

**LAP ORAN TUGAS KELOMPOK
MATA KULIAH
INTERKONEKSI SISTEM INSTRUMENTASI**

Dosen : Ahmad Radhy, S.Si., M.Si

**” Smart Fermentation: Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan
Otomatis untuk Meningkatkan Mutu Biji Kakao”**



Disusun Oleh :

Yusuf Aldi Prasetyo	(2042231027)
Maulidan Arridlo	(2042231059)
Ziyad Zakiy Permana	(2042231077)

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

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
BAB I PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 State of the Art	4
2.2 Biji Kakao.....	7
2.3 Standar Baku Mutu Biji Kakao	8
2.4 Pengaruh Kelembapan pada Biji Kakao	9
2.5 Pengaruh Temperature pada Biji Kakao	9
2.6 Paramater Fermentasi Biji Kakao.....	9
BAB III METODOLOGI	10
3.1 Desain Arsitektur Sistem.....	11
3.2 Deskripsi Komponen.....	11
BAB IV IMPLEMENTASI PROGRAM.....	16
4.1 Kode Rust Modbus Client	16
4.2 Kode Rust TCP Server	16
4.3 Konfigurasi Influx DB dan Integrasi.....	17
4.4 Dashboard Grafana.....	18
4.5 Integrasi Blockchain.....	19
4.6 Web3 Dapp (Qt Desktop/Web)	19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	22
5.1 Kesimpulan.....	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fermentasi merupakan salah satu tahap krusial dalam proses pascapanen biji kakao yang berperan penting dalam pembentukan cita rasa, aroma, dan kualitas akhir cokelat. Tanpa proses fermentasi yang tepat, biji kakao cenderung memiliki rasa dan aroma yang kurang baik, nilai jual yang rendah, serta kualitas gizi yang menurun (B. Andi Pallawa et al., 2024). Maka dari itu, fermentasi sering digunakan ahli mikrobiologi untuk menciptakan produk menggunakan kultur mikroorganisme. Mikroorganisme berfungsi untuk mengubah bahan padat dan cair menjadi beberapa produk. Proses fermentasi memiliki peran penting dalam menjaga kualitas makanan dan minuman dalam kondisi lingkungan (Subayu, 2022). Aroma dan cita rasa biji kakao terbentuk melalui proses fermentasi yang melibatkan interaksi berbagai mikroorganisme seperti ragi, asam laktat dan asam asetat selama penanganan pascapanen (Megavitry et al., 2024). Proses fermentasi menghasilkan prekursor aroma dan rasa, seperti gula (glukosa dan fruktosa) yang terbentuk melalui aktifitas enzim *kotiloden invertase*, serta asam amino bebas yang di lepaskan oleh enzim *karbokspeptidase* (dengan pH optimal 5,6) dan *proatase aspartate* (dengan pH optimal 3,5). Kemudian, selama proses pengeringan dan pemanggangan biji, terjadi reaksi *mailiard* yang menghasilkan aroma khas berbagai senyawa kimia di dalam biji (Quelal et al., 2023). Penyebab rendahnya mutu biji kakao dapat disebabkan oleh cara pengolahan yang kurang tepat. Fermentasi kakao harus memenuhi parameter pH sekitar 4,5 – 5,5 *temperature* 30° – 45°C dan kelembaban yang tidak lebih dari 75% (García-Tirado et al., 2019; Sadiyah, 2024). Dalam meningkatkan kualitas biji kakao, penting untuk memperhatikan prosesnya, seperti memanfaatkan kemajuan teknologi. Kemajuan teknologi dapat mempermudah pekerjaan manusia, sehingga memungkinkan untuk melakukan inovasi dan kreasi dalam menangani permasalahan yang muncul (M. S. Putri & Taali, 2022).

Pemanfaatan teknologi sangat diperlukan untuk meningkatkan hasil perkebunan kakao, terutama dari segi kualitas dan daya saing produk akhir. Salah satu tahapan krusial dalam produksi kakao adalah proses fermentasi, yang memengaruhi karakteristik rasa, aroma, dan keamanan produk. Proses ini sangat dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan, yang harus dijaga pada rentang optimal agar fermentasi berlangsung sempurna dan bakteri patogen dapat ditekan. Seiring berkembangnya teknologi, berbagai inovasi telah digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses fermentasi, termasuk penggunaan sensor suhu dan kelembapan. Salah satu sensor yang akurat dan banyak digunakan adalah SHT20, yang mampu mengukur suhu dan kelembapan secara real-time. Data dari sensor ini sangat penting dalam proses monitoring kondisi fermentasi secara presis.

Dalam konteks ini, sistem monitoring sangat dibutuhkan. Sistem memantau kondisi fermentasi secara berkelanjutan sesuai kebutuhan, sehingga proses fermentasi menjadi lebih konsisten, efisien. Hal ini mendukung pengendalian pertumbuhan mikroorganisme secara alami dan meningkatkan kualitas biji kakao yang dihasilkan.

Berdasarkan permasalahan dan peluang tersebut, proyek ini akan mengembangkan sebuah sistem monitoring suhu dan kelembapan pada fermentor otomatis menggunakan sensor SHT20, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi fermentasi biji kakao. Sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap optimalisasi proses produksi, peningkatan kualitas biji kakao, serta penerapan teknologi tepat guna bagi petani kakao di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam laporan *Final Project* ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem monitoring real-time berbasis sensor SHT20 untuk memantau kondisi suhu dan kelembapan secara akurat pada fermentasi biji kakao agar sesuai dengan standar kualitas fermentasi (30°C–45°C dan kelembapan $\leq 75\%$).
2. Bagaimana menyimpan data historis suhu dan kelembapan selama proses fermentasi dalam format time-series agar dapat digunakan untuk analisis dan evaluasi mutu fermentasi kakao?
3. Bagaimana menampilkan data suhu dan kelembapan dalam bentuk visualisasi informatif, agar petani dan pengelola fermentor dapat memantau proses fermentasi secara akurat dan mengambil keputusan berbasis data?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui *Final Project* adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem monitoring suhu dan kelembapan secara real-time menggunakan sensor SHT20, yang mampu membaca dan mengirimkan data kondisi lingkungan fermentasi dengan akurat dan stabil.
2. Merancang sistem pengiriman dan penyimpanan data dari sensor ke TCP Server berbasis Rust, lalu mencatat data tersebut ke dalam InfluxDB sebagai database time-series untuk mendokumentasikan seluruh riwayat fermentasi.
3. Merancang dashboard visual menggunakan Grafana untuk menampilkan tren suhu dan kelembapan, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan, evaluasi, dan pengambilan keputusan selama proses fermentasi berlangsung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of the Art

Adapun hasil penelitian atau perancangan terdahulu terkait tema yang diusulkan dan digunakan sebagai referensi dalam pembuatan *Final Project* ini dijelaskan pada *State of The Art* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

Judul, Penulis & Tahun	Metode	Hasil
<i>Cocoa beans classification using enhanced image feature extraction techniques and a regularized Artificial Neural Network model</i> (Opoku et al., 2024)	Penelitian menggunakan inspeksi visual (cut-test) dan model Machine Learning (<i>SVM</i> , <i>Decision Trees</i> , <i>Random Forests</i> , <i>Naïve Bayes</i> , <i>ANN</i>). Ekstraksi fitur warna dan tekstur dari gambar RGB digunakan sebagai prediktor dalam klasifikasi 14 kelas biji kakao menggunakan ANN sederhana.	Model ANN mencapai akurasi 85,36%, presisi 85%, recall 83%, dan F1-score 83%, mengungguli algoritma ML lainnya. ANN menunjukkan klasifikasi homogen, generalisasi yang baik, dan efisiensi tinggi, cocok sebagai alat diagnostik otomatis di industri kakao.
<i>Comparison of Deep Learning Technologies Applied to the Recognition of Defects in Cocoa Beans</i> (Espinal-Lanza et al., 2023)	Penelitian ini mengembangkan dua pendekatan utama untuk mengklasifikasi kualitas biji kakao. Pendekatan pertama menggunakan fitur yang diekstrak dari gambar biji kakao untuk melatih dan mengevaluasi berbagai model pembelajaran mesin, termasuk <i>Decision Tree Classifier</i> , <i>Random Forest Classifier</i> , <i>SVM</i> , dan <i>ANN</i> . Pendekatan kedua melibatkan penggunaan algoritma <i>deep learning</i> , di mana model dilatih secara langsung menggunakan gambar berlabel, dengan <i>Roboflow</i> sebagai alat bantu.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran mendalam yang diimplementasikan dengan <i>Roboflow</i> memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan metode <i>machine learning</i> tradisional yang menggunakan fitur yang diekstraksi. Model <i>deep learning</i> ini terbukti sangat efektif dalam mengendalikan kualitas biji kakao, memberikan akurasi dan efisiensi yang lebih tinggi dalam klasifikasi kualitas biji kakao.
<i>Classification of Cocoa Pod Maturity Using Similarity Tools on an Image Database: Comparison of Feature Extractors and Color Spaces</i> (Ayikpa et al., 2023)	Penelitian ini membuat <i>database</i> gambar buah kakao untuk memrediksi kematangan buah kakao. Dengan menggunakan dua ekstraktor fitur, berbasis <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN), khususnya, MobileNet, dan yang lainnya berdasarkan tekstur menggunakan matriks kemunculan bersama tingkat abu-abu atau <i>gray level co-occurrence matrix</i> (GLCM). Penelitian ini mengevaluasi dampak dari berbagai <i>color space</i> dan metode ekstraksi fitur pada <i>database</i> . Digunakan kemiripan matematis	Dari penelitian ini, ditemukan bahwa penggunaan metode pengukuran jarak <i>chi-square</i> memberikan akurasi tertinggi sebesar 99,61%. Ini terjadi ketika menggunakan GLCM sebagai pengambil fitur dan <i>lab color space</i> . Dengan menggunakan pendekatan otomatisasi berdasarkan perhitungan kemiripan, dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam menentukan kematangan buah kakao. Dapat disimpulkan bahwa metode <i>chi-square</i> adalah pendekatan yang paling sesuai dalam mengukur kemiripan.

	seperti jarak <i>Euclidean</i> , jarak korelasi, dan jarak <i>chi-square</i> , untuk mengklasifikasikan gambar buah kakao.	
<i>An Objective Classification Approach of Cacao Pods using Local Binary Pattern Features and Artificial Neural Network Architecture (ANN)</i> (Baculio & Barbosa, 2022)	Pada penelitian ini menggunakan Sistem Klasifikasi Buah Kakao yang otomatis mengidentifikasi buah kakao sehat atau tidak selama periode panen. Teknologi CNN dan <i>Machine Learning</i> digunakan untuk membuat pengklasifikasi binomial. Fitur <i>Color Histogram</i> (CH) dan <i>Local Binary Pattern</i> (LBP) digunakan sebagai <i>input</i> klasifikasi untuk <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).	Pendekatan ini berhasil mengekstraksi fitur dari gambar buah kakao, memberikan hasil yang efisien dalam akurasi, presisi, <i>recall</i> , dan <i>F1-score</i> . Dengan tingkat akurasi mencapai 98,3%, pendekatan ini menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan pengklasifikasi lain yang diuji, seperti <i>Support Vector Machine</i> (SVM) dan <i>Logistic Regression</i> (LR).
<i>Development and optimization of a cocoa extraction treatment by means of the response surface methodology (RSM) and Artificial Neural Networks (ANN)</i> (Nicole Beeler, 2022)	Penelitian ini menggunakan metode (<i>Response Surface Methodology</i>) RSM dan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) untuk memprediksi kandungan flavanol dalam ekstrak dengan parameter modifikasi pH, <i>temperature</i> , dan penambahan bentonit, yang digunakan untuk memurnikan ekstrak.	Untuk menghasilkan ekstrak kakao dengan kandungan flavanol tertinggi, perlu mengontrol <i>temperature</i> (tidak lebih dari 40°C), menghindari penggunaan bentonit yang berlebihan, dan menjaga larutan pada kondisi yang lebih asam.
<i>Preliminary study on development of cocoa beans fermentation level measurement based on computer vision and artificial intelligence</i> (Anggraini et al., 2021)	Penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi yang dapat membedakan biji kakao yang telah difermentasi dari yang belum menggunakan teknik <i>computer vision</i> dan <i>machine learning</i> . Proses analisis gambar melibatkan ekstraksi fitur warna dari biji kakao, dengan nilai rata-rata dari ruang warna RGB dan L*b digunakan sebagai fitur utama.	Berbagai model klasifikasi diuji, dan hasilnya menunjukkan bahwa model <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dengan arsitektur <i>Multilayer Perceptron</i> (MLP) memberikan hasil terbaik, mencapai akurasi pelatihan dan validasi sebesar 94%. Model ini menunjukkan kemampuan yang lebih akurat dalam mengukur tingkat fermentasi biji kakao, memungkinkan segmentasi, perhitungan, dan penggolongan yang lebih konsisten dibandingkan metode manual seperti uji Magra.
<i>Artificial Neural Network (ANN) Backpropagation Untuk Klasifikasi Jenis Penyakit pada Daun Tanaman Tomat</i> (A. W. Putri, n.d., 2021)	Penelitian ini menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dengan algoritma <i>backpropagation</i> untuk mengklasifikasi penyakit pada daun tomat. Data yang digunakan untuk pengujian terdiri dari 50 data citra penyakit <i>bacterial spot</i> , 50 data citra	Hasil klasifikasi menunjukkan akurasi sebesar 78% dengan waktu pemrosesan data selama 319,77 detik. Performa klasifikasi diukur menggunakan <i>Confusion Matrix</i> yang menghasilkan presisi sebesar 0,78 dan <i>True Positive</i> sebanyak 117 data. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode ANN

	penyakit yellow leaf curl virus, dan 50 data citra daun sehat. Proses pelatihan dilakukan dengan metode Cross-validation menggunakan 4 folds. Parameter yang digunakan antara lain batch size sebesar 100, bobot pada learning rate sebesar 0,3, validation threshold sebesar 20 untuk mengakhiri validasi pengujian, dan jumlah epoch untuk melatih data sebesar 500.	dengan algoritma backpropagation dapat membantu mengklasifikasi penyakit pada daun tomat dengan tingkat akurasi dan presisi yang cukup baik. Parameter-parameter yang digunakan dalam model ini telah dioptimalkan untuk mencapai hasil tersebut.
<i>Proceedings of the International Conference on Trends in Electronics and Informatics</i> (Chanda Moumita et al, 2019)	Pada penelitian ini membahas tentang penggunaan kombinasi algoritma <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dengan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) untuk mengatasi masalah seperti optima lokal dan <i>overfitting</i> yang umum terjadi dalam metode pelatihan NN konvensional. Secara khusus, digunakan algoritma <i>backpropagation</i> untuk menghitung bobot koneksi NN awal, yang kemudian dioptimalkan menggunakan PSO.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mencapai akurasi sebesar 96,2% dalam klasifikasi penyakit tanaman. Diuji metodenya menggunakan gambar daun yang terpengaruh oleh berbagai penyakit bakteri dan jamur seperti <i>Alternaria Alternata</i> , <i>Antraknosa</i> , Layu Bakteri, dan Bercak Daun <i>Cercospora</i> . Dengan demikian, metode ini diusulkan sebagai solusi yang efisien dan akurat untuk mengidentifikasi serta mengklasifikasikan penyakit pada tanaman.

2.2 Biji Kakao



Gambar 2. 1 Biji Kakao

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan industri makanan, terutama sebagai bahan utama dalam pembuatan cokelat dan berbagai produk olahan kakao yang populer dikalangan masyarakat seluruh dunia (Iswari, 2020). Dalam pengolahan kakao, pemilihan tahap kematangan pod kakao sangat penting untuk memperoleh biji kakao berkualitas tinggi, karena selama proses pematangan buah, senyawa yang berperan dalam pembentukan prekursor aroma akan terbentuk atau mengalami perubahan (García-Muñoz et al., 2021). Komponen utama dari biji kakao meliputi lemak, karbohidrat, protein, vitamin dan mineral. Selain itu, kakao juga mengandung polifenol dan metilksantin seperti *theobromin* dan kafein, tetapi

jumlahnya berbeda-beda tergantung berbagai faktor seperti asal, genetika, kondisi tanah, iklim dan cara pengelolaan pascapanen (Borja Fajardo et al., 2022).

2.3 Standar Baku Mutu Biji Kakao

Industri cokelat memiliki tiga kriteria kualitas utama untuk biji kakao sebagai bahan baku seperti, rasa, keamanan pangan, dan efisiensi produksi. Meskipun standar mutu biji kakao (SNI No: 2323-2008) sudah mencakup kriteria-kriteria ini, penerapannya masih belum luas di kalangan petani. Hal ini mengakibatkan citra mutu biji kakao Indonesia menjadi kurang baik, dengan masalah umum seperti kurangnya fermentasi, kelembaban yang tidak terkendali, ketidakseragaman ukuran biji, dan kotoran yang bercampur. Sebagai negara penghasil biji kakao terbesar di dunia, penting bagi petani untuk mendapatkan edukasi dan pendampingan agar dapat menghasilkan biji kakao sesuai dengan standar SNI yang berlaku. Pemerintah telah melaksanakan berbagai program pengembangan kakao, namun hingga saat ini belum mencapai hasil yang memuaskan. Salah satu tantangannya adalah penurunan volume produksi biji kakao sejak tahun 2010, disertai dengan rendahnya mutu biji kakao yang tidak memenuhi standar SNI 2323:2008/Amd 1:2010. Permasalahan utama terletak pada penanganan pascapanen kakao, terutama proses fermentasi yang kritis bagi kualitas biji kakao (Ariningsih et al., 2021). Melalui regulasi seperti Peraturan Menteri Pertanian Nomor 67 Tahun 2014 dan perubahannya, pemerintah mewajibkan petani untuk melakukan fermentasi biji kakao sebelum dijual kepada industri pengolahan atau eksportir. Namun, implementasi regulasi ini terhambat oleh berbagai masalah dan kendala lapangan (Ariningsih et al., 2021; Suryana et al., 2022).

Tabel 2. 2 Persyaratan Umum Biji Kakao menurut Standar SNI 2323:2008/Amd 1:2010

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Serangga hidup	-	Tidak ada
2.	Serangga mati	-	Tidak ada
3.	Kadar air (b/b)	%	Maks. 7,5
4.	Biji berbau asap dan/atau hammy dan/atau berbau asing	-	Tidak ada
5.	Kadar biji pecah dan/atau kulit (b/b)	%	Maks. 2
6.	Kadar benda-benda asing (b/b)	-	Tidak ada

Sumber: cctcid.com

Syarat khusus mutu pada tabel 2.2. merupakan persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mutu biji kakao yang berkaitan dengan aspek kesehatan, termasuk mikroba, cemaran asap, benda padat dan serangga. Diatas nilai 7,5% maka biji akan mudah diserang jamur, maka dari itu batas maksimum air sebesar 7,5%.

Tabel 2. 3 Persyaratan Khusus Mutu Biji Kakao menurut Standar SNI 2323:2008/Amd 1:2010

Jenis Mutu		Persyaratan					
Kakao Mulia (<i>Fine Cocoa</i>)	Kakao Lindak (<i>Bulk Cocoa</i>)	Kadar Biji Berjamur (b/b)	Kadar Biji Slaty (b/b)	Kadar Biji Berserangga (b/b)	Kadar Kotoran (b/b)	Kadar Biji Berkecambah (b/b)	
I-F (AA-SS)	I-B (AA-SS)	Maks. 2	Maks. 3	Maks. 1	Maks. 1,5	Maks. 2	
II-F (AA-SS)	II-B (AA-SS)	Maks. 4	Maks. 8	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 3	

III-F (AA-SS)	III-B (AA-SS)	Maks. 4	Maks 20.	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 3
---------------	---------------	---------	----------	---------	---------	---------

Sumber: SNI 2008 (Ariningsih et al., 2021; Lestari et al., 2020)

2.4 Pengaruh Kelembapan pada Biji Kakao

Perubahan *temperature* dan kelembapan tidak memberikan perbedaan signifikan pada laju pengeringan untuk berbagai ukuran biji kakao. Namun, ketebalan lapisan biji kakao secara signifikan mempengaruhi laju pengeringan. Metode ini bisa direkomendasikan bagi petani setelah dilakukan penelitian lebih lanjut pada pengeringan skala besar (Dzelagha et al., 2020).

2.5 Pengaruh Temperature pada Biji Kakao

Penelitian Manalu *et al.* (1998) menyatakan bahwa penggunaan pengering tumpukan sejak awal proses pengeringan dapat menurunkan kualitas biji kakao. Karena biji kakao yang masih memiliki lendir atau pulp setelah dicuci cenderung saling menempel dan mengelompok, ini menghambat penguapan air dari biji ke udara pengering, memperpanjang waktu pengeringan, dan memicu pertumbuhan jamur (Lestari et al., 2020). Meskipun dikeringkan dengan sinar matahari memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sampel yang dikeringkan menggunakan oven pada semua *temperature*, terdapat peningkatan kadar asam lemak bebas dan asam asetat yang signifikan seiring dengan peningkatan *temperature*. Peningkatan ini berbanding lurus dengan penurunan pH, dengan *temperature* oven optimal berada pada 45°C (Dzelagha et al., 2020).

2.6 Paramater Fermentasi Biji Kakao

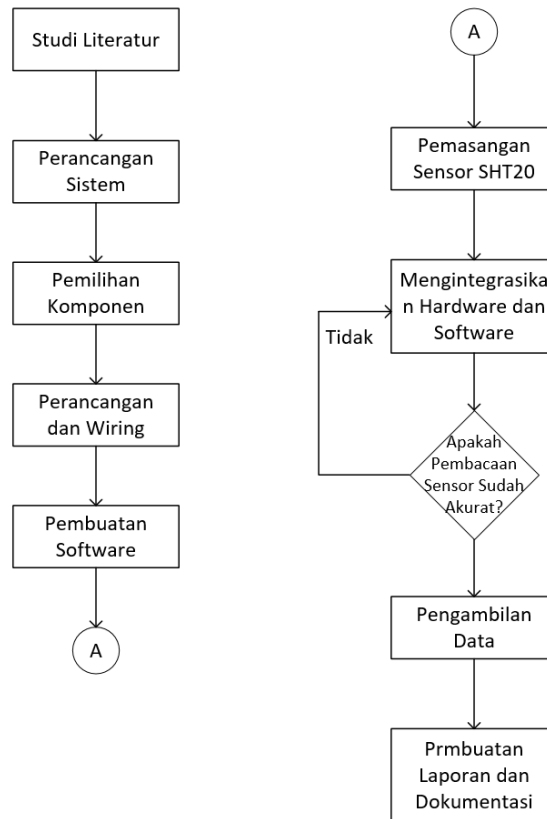
Parameter yang harus sesuai dengan standar kualitas biji kakao adalah hal penting yang harus diperhatikan untuk memastikan bahwa proses fermentasi biji kakao berjalan dengan baik. Parameter yang mencakup tingkat pH biji kakao, *temperature* di ruang fermentasi, dan tingkat kelembapan relatif harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa proses fermentasi biji kakao berjalan dengan optimal (García-Tirado et al., n.d., 2019). Permukaan respon menunjukkan bahwa penyimpanan buah kakao, laju aerasi, dan mode aerasi memiliki pengaruh signifikan terhadap pH biji kakao.

Tabel 2. 4 Parameter pH, *Temperature*, dan Kelembapan pada Biji Kakao

No.	Parameter	Keterangan
1.	pH	4 – 4,5
2.	Temperatur	30°C – 45°C
3.	Kelembaban	75%

BAB III METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada “Smart Fermentation: Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Otomatis untuk Meningkatkan Mutu Biji Kakao” dapat dilihat pada diagram alir **Gambar 3.1** dibawah ini.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Diagram alir pada **Gambar 3.1** menggambarkan alur tahapan penelitian dalam mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembapan pada fermentor otomatis untuk meningkatkan efisiensi fermentasi biji kakao. Proses diawali dengan studi literatur untuk memahami dasar teori mengenai fermentasi kakao, kebutuhan parameter suhu dan kelembapan, serta teknologi sensor dan monitoring yang relevan. Studi ini menjadi dasar dalam menyusun sistem yang efektif dan presisi.

Tahap selanjutnya adalah perancangan sistem, yang mencakup desain arsitektur sistem monitoring berbasis sensor. Setelah itu, dilakukan pemilihan komponen, termasuk pemilihan sensor suhu dan kelembapan (SHT20), mikrokontroler, dan sistem komunikasi data yang sesuai dengan kebutuhan monitoring secara real-time.

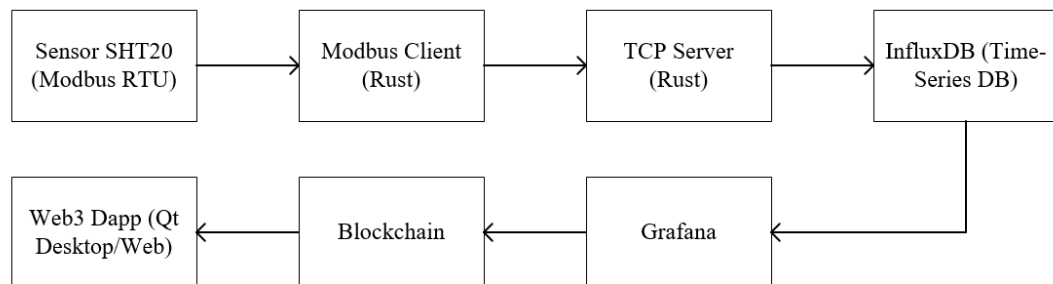
Setelah komponen dipilih, dilakukan perancangan wiring dan layout untuk menghubungkan perangkat keras secara fungsional. Dilanjutkan dengan pembuatan perangkat lunak (software) untuk membaca data dari sensor, mengolahnya, dan mengirimkan data tersebut untuk disimpan dan divisualisasikan.

Langkah berikutnya adalah pemasangan sensor SHT20, yang berfungsi sebagai sensor utama untuk mengukur suhu dan kelembapan dalam fermentor. Sensor ini dipasang dan diuji sebelum dilakukan pengujian menyeluruh.

Kemudian sistem memasuki tahap integrasi antara hardware dan software, di mana seluruh perangkat keras dan perangkat lunak digabungkan menjadi sistem utuh. Setelah itu, dilakukan proses verifikasi melalui pengujian pembacaan sensor. Pada tahapan ini, terdapat pengambilan keputusan: “Apakah pembacaan sensor sudah akurat?” Jika belum akurat, maka dilakukan perbaikan atau kalibrasi ulang. Jika sudah akurat, sistem dapat lanjut ke tahap pengambilan data.

Data hasil pembacaan suhu dan kelembapan dari fermentor dikumpulkan secara berkala selama proses fermentasi berlangsung. Tahap terakhir adalah pembuatan laporan dan dokumentasi hasil pengujian dan implementasi sistem, sebagai bukti akhir dari pelaksanaan dan keberhasilan proyek.

3.1 Desain Arsitektur Sistem



Gambar 3. 2 Diagram Blok Arsitektur Sistem

Diagram blok arsitektur sistem ini menunjukkan alur aliran data dari sensor suhu dan kelembapan SHT20 hingga divisualisasikan dalam bentuk grafik melalui dashboard Grafana, serta diverifikasi melalui sistem blockchain dan ditampilkan pada aplikasi Web3. Sistem ini dirancang sebagai solusi monitoring otomatis untuk mendukung efisiensi fermentasi biji kakao.

Proses dimulai dari Sensor SHT20 yang menggunakan protokol komunikasi Modbus RTU, membaca parameter suhu dan kelembapan secara real-time dari dalam fermentor. Data dari sensor ini diterima oleh Modbus Client yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Rust. Client ini bertugas membaca data mentah, mengolahnnya, dan meneruskannya dalam format JSON ke TCP Server, juga ditulis dalam Rust. Server ini menjadi jembatan komunikasi yang menerima data dan meneruskannya ke sistem penyimpanan utama.

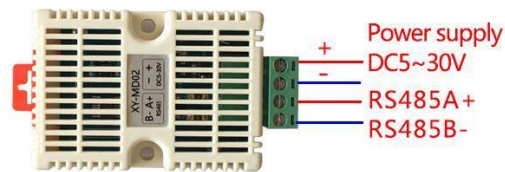
Data yang diterima oleh TCP Server disimpan ke dalam InfluxDB, yaitu database time-series yang dirancang untuk menyimpan data berdasarkan waktu. InfluxDB memastikan bahwa data suhu dan kelembapan tersimpan secara historis dan terstruktur, sehingga dapat dianalisis kapan saja. Selanjutnya, data dari InfluxDB dikirim ke Grafana, yang berfungsi sebagai platform visualisasi. Grafana menyajikan data dalam bentuk grafik suhu dan kelembapan secara real-time maupun historis, memudahkan pengguna untuk memantau kondisi fermentasi secara langsung.

Sebagai tambahan untuk memastikan keaslian dan integritas data, sistem ini terhubung dengan teknologi Blockchain. Data dari Grafana dicatat ke dalam blockchain dalam bentuk *hash*, yang menjamin bahwa data tidak dimodifikasi setelah dicatat. Blockchain ini kemudian diakses oleh Web3 DApp berbasis Qt atau platform web, yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memverifikasi keabsahan data secara transparan.

3.2 Deskripsi Komponen

1. Sensor: SHT20 (industrial) dengan komunikasi Modbus RTUP

Connection mode



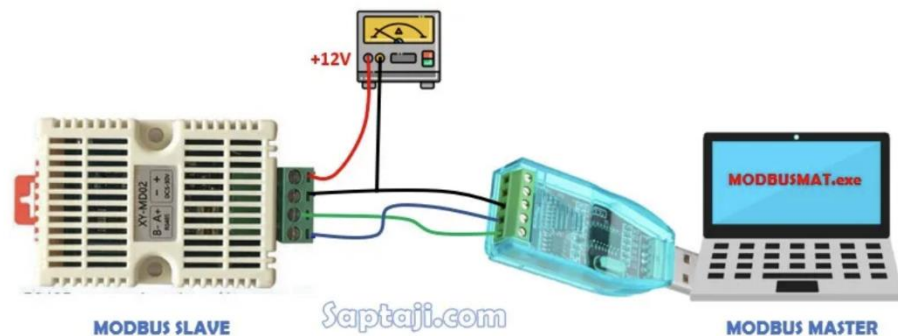
RS485 communication distance up to 1000 meters.

Gambar 3. 3 Sensor Kelembaban SHT20

Tabel 3. 1 Spesifikasi Sensor Kelembaban SHT20

<i>Voltage Input</i>	5V – 30V
<i>Measuring Range (Humidity)</i>	0% RH – 80%RH
<i>Measuring Range (Temperature)</i>	-40 °C - +60 °C
<i>Humidity measurement accuracy</i>	±3%RH
<i>Temperature measurement accuracy</i>	±0.5°C

2. Modbus Client (Rust): Pembacaan data suhu dan kelembaban dari sensor.



Gambar 3. 4 Diagram Blok Arsitektur Sistem

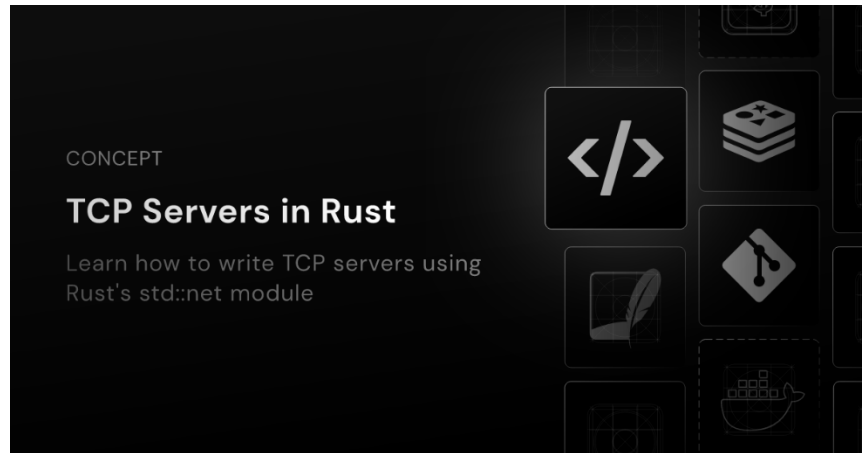
Modbus adalah protokol komunikasi data yang banyak digunakan dalam sistem otomasi industri, termasuk dalam implementasi pembacaan sensor suhu dan kelembaban. Dalam sistem ini, protokol Modbus digunakan pada lapisan komunikasi data (Data Link Layer), sedangkan lapisan fisiknya menggunakan antarmuka serial RS-485, yang dikenal andal untuk komunikasi jarak jauh dan lingkungan industri dengan gangguan elektromagnetik tinggi.

Sensor yang digunakan, yaitu Industrial SHT20, berkomunikasi melalui protokol Modbus RTU, di mana sensor bertindak sebagai perangkat slave dan perangkat lunak client bertindak sebagai master. Untuk berinteraksi dengan sensor, dikembangkan sebuah program Modbus Client menggunakan bahasa Rust, yang berfungsi untuk mengakses data register dari sensor secara berkala.

Program Modbus Client (Rust) ini membaca data suhu dan kelembaban melalui alamat register tertentu yang telah ditentukan oleh dokumentasi sensor. Data yang berhasil dibaca dari sensor kemudian dikonversi ke format JSON yang berisi informasi penting

seperti waktu pembacaan (timestamp), ID sensor, nilai suhu, dan kelembaban. Data JSON ini selanjutnya dikirimkan ke server melalui koneksi TCP untuk disimpan dan divisualisasikan lebih lanjut.

3. TCP Server (Rust): Menerima data JSON, parsing, dan simpan ke InfluxDB.



Gambar 3. 5 TCP Server (Rust)

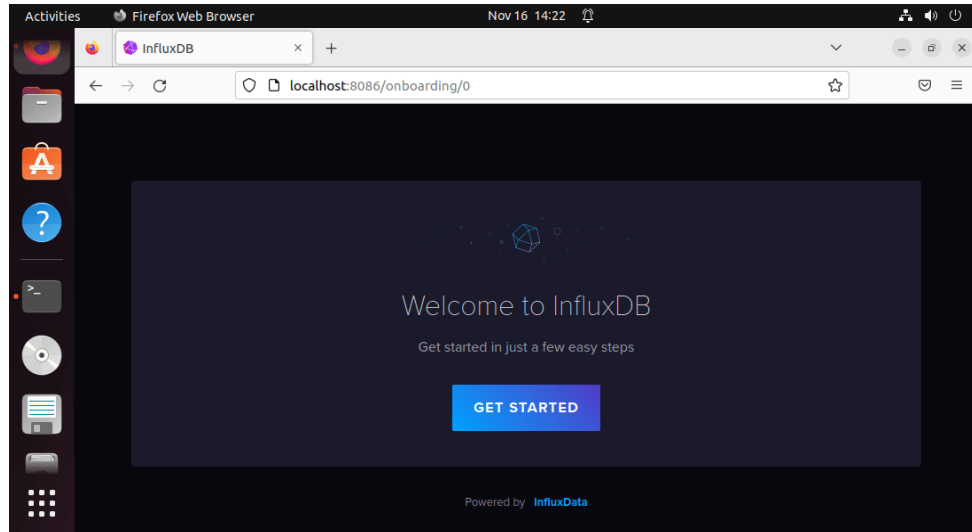
TCP Server adalah sebuah program yang berjalan di sisi penerima dan berfungsi untuk mendengarkan koneksi masuk dari client melalui protokol Transmission Control Protocol (TCP). TCP sendiri merupakan protokol komunikasi yang andal dan berorientasi koneksi, yang banyak digunakan dalam sistem jaringan untuk memastikan data dikirim secara utuh dan berurutan.

Dalam implementasi sistem monitoring suhu dan kelembaban ini, TCP Server dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Rust. Server ini bertugas untuk menerima data yang dikirim oleh Modbus Client, yang sebelumnya telah membaca dan mengonversi data dari sensor ke dalam format JSON. Data JSON tersebut memuat informasi penting seperti waktu pembacaan (timestamp), ID sensor (sensor_id), nilai suhu (temperature), dan kelembaban (humidity).

Setelah menerima data, server melakukan parsing atau penguraian isi JSON guna memastikan bahwa struktur dan nilainya valid. Proses ini penting untuk menghindari kesalahan saat penyimpanan data. Selanjutnya, data yang telah lolos verifikasi akan disisipkan ke dalam InfluxDB, sebuah database yang dirancang khusus untuk menyimpan data deret waktu (time-series). Penyimpanan dilakukan berdasarkan timestamp, sehingga setiap data dapat ditelusuri secara historis dan digunakan untuk keperluan analisis.

Dengan menggunakan TCP Server berbasis Rust, sistem ini memperoleh keunggulan dari sisi performa, efisiensi penggunaan memori, serta tingkat keamanan yang tinggi. Server ini menjadi komponen penting dalam menghubungkan perangkat pembaca sensor dengan sistem penyimpanan data, sekaligus memastikan bahwa proses pengumpulan dan pelacakan data berlangsung secara real-time.

4. InfluxDB: Menyimpan data time-series.



Gambar 3. 5 InfluxDB

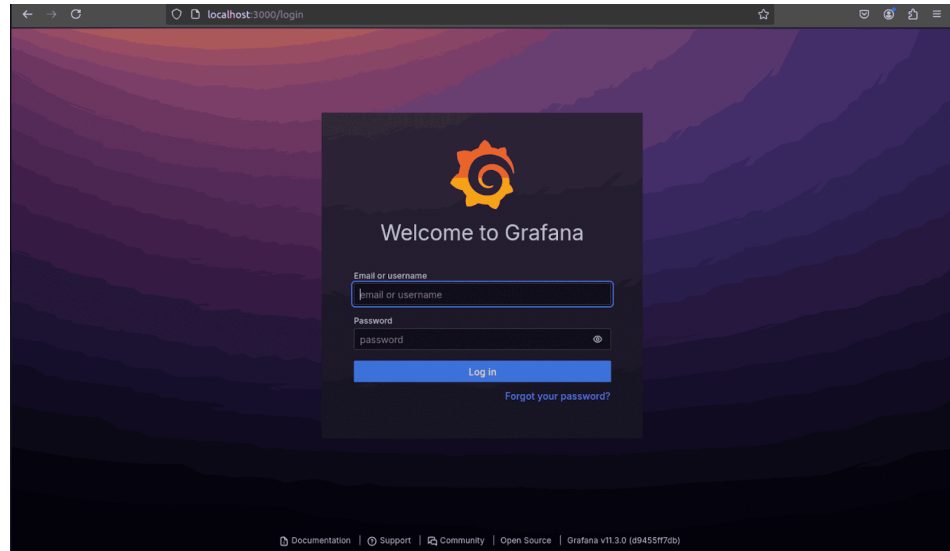
InfluxDB adalah sebuah time-series database yang dirancang khusus untuk menyimpan, mengelola, dan menganalisis data yang dicatat berdasarkan waktu. Time-series data merupakan data yang tersusun dalam urutan kronologis dan biasanya berasal dari sensor, log sistem, metrik performa, atau data pemantauan lainnya yang dikumpulkan secara berkala. InfluxDB memiliki keunggulan dalam menangani volume data yang besar dengan efisien serta menyediakan dukungan kueri yang kuat untuk analisis waktu nyata maupun historis.

Dalam sistem monitoring suhu dan kelembaban ini, InfluxDB berperan sebagai tempat penyimpanan utama untuk seluruh data hasil pembacaan sensor. Data yang diterima oleh TCP Server dalam format JSON akan diproses dan disisipkan ke dalam InfluxDB dengan struktur data yang mencakup timestamp, nilai suhu, nilai kelembaban, dan ID sensor. Penyimpanan berdasarkan timestamp memungkinkan sistem untuk melakukan pelacakan kondisi lingkungan secara kronologis dan akurat.

Keunggulan lain dari InfluxDB adalah kemampuannya untuk diintegrasikan langsung dengan berbagai alat visualisasi seperti Grafana, sehingga pengguna dapat mengakses dan menampilkan data dalam bentuk grafik atau dashboard interaktif. Hal ini sangat penting dalam mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data oleh petani atau operator gudang fermentasi.

Dengan menggunakan InfluxDB, sistem monitoring ini tidak hanya mampu merekam data secara real-time, tetapi juga menyediakan arsip data historis yang dapat diakses dan dianalisis kapan saja. Hal ini menjadikan InfluxDB sebagai komponen krusial dalam keseluruhan arsitektur sistem pemantauan berbasis sensor.

5. Grafana: Menampilkan dashboard suhu dan kelembaban.



Gambar 3. 6 Grafana

Grafana adalah perangkat lunak visualisasi dan analitik open-source yang dirancang untuk menampilkan data time-series dalam bentuk grafik yang informatif dan interaktif. Grafana memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan, memantau, dan menganalisis berbagai jenis metrik yang tersimpan di dalam database time-series (TSDB), seperti InfluxDB, Prometheus, OpenTSDB, Graphite, hingga Elasticsearch.

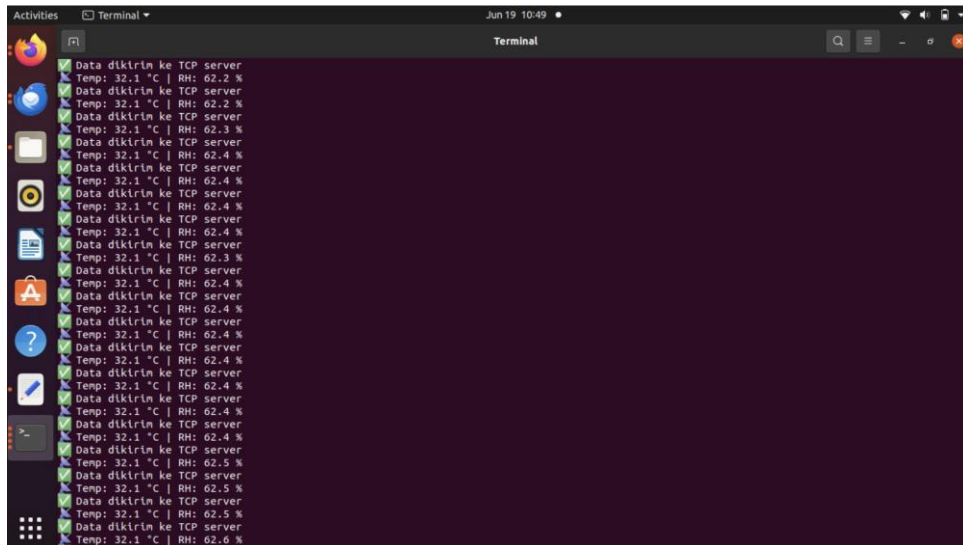
Dalam sistem ini, Grafana digunakan untuk menampilkan data suhu dan kelembaban yang dikumpulkan oleh sensor dan disimpan dalam InfluxDB. Visualisasi ini membantu pengguna, khususnya petani atau operator gudang, dalam memantau kondisi lingkungan secara real-time maupun historis, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data.

Grafana menyediakan berbagai jenis panel visualisasi seperti grafik (line chart), single stat (nilai tunggal), tabel, teks, hingga dashlist. Panel-panel ini dapat dikustomisasi dan disusun dalam sebuah dashboard yang dinamis, interaktif, dan mudah dipahami. Selain itu, Grafana mendukung template dashboard dan penggunaan variabel, yang memungkinkan pengguna untuk menampilkan data dari banyak sensor atau waktu tertentu secara fleksibel.

Salah satu keunggulan utama Grafana adalah kemampuannya untuk membuat query dinamis, memberikan anotasi, serta mendukung templating query yang memudahkan pengelolaan data kompleks. Untuk InfluxDB, Grafana memiliki plugin data source bawaan yang lengkap dan stabil, menjadikan integrasi antar keduanya sangat efisien.

BAB IV IMPLEMENTASI PROGRAM

4.1 Kode Rust Modbus Client



Gambar 4. 1

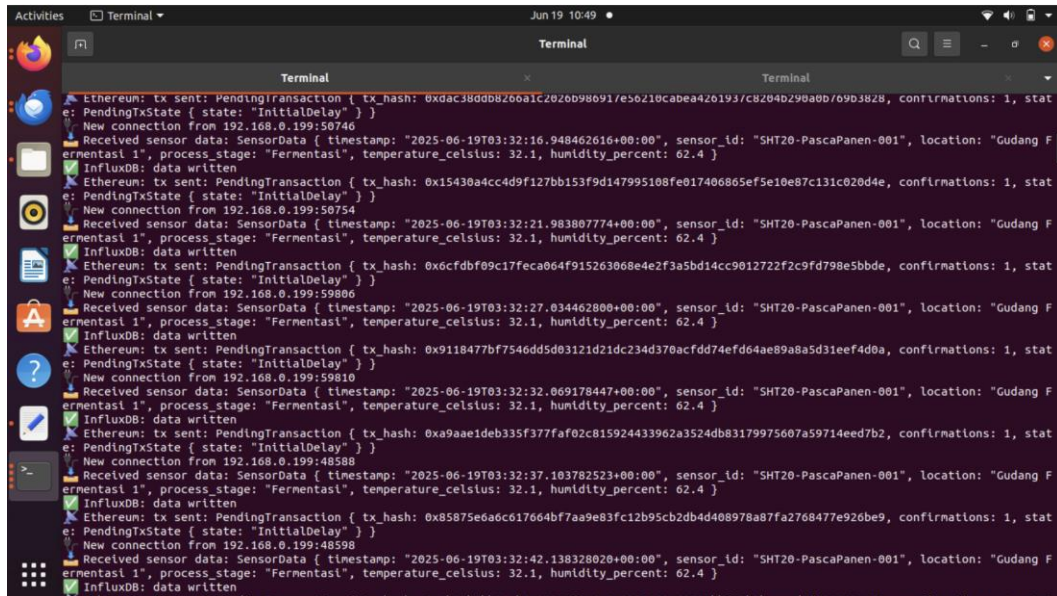
Pada sistem monitoring suhu dan kelembapan fermentor kakao yang dirancang, pembacaan data sensor dilakukan menggunakan sebuah program Modbus Client yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman Rust. Program ini berfungsi untuk mengambil data dari sensor industri SHT20, yang berkomunikasi menggunakan protokol Modbus RTU melalui antarmuka RS-485 to USB. Setelah sensor dihubungkan ke sistem, koneksi serial dikenali oleh sistem operasi Linux sebagai port `/dev/ttyUSB0`, dan komunikasi dilakukan dengan alamat slave `0x01`, sesuai dengan konfigurasi default sensor.

Pembacaan nilai suhu dan kelembapan dilakukan dengan mengakses dua register utama pada sensor, yaitu alamat `0x0000` untuk suhu dan `0x0001` untuk kelembapan. Data yang dibaca dari sensor masih dalam bentuk bilangan bulat (integer), sehingga perlu dikonversi ke format desimal (float) dengan membaginya dengan faktor pengali `10.0`. Langkah ini dilakukan untuk menyesuaikan nilai yang dibaca ke satuan sebenarnya, yaitu derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$) untuk suhu dan persen kelembapan relatif ($\%RH$) untuk kelembapan udara.

Setelah proses pembacaan dan konversi dilakukan, data suhu dan kelembapan dikemas ke dalam format JSON agar mudah diproses dalam sistem monitoring yang terhubung. Format JSON tersebut mencakup parameter waktu pengambilan data (*timestamp*), ID sensor, nilai suhu, dan nilai kelembapan.

Data dalam format JSON ini kemudian dikirimkan ke server TCP yang berjalan pada port `7878`, juga dikembangkan dengan bahasa Rust. Pengiriman dilakukan secara berkala setiap 10 detik, memastikan data sensor diterima oleh server secara real-time dan berkelanjutan. Dengan mekanisme ini, sistem dapat terus melakukan pembaruan data lingkungan fermentor secara otomatis tanpa intervensi manual.

4.2 Kode Rust TCP Server

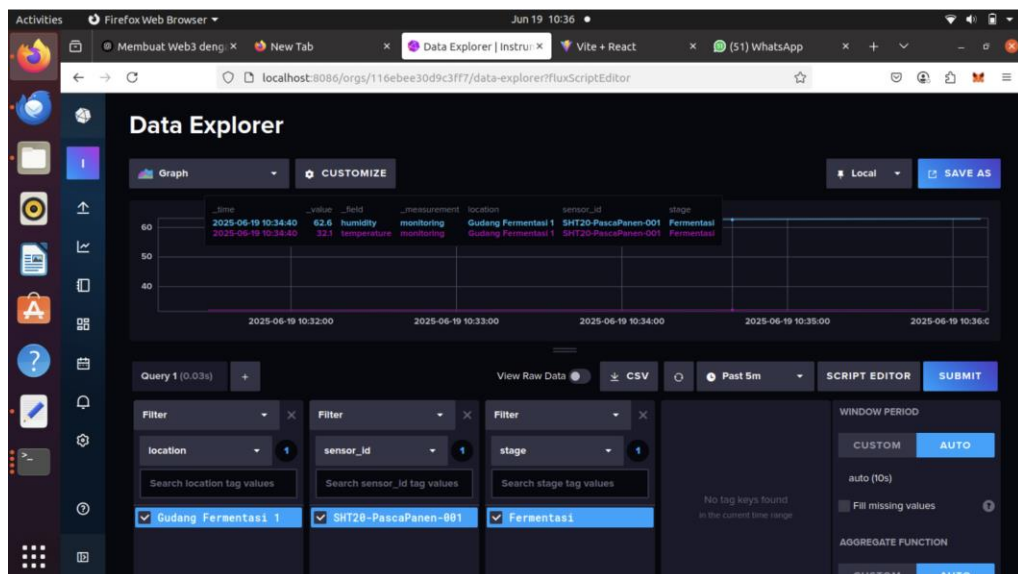


```
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0xdac38d0b26a1c2020b98691/e3e210cabea426193/c8204b290a8b/09b3828, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:50746
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:16.948462616+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0x15430a4cc4d9f127bb153f9d147995108fe17406865ef5e10e87c131c020d4e, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:50754
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:21.983807774+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0x6cfd9c17feca064f915263068e4e2f3a5bd14cc9012722f2c9fd798e5bbde, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:59806
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:27.034462800+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0x9118477bf7546dd5d03121d21dc234d370acfd74efd64ae89a8a5d31eef4d0a, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:59810
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:32.069178447+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0xa9aae1deb335f377faf02c815924433962a3524db83179975607a59714eed7b2, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:48588
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:37.103782523+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
Ethereum: tx sent: PendingTransaction { tx_hash: 0x858756a6c617664bf7aa9e83fc12b95cb2db4d408978a87fa2768477e926be9, confirmations: 1, state: PendingTxState { state: "InitialDelay" } }
New connection from 192.168.0.199:48598
Received sensor data: SensorData { timestamp: "2025-06-19T03:32:42.138328020+00:00", sensor_id: "SHT20-PascaPanen-001", location: "Gudang Fermentasi 1", process_stage: "Fermentasi", temperature_celsius: 32.1, humidity_percent: 62.4 }
InfluxDB: data written
```

Pada tahap kedua dalam implementasi sistem monitoring suhu dan kelembapan fermentor kakao, data yang telah dikemas dalam format JSON oleh program client akan diterima oleh program TCP Server yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Rust. TCP Server ini dirancang untuk menerima data secara kontinu dan real-time, sehingga dapat menangani pengiriman data dari Modbus Client setiap 10 detik tanpa gangguan. Server berjalan dan mendengarkan koneksi pada port 7878, serta siap menerima JSON yang dikirimkan dari sensor melalui client.

Setiap kali paket data JSON diterima, server menggunakan pustaka `serde_json`, yaitu pustaka pemrosesan JSON dalam ekosistem Rust, untuk memarsing informasi yang dikirim oleh client. Proses parsing ini mengubah string JSON menjadi struktur data internal yang dapat diproses lebih lanjut oleh sistem. Data yang diterima biasanya terdiri dari informasi waktu pembacaan (timestamp), ID sensor, suhu (dalam °C), dan kelembapan (dalam %RH). Setelah berhasil diparsing, data disiapkan untuk dikirim ke InfluxDB, yaitu database time-series yang sangat cocok untuk menyimpan data pengukuran sensor berdasarkan waktu.

4.3 Konfigurasi Influx DB dan Integrasi



Pada tahap ini, sistem monitoring suhu dan kelembapan yang dirancang telah

menghasilkan data JSON dari sensor SHT20 melalui Modbus Client dan TCP Server. Selanjutnya, diperlukan konfigurasi dan integrasi dengan InfluxDB, yaitu database time-series yang dirancang secara khusus untuk menyimpan data berdasarkan urutan waktu. InfluxDB dipilih karena keandalannya dalam menangani data pemantauan sensor yang terus-menerus, serta kemampuannya untuk di-query dan divisualisasikan secara efisien.

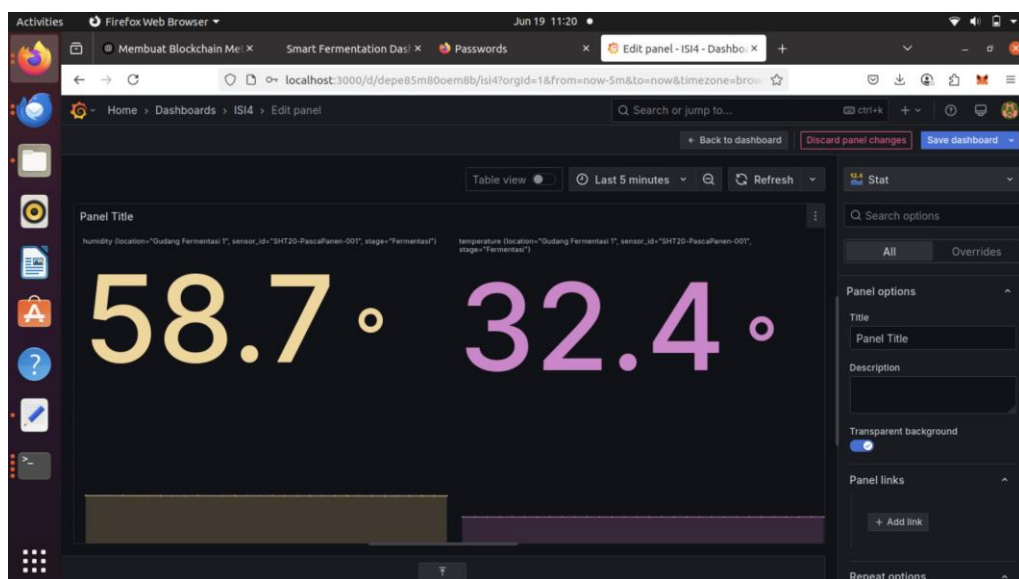
InfluxDB dikonfigurasi untuk berjalan secara lokal, dengan endpoint yang terhubung langsung dengan Rust TCP Server yang bertugas menulis data ke dalam database. Server dijalankan di port 7878 dan dirancang secara asynchronous, memungkinkan sistem untuk menangani multiple client secara bersamaan tanpa mengganggu performa utama sistem. Hal ini sangat penting untuk memastikan kestabilan sistem monitoring fermentor yang berjalan secara terus-menerus selama proses fermentasi.

Setelah koneksi dengan client diterima, data dikirim dalam format string JSON dan diparsing menggunakan pustaka `serde_json`. Proses ini memungkinkan data JSON untuk dikonversi menjadi objek terstruktur di dalam program. Informasi penting seperti nilai suhu, kelembapan, dan sensor ID diekstrak dari JSON dan disiapkan dalam bentuk data point untuk disimpan ke dalam InfluxDB.

Struktur penyimpanan dalam InfluxDB mengikuti format standar time-series, di mana data disimpan dalam measurement bernama "fermentation". Untuk mempermudah proses filtering dan analisis, `sensor_id` digunakan sebagai tag, sedangkan nilai temperature dan humidity disimpan sebagai fields, yaitu kolom yang berisi angka aktual hasil pengukuran. Dengan struktur ini, data bisa difilter berdasarkan sensor tertentu atau waktu tertentu dengan sangat efisien.

Proses penulisan data ke InfluxDB dilakukan menggunakan client InfluxDB versi 2 yang telah diintegrasikan ke dalam TCP Server Rust. Client ini mendukung penulisan data secara asynchronous dan batch, sehingga pengiriman data ke database tidak menyebabkan bottleneck pada proses pembacaan sensor. Setiap kali data baru dikirim oleh Modbus Client, TCP Server akan langsung mengkonversi dan menyimpan data tersebut ke dalam InfluxDB secara otomatis.

4.4 Dashboard Grafana



Setelah data suhu dan kelembapan berhasil disimpan ke dalam InfluxDB, tahap selanjutnya adalah visualisasi data dalam bentuk grafik menggunakan Grafana. Grafana merupakan platform open-source yang dirancang khusus untuk menampilkan data time-series secara interaktif dan real-time, sehingga sangat ideal digunakan dalam sistem monitoring fermentasi biji kakao yang

membutuhkan pemantauan kondisi lingkungan secara kontinyu. Dalam sistem ini, Grafana dihubungkan langsung dengan InfluxDB melalui konfigurasi data source, sehingga dapat menarik data sensor secara otomatis dan menampilkannya dalam bentuk grafik yang informatif.

Pada dashboard utama, ditampilkan dua grafik utama, yaitu grafik suhu terhadap waktu dan grafik kelembapan terhadap waktu. Grafik ini menyajikan tren perubahan suhu dan kelembapan yang terjadi selama proses fermentasi berlangsung, sehingga pengguna—dalam hal ini petani atau operator fermentor—dapat memantau kondisi lingkungan fermentasi secara visual. Informasi ini sangat penting karena suhu dan kelembapan merupakan parameter kunci yang memengaruhi kualitas fermentasi biji kakao. Melalui grafik ini, penyimpangan dari kisaran optimal (suhu 30–45 °C dan kelembapan $\leq 75\%$) dapat langsung terdeteksi.

Selain grafik, dashboard Grafana juga menyediakan panel statik yang menampilkan nilai suhu dan kelembapan terkini secara real-time, sehingga pengguna tidak perlu membaca grafik secara mendalam untuk mengetahui kondisi saat itu. Panel ini diperbarui secara otomatis setiap kali data baru masuk ke InfluxDB dari sensor. Untuk mendukung fleksibilitas analisis data, dashboard juga dilengkapi dengan fitur filter waktu, seperti pilihan tampilan data 1 jam terakhir, hari ini, minggu ini, atau rentang waktu tertentu. Tersedia pula filter berdasarkan sensor_id, yang memungkinkan pengguna untuk membedakan antara beberapa fermentor atau lokasi sensor yang berbeda.

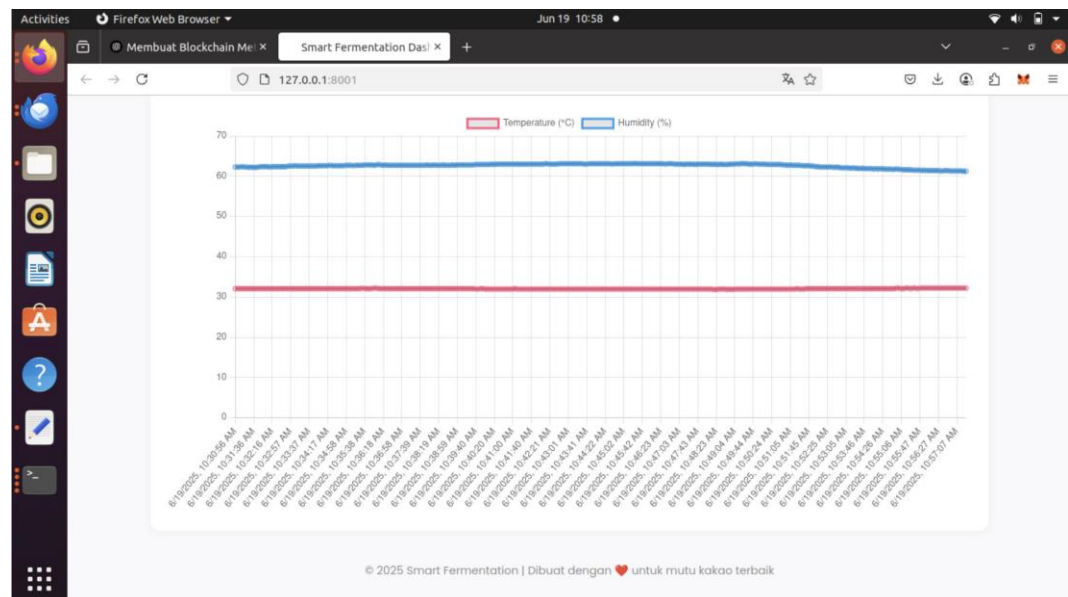
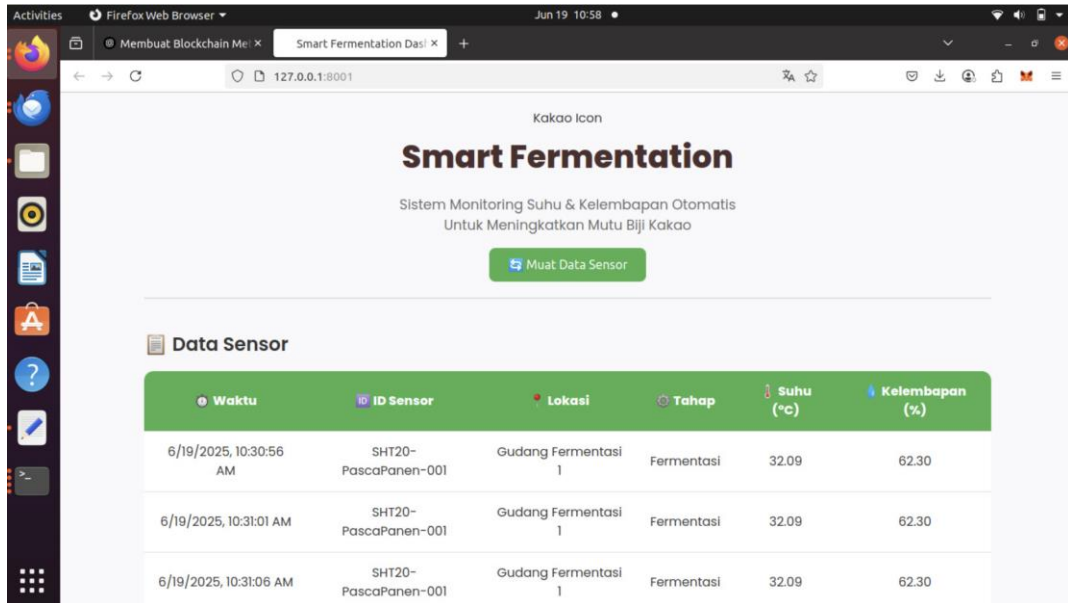
4.5 Integrasi Blockchain

Sebagai langkah akhir dalam sistem monitoring suhu dan kelembapan pada fermentor otomatis, dilakukan integrasi teknologi blockchain untuk memastikan integritas, keaslian, dan keamanan data yang dihasilkan oleh sistem. Integrasi ini bertujuan untuk memberikan jaminan validitas data yang dikumpulkan selama proses fermentasi biji kakao, sehingga data tersebut dapat digunakan secara akuntabel dalam pengambilan keputusan maupun pelacakan mutu dalam rantai pasok produk.

Proses integrasi dimulai setelah data hasil pembacaan sensor suhu dan kelembapan tersimpan di dalam InfluxDB. Data yang telah tersimpan kemudian diproses oleh sistem untuk menghasilkan nilai hash kriptografi, menggunakan algoritma seperti SHA-256, yang akan merepresentasikan identitas unik dari data tersebut. Nilai hash ini bersifat sensitif terhadap perubahan sekecil apa pun dalam isi data, sehingga apabila data mengalami modifikasi, maka hash yang dihasilkan akan berubah secara signifikan.

Nilai hash ini selanjutnya dicatat (commit) ke dalam jaringan blockchain, sehingga menjadi bukti permanen bahwa data tersebut telah tercatat secara resmi dan tidak dapat diubah kembali (*immutable*). Dengan menggunakan pendekatan ini, setiap data suhu dan kelembapan yang ditampilkan pada dashboard atau sistem monitoring dapat diverifikasi keasliannya melalui perbandingan nilai hash saat ini dengan catatan hash yang tersimpan di blockchain.

4.6 Web3 Dapp (Qt Desktop/Web)





Sebagai bagian akhir dari pengembangan sistem monitoring suhu dan kelembapan pada fermentor otomatis, dilakukan implementasi aplikasi Web3 DApp (Decentralized Application) yang berfungsi sebagai antarmuka untuk verifikasi keaslian data hasil monitoring. Aplikasi ini dibangun untuk mengakses catatan hash dari setiap data yang telah dikirimkan ke sistem blockchain, guna memastikan bahwa data suhu dan kelembapan yang tersimpan tidak mengalami perubahan atau manipulasi setelah dicatat pertama kali.

Aplikasi Web3 ini dikembangkan dengan mengintegrasikan antarmuka pengguna berbasis web maupun desktop (Qt), yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan memverifikasi informasi sensor secara langsung. Alur sistem diawali dengan pengguna mengakses DApp untuk melihat data suhu dan kelembapan tertentu. Sistem akan menampilkan nilai pembacaan dari database monitoring (InfluxDB), kemudian secara otomatis mencocokkan nilai hash dari data tersebut dengan hash yang tercatat di dalam blockchain. Apabila hash yang dihitung sesuai dengan yang tersimpan, maka DApp akan menampilkan status “Valid”, menandakan bahwa data bersifat asli dan belum dimodifikasi. Sebaliknya, apabila terjadi ketidaksesuaian hash, sistem akan memberikan status “Invalid” sebagai indikasi adanya perubahan data.

Selain fungsi verifikasi, DApp juga menyediakan tampilan riwayat pencatatan data, termasuk waktu pengambilan data, ID sensor, dan status verifikasi pada tiap entri. Dengan demikian, pengguna dapat melakukan penelusuran (traceability) terhadap seluruh data monitoring fermentor kakao secara historis. Hal ini sangat bermanfaat dalam konteks pengawasan mutu fermentasi, audit sistem produksi, maupun pelacakan proses untuk keperluan sertifikasi dan ekspor.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring suhu dan kelembapan pada fermentor otomatis untuk efisiensi fermentasi biji kakao berhasil dibangun dan berfungsi sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan. Sistem ini menggunakan sensor industri SHT20 yang mampu membaca suhu dan kelembapan secara real-time dengan komunikasi berbasis protokol Modbus RTU. Data hasil pembacaan dikirimkan melalui Modbus Client dan TCP Server yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Rust, dan kemudian disimpan ke dalam basis data time-series InfluxDB.

Data yang tersimpan divisualisasikan secara interaktif melalui dashboard Grafana, yang menampilkan grafik perubahan suhu dan kelembapan terhadap waktu, serta menyediakan panel informasi nilai terkini dan fitur filter berdasarkan waktu maupun ID sensor. Sistem juga dilengkapi dengan fitur integrasi blockchain yang mencatat nilai hash dari setiap data sensor ke dalam jaringan blockchain untuk menjamin keaslian dan integritas data. Selanjutnya, aplikasi Web3 DApp dikembangkan sebagai antarmuka untuk memverifikasi status validitas data melalui proses perbandingan hash secara otomatis.

Dengan adanya sistem ini, proses fermentasi biji kakao dapat dipantau secara kontinu dan akurat, sehingga mendukung peningkatan efisiensi proses, pengendalian kualitas fermentasi, serta memberikan landasan penerapan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dan blockchain dalam sektor pertanian, khususnya pada pengolahan pascapanen kakao.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, disarankan agar sistem monitoring ini ditingkatkan menjadi sistem otomatis tertutup, dengan menambahkan perangkat aktuator seperti pemanas, kipas, atau humidifier yang dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan data suhu dan kelembapan yang terpantau. Hal ini akan memungkinkan sistem tidak hanya berfungsi sebagai pemantau, tetapi juga sebagai pengendali kondisi lingkungan fermentor secara adaptif.

Selain itu, pengujian sistem perlu dilakukan dalam lingkungan operasional skala besar dengan waktu fermentasi yang lebih panjang, agar dapat dievaluasi performa dan kestabilannya dalam kondisi lapangan yang sesungguhnya. Penggunaan sensor tambahan seperti sensor pH, serta pengembangan model kecerdasan buatan (Artificial Neural Network) juga dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari pengayaan sistem untuk mendeteksi kualitas fermentasi secara lebih komprehensif.

Dari sisi keamanan dan aksesibilitas, pengembangan sistem dapat diperluas dengan pemanfaatan jaringan blockchain publik atau hybrid, serta peningkatan aplikasi Web3 DApp menjadi aplikasi multiplatform yang dapat diakses melalui perangkat mobile. Hal ini bertujuan agar sistem dapat diterapkan secara lebih luas dan inklusif oleh petani maupun pelaku industri kakao, serta mendukung sistem pelacakan mutu dan transparansi data dalam rantai pasok secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Borawake, Prof. Dr. M. P. (2022). Audio Signal Processing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(6), 1495–1496. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.44063>
- De Valencia, A. C., Caballero, L., Cilli, Á., González, J., Rojas, I., & Torres, B. (2023). Development of a Noise Monitoring and Control Sensor Network System for the Enclosed Spaces Within a University Environment. *2023 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM59467.2023.10361858>
- Deshpande, O., Solanki, K., Suribhatla, S. P., Zaveri, S., & Ghodasara, L. (2021). *Simulating the DFT Algorithm for Audio Processing* (No. arXiv:2105.02820). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.02820>
- Janeera., D. A., Poovizhi., H., Sheik Haseena., S. S., & Nivetha., S. (2021). Smart Embedded Framework using Arduino and IoT for Real-Time Noise and Air Pollution Monitoring and Alert system. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, 1416–1420. <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9396041>
- McKenzie, T., Schlecht, S. J., & Pulkki, V. (2021). Acoustic Analysis and Dataset of Transitions Between Coupled Rooms. *ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 481–485. <https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9415122>
- Pacelli, C., Kinkini, T., Geeganage, D. S. P. H., Spitale, M., Beccaluva, E., & Garzotto, F. (2022). “How Would You Communicate With a Robot?”: People with Neurodevelopmental Disorder’s Perspective. *2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 968–972. <https://doi.org/10.1109/HRI53351.2022.9889360>
- Poularikas, A. D. (1998). *The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing*.
- Purwins, H., Li, B., Virtanen, T., Schlüter, J., Chang, S., & Sainath, T. (2019). Deep Learning for Audio Signal Processing. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13(2), 206–219. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2908700>
- Siamwala, A., Lochhead, Z., & Abdulla, W. (2019). Environmental Noise Monitoring Using Distributed IoT Sensor Nodes. *2019 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, 1–10. <https://doi.org/10.23919/ELINFOCOM.2019.8706473>
- Singh, Y. P., Chaudhary, D., Gupta, A., Wajid, M., & Usman, M. (2023). Environmental Acoustic Noise Extraction and Classification using Deep Learning. *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10307564>
- Thyagarajan, K. S., & Thyagarajan, K. S. (2019). Discrete Fourier Transform. Introduction to Digital Signal Processing Using MATLAB with Application to Digital Communications, 151-188.
- Tsao, Y.-C., Shih, M.-C., Kuo, H.-J., Fang, J.-K., & Tsai, Y.-T. (2023). Application of Environmental Noise Monitoring System Integrated with Visual Recognition Technology. *2023 IEEE 5th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE)*, 149–153. <https://doi.org/10.1109/ECICE59523.2023.10383141>
- Wiater, J., & Gładyszewska-Fiedoruk, K. (2024). Analysis of Noise in Education Buildings.

- Journal of Ecological Engineering*, 25(2), 176–181.
<https://doi.org/10.12911/22998993/176142>
- Yao, S.-N., & Liang, C. (2023). Audio Augmented Reality in Smart Learning Environments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(2), 178–190.
<https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3250268>
- Yu, L., Lin, Y., Xu, H., Yang, J., & Zhao, G. (2024). Research on the design of indoor air quality monitoring system based on cloud-side-end collaboration. *2024 5th International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)*, 1572–1577.
<https://doi.org/10.1109/ICCEA62105.2024.10603493>

LAMPIRAN

Codingan Grafana:

```
from(bucket: "Fermentasifinal")
  |> range(start: v.timeRangeStart, stop: v.timeRangeStop)
  |> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "monitoring")
  |> filter(fn: (r) => r["_field"] == "humidity" or r["_field"] == "temperature")
  |> filter(fn: (r) => r["location"] == "Gudang Fermentasi 1")
  |> filter(fn: (r) => r["sensor_id"] == "SHT20-PascaPanen-001")
  |> filter(fn: (r) => r["stage"] == "Fermentasi")
  |> aggregateWindow(every: v.windowPeriod, fn: mean, createEmpty: false)
  |> yield(name: "mean")
```