minuman fermentasi, seperti yogurt, diproses menggunakan bakteri asam laktat (BAL) yang mampu mengubah laktosa menjadi asam laktat. Namun, whey memiliki kadar bahan kering rendah (sekitar 6,3%), sehingga diperlukan bahan tambahan untuk meningkatkan kekentalan dan kualitas fermentasi. Dalam penelitian ini, digunakan kedelai bubuk yang tidak hanya meningkatkan kadar bahan kering, tetapi juga menyumbang protein, serta komponen prebiotik seperti galaktooligosakarida (GOS) yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri probiotik seperti *Lactobacillus acidophilus* (Yudhistira Pratama S., 2014).

Selain itu, suhu penyimpanan juga menjadi faktor penting yang memengaruhi viabilitas mikroorganisme dalam produk fermentasi. Penyimpanan suhu rendah (4–6°C) dipilih untuk memperpanjang umur simpan, namun dapat menghambat pertumbuhan bakteri asam laktat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik minuman fermentasi whey keju dengan penambahan kedelai bubuk selama penyimpanan suhu rendah, terutama dari sisi viabilitas BAL, kadar laktosa, dan kadar asam laktat (Yudhistira Pratama S., 2014).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menjaga kestabilan suhu dan kelembaban selama proses fermentasi whey dengan penambahan kedelai bubuk agar kualitas produk tetap optimal?
2. Mengapa produsen skala kecil kesulitan dalam memantau kondisi suhu dan kelembaban secara real-time selama proses fermentasi?
3. Bagaimana merancang sistem monitoring suhu dan kelembaban yang akurat dan terintegrasi dengan teknologi terkini untuk mendukung proses fermentasi produk berbasis whey?

1.3 Tujuan

1. Menentukan metode pengendalian suhu dan kelembaban yang tepat selama proses fermentasi whey dengan penambahan kedelai bubuk, agar kualitas produk akhir tetap terjaga secara optimal.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kesulitan produsen skala kecil dalam memantau suhu dan kelembaban secara real-time selama proses fermentasi, termasuk keterbatasan alat, biaya, dan pengetahuan teknis.
3. Merancang dan mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban yang akurat, real-time, dan terintegrasi dengan teknologi terkini (seperti IoT dan sensor digital) untuk mendukung efektivitas dan efisiensi proses fermentasi produk berbasis whey.

1.4 Manfaat

1. Meningkatkan Kualitas dan Konsistensi Produk Fermentasi.
2. Memberdayakan Produsen Skala Kecil Melalui Teknologi Terjangkau.
3. Meningkatkan Efisiensi Proses Produksi dengan Monitoring Real-Time Berbasis IoT

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Desain Arsitektur System



Sensor SHT20 → Modbus Client (Rust) → TCP Server (Rust) → InfluxDB →
Grafana dan Qt.

Berikut ini merupakan desain arsitektur dari sistem monitoring suhu dan kelembaban yang telah dikembangkan, dimana sistem ini dirancang untuk mengintegrasikan berbagai komponen mulai dari sensor hingga visualisasi data secara real-time. Sistem diawali dengan penggunaan sensor SHT20 yang berfungsi sebagai alat ukur suhu dan kelembaban lingkungan industri, dengan komunikasi berbasis protokol Modbus RTU melalui koneksi RS485. Data hasil pembacaan sensor kemudian diambil oleh Modbus Client yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Rust, yang bertugas membaca nilai suhu dan kelembaban secara periodik serta mengemasnya dalam format JSON sesuai standar yang telah ditentukan. Selanjutnya, data JSON tersebut dikirim melalui koneksi TCP ke TCP Server yang juga dibangun menggunakan Rust, yang berperan sebagai penerima data, melakukan parsing informasi, dan meneruskannya ke database time-series InfluxDB. InfluxDB digunakan untuk menyimpan data suhu dan kelembaban beserta metadata seperti waktu, lokasi, dan tahap proses produksi secara historis dan terstruktur. Data yang telah tersimpan kemudian divisualisasikan melalui platform Grafana dalam bentuk dashboard interaktif, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara real-time dengan tampilan grafik, gauge, dan tabel yang informatif. Dengan arsitektur ini, sistem mampu menyediakan layanan monitoring suhu dan kelembaban yang handal, fleksibel, serta mudah diakses untuk mendukung pengendalian lingkungan pada proses produksi atau penyimpanan industri.

2.2 Sensor SHT20

Sensor SHT20 merupakan sensor digital generasi keempat yang dikembangkan oleh Sensirion, dirancang khusus untuk mengukur suhu dan kelembaban secara akurat dengan konsumsi daya yang sangat rendah. Sensor ini menggunakan protokol komunikasi I²C (Inter-Integrated Circuit), yang memungkinkan pertukaran data dua arah antara sensor dan mikrokontroler hanya melalui dua jalur, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). SHT20 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dalam rentang -40°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif dari 0% hingga 100% RH, dengan tingkat akurasi tinggi yaitu $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 1,8\%$ RH untuk kelembaban. Hal ini menjadikannya sangat ideal untuk

berbagai aplikasi seperti sistem IoT, perangkat elektronik konsumen, otomasi rumah, pertanian cerdas, dan pengendalian lingkungan industri. Sensor ini juga hanya memerlukan tegangan catu daya antara 1,08 hingga 3,6 volt, sehingga sangat efisien digunakan pada sistem berbasis baterai. Secara fisik, SHT20 memiliki empat pin utama, yaitu GND sebagai ground atau referensi tegangan, VDD sebagai pin catu daya, SDA sebagai jalur data digital dua arah, dan SCL sebagai jalur clock untuk sinkronisasi data. Dengan kombinasi fitur akurasi tinggi, efisiensi energi, dan kemudahan integrasi, SHT20 menjadi salah satu sensor suhu dan kelembapan digital yang banyak digunakan dalam teknologi terkini.



2.3 Antar Muka RS-485

Antarmuka RS-485 (Recommended Standard 485) adalah sebuah standar komunikasi serial yang banyak digunakan dalam sistem industri dan otomasi karena kemampuannya untuk mentransmisikan data jarak jauh dengan kecepatan tinggi secara andal. RS-485 menggunakan komunikasi diferensial melalui dua kabel (biasanya disebut sebagai A dan B), yang memungkinkan transmisi data yang lebih tahan terhadap gangguan elektromagnetik dan noise, terutama di lingkungan industri yang keras. Salah satu keunggulan utama RS-485 adalah kemampuannya untuk menghubungkan hingga 32 perangkat (atau lebih dengan repeater) dalam satu jaringan multi-drop, memungkinkan komunikasi half-duplex dua arah antara perangkat-perangkat tersebut. Standar ini bekerja pada level tegangan yang rendah (biasanya antara +5V dan 0V atau $\pm 5V$ tergantung konversi level logika) dan mampu menjangkau jarak hingga 1200 meter tergantung pada kecepatan baud rate dan kualitas kabel. RS-485 sering digunakan dalam sistem Modbus RTU, kontrol motor, sistem monitoring, sensor industri, dan berbagai aplikasi yang membutuhkan komunikasi data antar perangkat yang handal dalam topologi bus atau daisy-chain. Karena fleksibilitas dan ketangguhannya, RS-485 tetap menjadi pilihan populer dalam desain sistem komunikasi industri hingga saat ini.

2.4 TCP (Transmission Control Protocol)

TCP (Transmission Control Protocol) adalah salah satu protokol utama dalam suit protokol internet (TCP/IP) yang berfungsi untuk memastikan pengiriman data yang andal dan teratur antar perangkat dalam jaringan. TCP bekerja di lapisan transport (transport layer) pada model OSI, dan berperan penting dalam membangun koneksi end-to-end antara pengirim dan penerima sebelum proses pengiriman data dimulai. Protokol ini menggunakan mekanisme handshaking tiga langkah (three-way handshake) untuk menjalin koneksi, serta menyediakan fitur-fitur seperti kontrol aliran (flow control), kontrol kemacetan (congestion control), dan deteksi serta pemulihan kesalahan (error detection and correction). Data yang dikirim melalui TCP akan dipecah menjadi segmen-segmen kecil, diberi nomor urut, dan dijamin sampai ke tujuan dalam urutan yang benar. Jika terjadi kehilangan data, TCP akan secara otomatis meminta pengiriman ulang (retransmission), sehingga memastikan keandalan komunikasi data. Karena kemampuannya ini, TCP banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan keakuratan dan integritas data tinggi, seperti web browsing (HTTP/HTTPS), email (SMTP/IMAP/POP3), transfer file (FTP), dan berbagai layanan jaringan lainnya. Keunggulan TCP dalam menjaga keutuhan data menjadikannya fondasi penting dalam komunikasi jaringan modern.

2.5 InfluxDB sebagai Database Time-Series

InfluxDB adalah sebuah database time-series (TSDB) yang dirancang khusus untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data berdasarkan waktu (timestamp) secara efisien dan terstruktur. Berbeda dengan database relasional tradisional, InfluxDB dioptimalkan untuk menangani data deret waktu seperti data sensor, log sistem, metrik performa, data IoT, serta data pemantauan infrastruktur dan aplikasi yang terus berubah seiring waktu. Setiap data yang disimpan dalam InfluxDB terdiri dari timestamp, measurement (nama pengukuran), tags (identitas/kategori), dan fields (nilai data aktual), sehingga memungkinkan pemfilteran dan kueri yang sangat cepat serta fleksibel. InfluxDB mendukung penulisan data dalam jumlah besar dengan kecepatan tinggi, serta memiliki query language sendiri (InfluxQL atau Flux) untuk melakukan analisis statistik, agregasi, visualisasi, dan transformasi data secara real-time. Database ini juga dapat diintegrasikan dengan berbagai platform seperti Grafana untuk visualisasi data, serta protokol MQTT atau HTTP API untuk input data dari perangkat IoT. Karena skalabilitasnya yang tinggi dan efisiensinya dalam menangani data berbasis waktu, InfluxDB menjadi pilihan utama dalam pengembangan sistem monitoring, kontrol industri, otomasi rumah, serta aplikasi-aplikasi berbasis IoT dan edge computing.

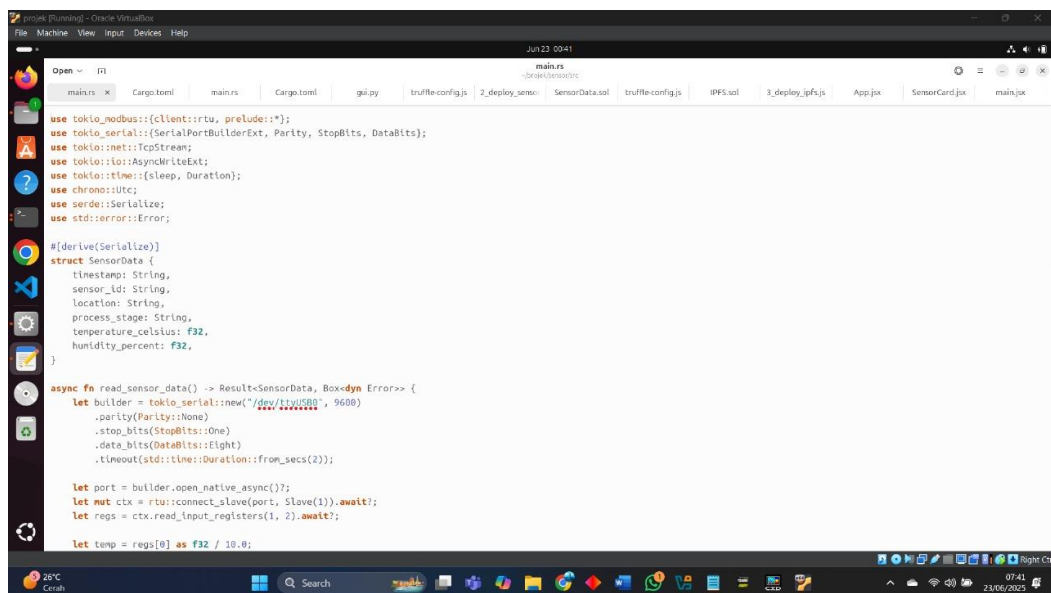
2.6 Visualisasi Real-Time Menggunakan Grafana

Grafana adalah sebuah platform visualisasi data sumber terbuka (open-source) yang dirancang untuk menampilkan data secara real-time melalui dashboard interaktif dan dinamis. Grafana memungkinkan pengguna untuk membuat tampilan visual yang informatif dari berbagai jenis data, terutama data time-series yang berasal dari sumber seperti InfluxDB, Prometheus, MySQL, PostgreSQL, dan banyak lagi. Dalam konteks pemantauan sistem atau proses industri, Grafana sangat berguna karena dapat menampilkan data sensor, metrik performa, maupun log aktivitas dalam bentuk grafik, gauge, tabel, peta panas (heatmap), dan panel kustom lainnya yang mudah dipahami. Salah satu fitur utama Grafana adalah kemampuannya untuk memperbarui data secara otomatis (real-time), sehingga pengguna dapat langsung melihat perubahan kondisi atau status sistem tanpa perlu melakukan refresh manual. Selain itu, Grafana mendukung pembuatan alert (notifikasi) berdasarkan parameter tertentu, yang dapat dikirimkan melalui email, Slack, atau sistem lain jika terjadi anomali. Dengan antarmuka pengguna yang intuitif dan fleksibilitas tinggi dalam integrasi data, Grafana menjadi alat penting dalam sistem monitoring IoT, DevOps, smart industry, dan pengawasan performa sistem berbasis cloud maupun lokal.

BAB III METODE

3.1 Kode Rust Modbus Client

Untuk membaca data dari sensor menggunakan protokol Modbus RTU, langkah pertama yang dilakukan adalah menghubungkan sensor ke sistem melalui koneksi serial, yaitu menggunakan antarmuka RS-485 to USB. Pada sistem operasi Linux, koneksi ini biasanya dikenali sebagai port serial dengan path `/dev/ttyUSB0`. Sensor yang digunakan, seperti sensor SHT20, umumnya memiliki alamat slave sebesar `0x01` dalam jaringan Modbus. Selanjutnya, proses pembacaan data dilakukan dengan mengakses register tertentu pada sensor. Untuk parameter suhu, data dibaca dari register alamat `0x0000`, sedangkan untuk kelembaban dibaca dari alamat register `0x0001`. Nilai yang diperoleh dari sensor biasanya masih dalam bentuk integer dan perlu dikonversi ke bentuk float dengan membaginya dengan angka 10, karena sensor umumnya mengirimkan data dalam format nilai dikali 10. Setelah data suhu dan kelembaban berhasil dibaca dan dikonversi, data tersebut diubah ke dalam format JSON agar mudah diproses dan ditransmisikan. Kemudian, data JSON tersebut dikirimkan ke server melalui koneksi TCP menggunakan port 7878. Proses pengiriman ini dilakukan secara periodik setiap 10 detik, sehingga server akan terus menerima pembaruan data sensor secara real-time.



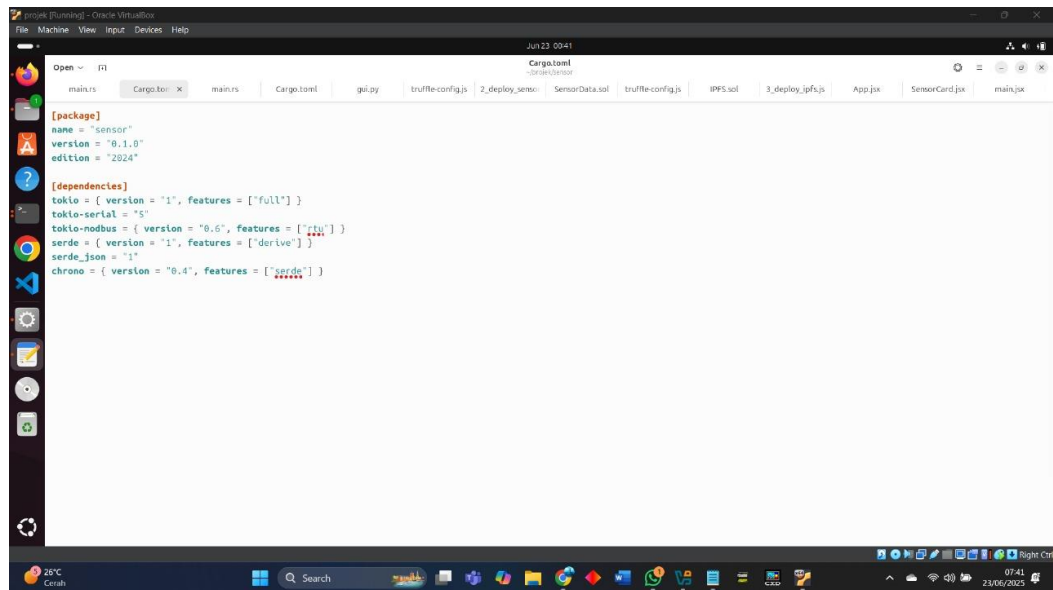
```
use tokio_modbus::client::rtu;
use tokio::net::TcpStream;
use tokio::io::AsyncWriteExt;
use tokio::time::{sleep, Duration};
use chrono::Utc;
use serde::Serialize;
use std::error::Error;

#[derive(Serialize)]
struct SensorData {
    timestamp: String,
    sensor_id: String,
    location: String,
    process_stage: String,
    temperature_celsius: f32,
    humidity_percent: f32,
}

async fn read_sensor_data() -> Result<SensorData, Box<dyn Error>> {
    let builder = tokio_serial::new("/dev/ttyUSB0", 9600)
        .parity(Parity::None)
        .stop_bits(StopBits::One)
        .data_bits(DataBits::Eight)
        .timeout(std::time::Duration::from_secs(2));

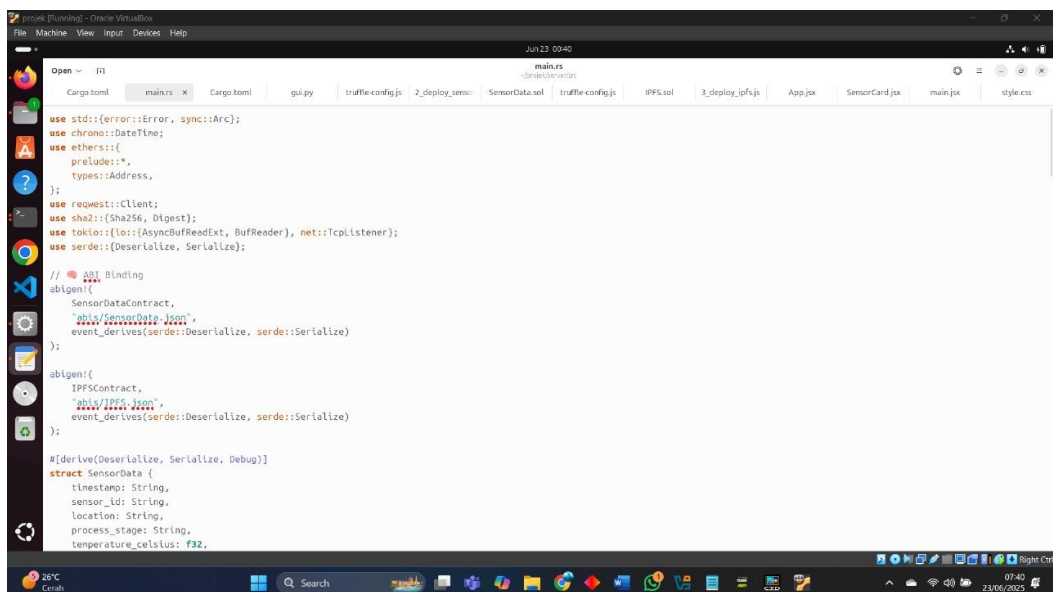
    let port = builder.open_native_async().await?;
    let mut ctx = rtu::connect_slave(port, slave_id).await?;
    let regs = ctx.read_input_registers(1, 2).await?;

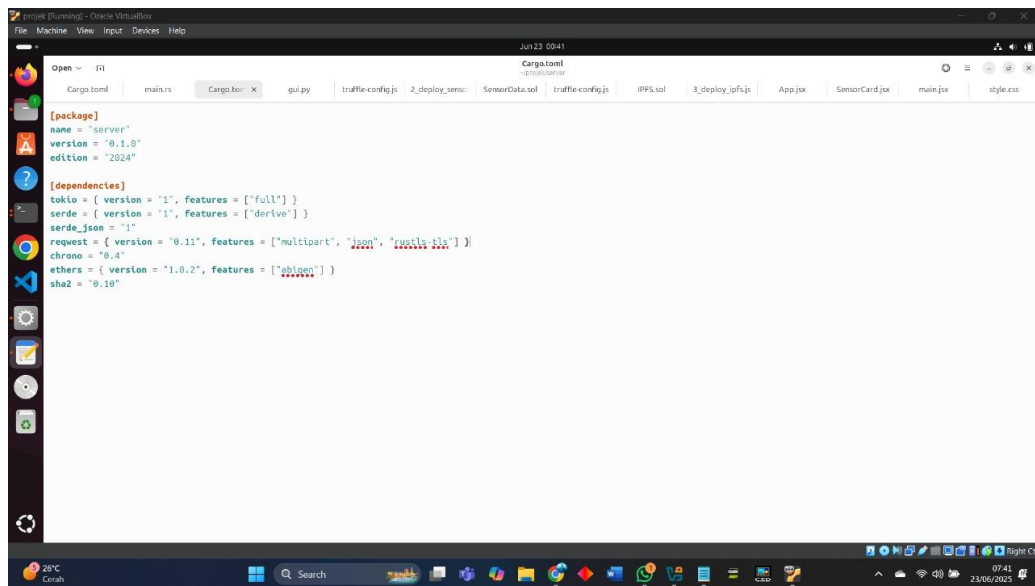
    let temp = regs[0] as f32 / 10.0;
}
```



3.2 Kode Rust TCP Server

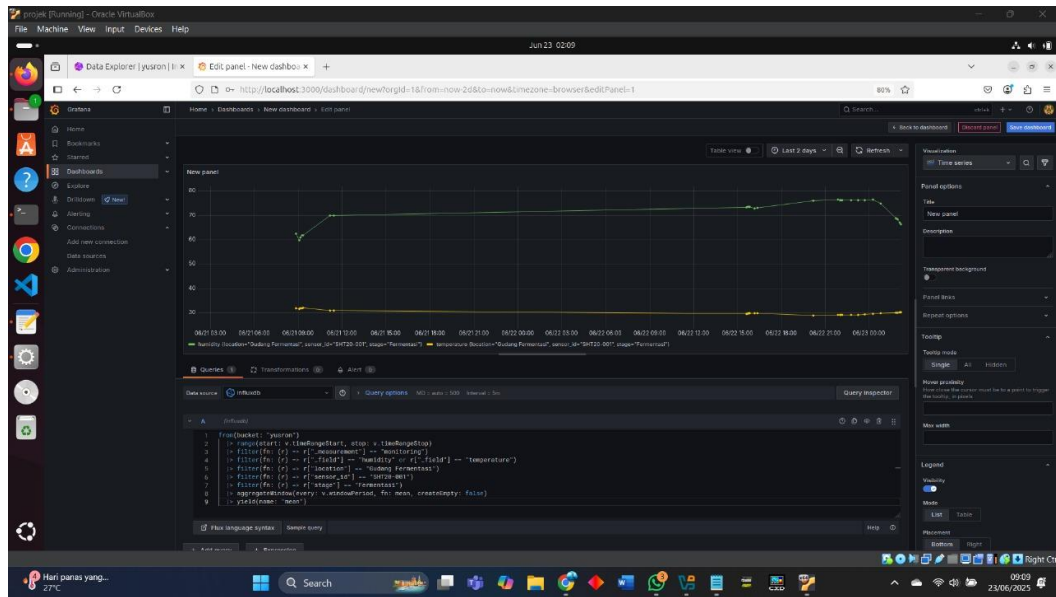
Tahap kedua adalah menerima data dari client menggunakan program Rust TCP Server. Server ini terus-menerus membaca koneksi pada port USB. Ketika data JSON diterima, program memprosesnya menggunakan pustaka `serde_json` untuk memarsing informasi yang dikirim oleh client. Setelah parsing, data disiapkan dan dikirimkan ke InfluxDB, sebuah database time-series yang dirancang untuk menyimpan data yang berurutan berdasarkan waktu. Di sini, data disimpan dengan struktur `measurement` untuk mencatat nama data, tags untuk metadata seperti ID sensor, dan fields untuk nilai aktual seperti suhu dan kelembaban.





3.3 Konfigurasi InfluxDB dan Integrasi

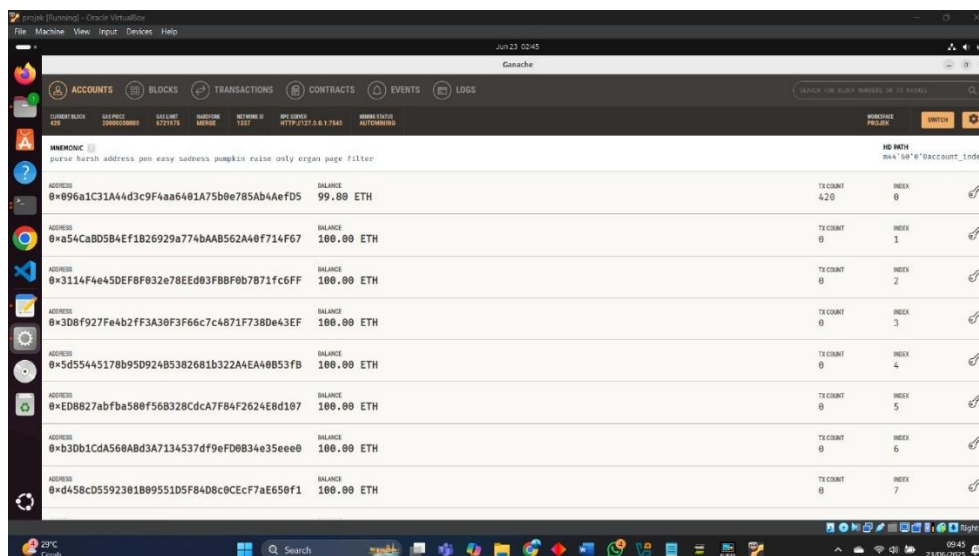
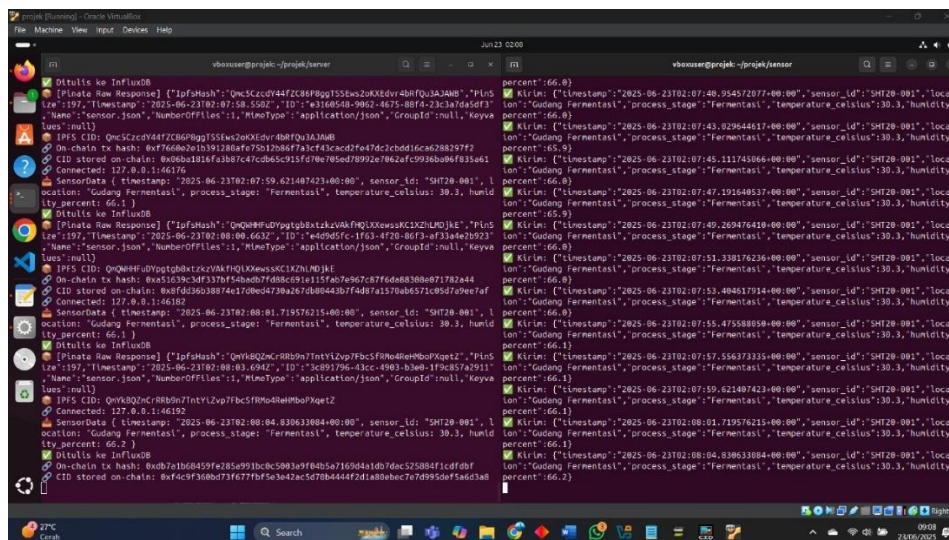
Server dibangun untuk berjalan di port 7878 pada localhost, dan dirancang agar dapat menerima koneksi dari beberapa client secara asynchronous. Hal ini memungkinkan sistem untuk menangani banyak koneksi secara bersamaan tanpa mengganggu performa atau menghambat proses lainnya. Setelah koneksi diterima, data yang dikirim oleh client diterima dalam bentuk string dengan format JSON. Data tersebut kemudian diparsing menggunakan library `serde_json`, yang memungkinkan proses deserialisasi data JSON menjadi objek terstruktur. Dari hasil parsing, sistem mengekstrak nilai-nilai penting, yaitu temperature, humidity, serta informasi location yang menunjukkan asal data sensor. Selanjutnya, data yang telah diproses disiapkan untuk disimpan ke dalam database time-series InfluxDB. Struktur penyimpanan data dibuat dalam bentuk data point, dengan measurement bernama "fermentation". Untuk mempermudah proses query dan filtering, location digunakan sebagai tag, sedangkan temperature dan humidity disimpan sebagai field yang berisi nilai aktual pengukuran. Proses penulisan data ke InfluxDB dilakukan menggunakan client InfluxDB versi 2, yang mendukung operasi write secara efisien dan kompatibel dengan format data time-series.

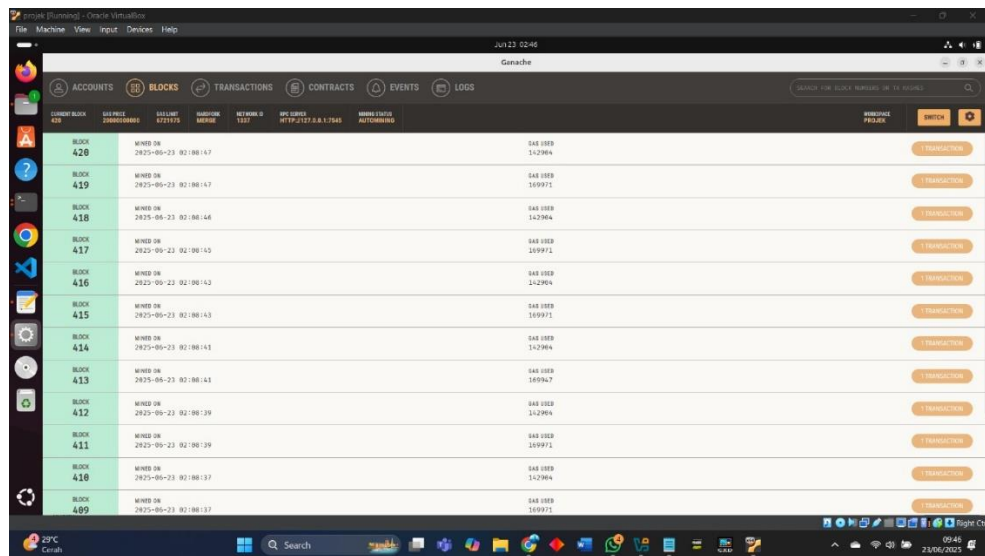


3.5 Dashboard Qt

Dashboard Qt adalah sebuah antarmuka grafis (GUI) yang dibangun menggunakan Qt framework, sebuah pustaka pengembangan aplikasi lintas platform yang sangat kuat dan fleksibel. Dashboard ini dirancang untuk menyajikan data dan informasi secara visual, interaktif, dan real-time, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau, mengendalikan, dan menganalisis berbagai sistem atau perangkat. Qt menyediakan berbagai komponen grafis seperti gauge, grafik, tombol, slider, indikator status, dan widget lainnya yang dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan aplikasi. Dashboard Qt banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi embedded system, otomasi industri, perangkat IoT, dan sistem kontrol berbasis desktop maupun HMI (Human-Machine Interface). Dengan dukungan terhadap berbagai bahasa pemrograman seperti C++ dan QML, Qt memungkinkan pembuatan antarmuka yang responsif, modern, dan ringan meskipun dijalankan pada perangkat dengan sumber daya terbatas. Selain itu, Qt juga mendukung integrasi dengan protokol komunikasi seperti Modbus, MQTT, dan TCP/IP, sehingga cocok untuk sistem yang memerlukan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Secara keseluruhan, Dashboard Qt adalah solusi visual yang efisien untuk menyajikan data teknis dan operasional secara intuitif dalam berbagai aplikasi industri dan teknologi.

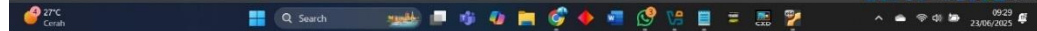
kontrak pintar (smart contract), dan bahkan voting elektronik. Keunggulan utama blockchain terletak pada keamanan, transparansi, dan efisiensi, di mana setiap perubahan data memerlukan konsensus dari mayoritas node dalam jaringan. Dengan karakteristik tersebut, blockchain dianggap sebagai salah satu inovasi teknologi paling revolusioner di era digital, terutama dalam menciptakan sistem yang lebih adil, terbuka, dan terpercaya tanpa perlu otoritas pusat.





3.7 Web3

Web3 adalah evolusi dari internet generasi ketiga yang berfokus pada desentralisasi, kepemilikan data oleh pengguna, dan interaksi berbasis blockchain. Berbeda dengan Web1 (internet statis) dan Web2 (internet interaktif yang didominasi oleh platform besar), Web3 bertujuan menciptakan ekosistem digital yang terbuka, transparan, dan dikendalikan oleh komunitas melalui teknologi seperti blockchain, smart contract, cryptocurrency, dan token digital (NFT). Dalam Web3, pengguna tidak hanya menjadi konsumen konten, tetapi juga memiliki kendali atas data pribadi mereka serta dapat berpartisipasi langsung dalam pengambilan keputusan dan ekonomi digital melalui aplikasi terdesentralisasi (dApps). Konsep ini memungkinkan transaksi peer-to-peer tanpa perantara, serta integrasi identitas digital yang aman dan portabel. Web3 juga mendukung sistem insentif berbasis token yang memberikan imbalan kepada pengguna atas kontribusinya dalam jaringan. Dengan karakteristik seperti otonomi, transparansi, dan interoperabilitas, Web3 menjadi fondasi bagi masa depan internet yang lebih demokratis, di mana kekuasaan tidak lagi tersentralisasi pada perusahaan besar, melainkan tersebar di antara para penggunanya.



BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Proses fermentasi whey dengan penambahan kedelai bubuk sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu dan kelembaban. Pengendalian parameter-parameter ini secara tepat dapat menjaga kualitas produk akhir secara optimal. Produsen skala kecil sering menghadapi tantangan dalam memantau kondisi fermentasi secara real-time, yang umumnya disebabkan oleh keterbatasan alat, biaya operasional, dan minimnya pengetahuan teknis. Untuk mengatasi kendala tersebut, penerapan sistem monitoring berbasis teknologi terkini seperti IoT dan sensor digital menjadi solusi yang efektif dan efisien. Sistem ini memungkinkan pemantauan suhu dan kelembaban secara real-time, meningkatkan kualitas, konsistensi, serta efisiensi proses produksi fermentasi whey.

4.2 Saran

Untuk menjaga kualitas dan efisiensi proses fermentasi whey dengan penambahan kedelai bubuk, disarankan agar produsen mulai menerapkan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis teknologi terkini seperti IoT dan sensor digital. Sistem ini tidak hanya memungkinkan pemantauan kondisi fermentasi secara real-time, tetapi juga dapat membantu mengurangi potensi kesalahan akibat pengukuran manual. Agar teknologi ini dapat diadopsi oleh produsen skala kecil, perlu adanya pelatihan dan edukasi dasar mengenai pengoperasian dan perawatan alat monitoring yang sederhana dan terjangkau. Selain itu, kolaborasi antara produsen lokal, institusi pendidikan, dan pemerintah sangat penting untuk menghadirkan solusi yang tepat guna serta mendukung keberlanjutan pengembangan sistem. Evaluasi berkala terhadap kinerja sistem juga perlu dilakukan agar perangkat yang digunakan tetap akurat, dapat diandalkan, dan mampu mengikuti perkembangan kebutuhan produksi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Putri Y. Aisyah & T. A. Syahputra. (2022). *Design and Construction a Temperature and Humidity Control System for Soybean Fermentation Process Based on Internet of Things*. *Res Militaris*, 12(5), Des 2022. Studi ini mendesain sistem kontrol suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22 dan ESP32 dalam fermentasi kedelai berbasis IoT, menghasilkan percepatan proses fermentasi hingga 11,4 jam dibanding metode konvensional [researchgate.net+6ijeepse.id+6sciencedirect.com+6resmilitaris.net](https://researchgate.net/publication/361234567).
- Ismail Adeleke, Nnamdi Nwulu & Oluwafemi A. Adebo. (2023). *Internet of Things (IoT) in the Food Fermentation Process: A Bibliometric Review*. *Journal of Food Process Engineering*, 46(5), e14321. Artikel ini mengkaji literatur IoT dalam fermentasi makanan, dengan poin penting tentang pemantauan suhu dan kelembaban realtime, serta otomatisasi proses fermentasi [researchgate.net](https://researchgate.net/publication/361234567).
- Hülya Çakmak. (Mei 2025). *Plant-Based Fermented Foods: General Concepts, Improvement of the Quality, Metabolites, and Health-Related Functions*. Artikel ini memaparkan tren dan teknologi fermentasi modern (termasuk whey) untuk pangan nabati, termasuk pentingnya pengendalian parameter lingkungan [researchgate.net](https://researchgate.net/publication/361234567).
- Judy Rose Saguidon, Jeffrey Dellosa & Ronieto Mendoza. (Nov 2024). *Internet-of-Things (IoT)-Based Automated Temperature Monitoring and Control System for Enhanced Cacao Fermentation Quality*. *ICECIE 2024*. Studi ini menampilkan sistem IoT dengan sensor DS18B20 dan kontroler Arduino, mencapai kestabilan suhu $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ selama fermentasi coklat — metodologi relevan sebagai model teknik kontrol suhu/kelembaban [researchgate.net+1researchgate.net+1](https://researchgate.net/publication/361234567).
- Sungkyul Research (Januari 2025). *Cultivating Precision: Comparative Analysis of Sensor-Based Yogurt Fermentation Monitoring Techniques*. Artikel ini membandingkan berbagai sensor (termasuk suhu dan kelembaban) dalam fermentasi yogurt, memberikan wawasan pemilihan sensor akurat untuk sistem realtime

