

SISTEM MONITORING TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN PADA PROSES FERMENTASI KEDELAI UNTUK OPTIMASI KUALITAS TEMPE DAN ONCOM HITAM

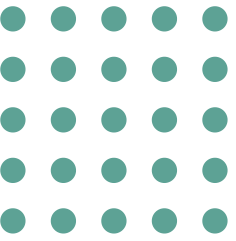
TEKNIK INSTRUMENTASI

2025

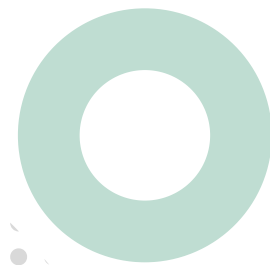
Latar Belakang

Kedelai merupakan komoditas penting di Indonesia yang banyak diolah menjadi produk fermentasi seperti tempe dan oncom hitam. Tempe dikenal luas karena kandungan gizi tinggi, sementara oncom hitam memiliki nilai fungsional dan memanfaatkan limbah pertanian. Proses fermentasi kedua produk ini sangat bergantung pada kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembapan, yang memengaruhi aktivitas kapang *Rhizopus sp*. Di tingkat UMKM, proses fermentasi masih banyak dilakukan secara manual, sehingga rentan terhadap fluktuasi lingkungan yang dapat menurunkan kualitas dan konsistensi produk. Sebagai solusi, teknologi sistem monitoring berbasis sensor dapat diterapkan untuk memantau suhu dan kelembapan secara real-time. Pendekatan ini membantu menjaga kondisi fermentasi tetap optimal, meningkatkan efisiensi, dan menstandarkan kualitas produk. Oleh karena itu, pengembangan sistem monitoring suhu dan kelembapan untuk fermentasi kedelai menjadi penting dalam upaya meningkatkan mutu tempe dan oncom hitam secara berkelanjutan.

Rumusan Masalah



01. Bagaimana menciptakan kondisi suhu dan kelembapan yang optimal dan stabil selama proses fermentasi tempe dan oncom hitam agar mendukung pertumbuhan kapang *Rhizopus* sp?
02. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem inkubator fermentasi berbasis sensor SHT dan mikrokontroler yang mampu memantau serta mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis dan real-time?
03. Se jauh mana efektivitas sistem monitoring dan kontrol suhu-kelembapan dalam meningkatkan konsistensi kualitas serta efisiensi waktu fermentasi pada produksi tempe dan oncom hitam?



Tujuan Penelitian

01.

Mengembangkan sistem monitoring dan kontrol otomatis terhadap parameter suhu dan kelembapan selama proses fermentasi tempe dan oncom hitam menggunakan sensor SHT serta mikrokontroler berbasis IoT.

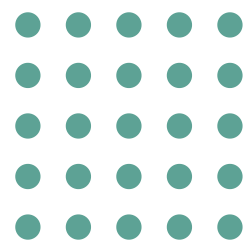


02.

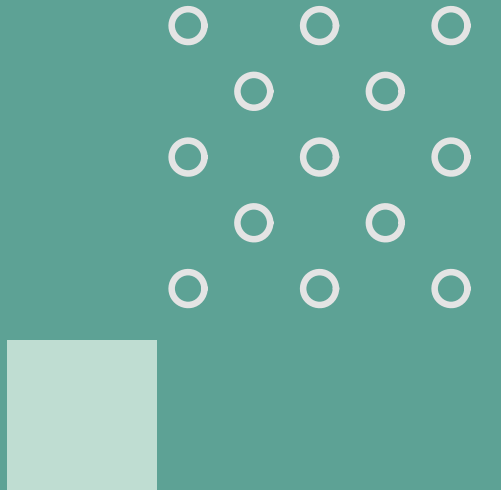
Merancang inkubator fermentasi yang mampu menciptakan lingkungan stabil dan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan kapang *Rhizopus* sp guna menunjang keberhasilan fermentasi.

03.

Meningkatkan efisiensi proses fermentasi melalui penciptaan kondisi lingkungan yang ideal, sehingga dapat mempercepat waktu fermentasi serta menghasilkan tempe dan oncom hitam dengan kualitas yang lebih konsisten dan optimal.

MANFAAT

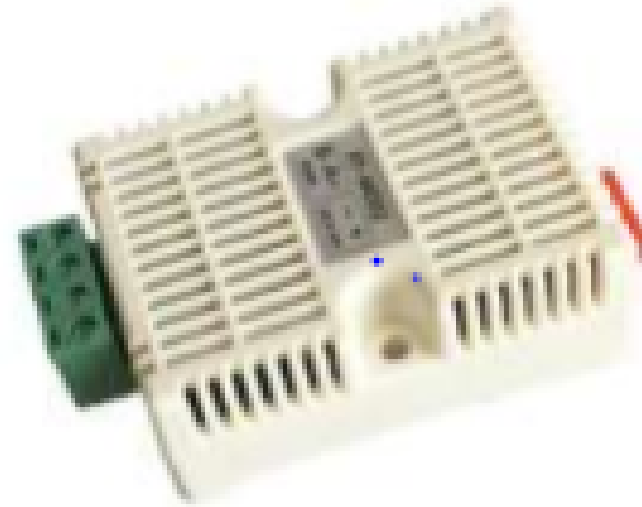
- 
01. Bagi mahasiswa, meningkatkan pemahaman tentang prinsip-prinsip fermentasi kedelai, khususnya tempe dan oncom hitam, serta faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhinya.
 02. Bagi UMKM, membantu menstandarisasi dan meningkatkan konsistensi kualitas produk tempe dan oncom hitam, sehingga lebih kompetitif di pasar lokal maupun nasional.
 03. Bagi masyarakat umum, Menjamin ketersediaan produk tempe dan oncom hitam berkualitas tinggi yang lebih konsisten, higienis, dan bernutrisi bagi konsumen.
- 
- 



TINJAUAN PUSTAKA



Sensor SHT20



Sensor SHT20 adalah **sensor digital generasi keempat** buatan Sensirion yang dirancang untuk **mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi tinggi** serta konsumsi daya yang sangat rendah. Sensor ini menggunakan antarmuka komunikasi I2C dan memiliki rentang pengukuran suhu dari -40°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ serta kelembapan relatif dari 0 hingga 100% RH. Akurasi pengukuran suhu mencapai $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $\pm 1,8\%$ RH, menjadikannya ideal untuk aplikasi di bidang elektronik konsumen, otomasi rumah, dan perangkat IoT. Sensor SHT40 memiliki **empat pin utama** yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam sistem pengukuran suhu dan kelembapan. Pin pertama adalah **GND** yang berfungsi sebagai **ground atau referensi** tegangan sistem. Pin kedua adalah **VDD**, yaitu **pin catu daya yang menerima tegangan input** antara 1,08 hingga 3,6 volt untuk menghidupkan sensor. Pin ketiga adalah **SDA (Serial Data)**, yang digunakan sebagai jalur **komunikasi data dua arah** melalui protokol I2C. Pin keempat adalah **SCL (Serial Clock)**, yang berfungsi sebagai **jalur sinyal clock** untuk sinkronisasi data I2C.

Antar Muka RS-485

Antarmuka RS-485 umumnya digunakan untuk **membantu mikrokontroller** dalam melakukan komunikasi data secara serial. RS-485 menggunakan **dua kabel** untuk **mengirimkan sinyal** data dan tidak memerlukan common ground. Sistem penyaluran data ini sering disebut dengan **system differensial atau balanced**. Salah satu IC yang dapat mengubah dari sinyal berbentuk TTL menjadi sinyal balanced RS-485 (berfungsi sebagai pengirim) adalah SN75176. **IC SN75176** ini juga dapat berfungsi **sebagai penerima atau pengubah sinyal balanced** dari RS485 menjadi **sinyal TTL**. Karena IC SN75176 ini dapat berfungsi sebagai pengirim dan juga penerima, maka IC ini dapat disebut juga sebagai transceiver RS-485. Pada RS-485 terdapat dua buah kaki yang berfungsi sebagai output atau input, kedua kaki ini dinamakan kaki A dan kaki B, dimana kedua kaki ini mempunyai sinyal yang saling berlawanan, artinya beda potensial antara kaki A dan kaki B dapat berubah sesuai dengan datanya. Pada penerimaan sinyal RS-485 bekerja dengan membaca perbedaan beda potensial antara sinyal A dan sinyal B. Jika sinyal A lebih besar minimal 200mV dari sinyal B, maka keluaran penerima akan berlogika tinggi (high), sebaliknya jika sinyal B lebih besar minimal 200mV dari sinyal A maka keluaran pada penerima adalah berlogika rendah. Sedangkan perbedaan tegangan dibawah 200mV akan mengakibatkan keluaran yang tidak terdefinisi, atau diabaikan



TCP (Transmission Control Protocol)

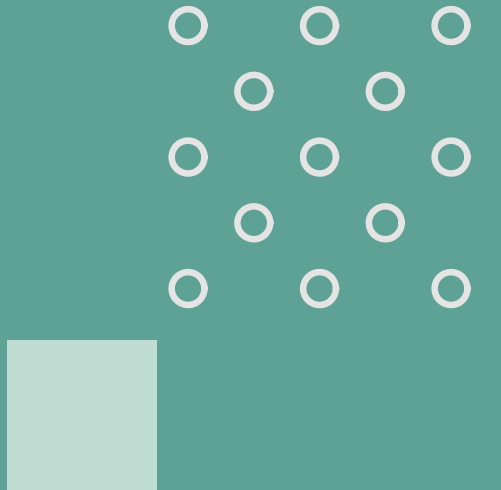
TCP (Transmission Control Protocol) merupakan **protokol jaringan** yang banyak digunakan dalam komunikasi data berbasis internet dan intranet. Dalam proyek ini, TCP Serve digunakan sebagai **antarmuka penerima data dari sensor** yang dibaca oleh **Modbus client**. Rust, sebagai bahasa pemrograman sistem modern, menawarkan performa tinggi dan keamanan memori tanpa garbage collector, **sehingga cocok** digunakan dalam pengembangan **sistem monitoring real-time**. Implementasi TCP Server dalam Rust dilakukan dengan memanfaatkan pustaka jaringan seperti `std::net::TcpListener` atau pustaka eksternal seperti `tokio` untuk keperluan asynchronous dan concurrent connection. Server ini akan menunggu koneksi dari klien (dalam hal ini program Modbus client), **menerima data suhu dan kelembaban**, kemudian meneruskannya ke database untuk disimpan

InfluxDB sebagai Database Time-Series

InfluxDB adalah **basis data time-series** yang dirancang khusus **untuk menangani data** yang bersifat waktu (timestamp-based) seperti suhu, kelembaban, tekanan, dan data IoT lainnya. InfluxDB unggul dalam pencatatan dan kueri data berdasarkan waktu, serta memiliki struktur penyimpanan yang efisien dan query language yang sederhana (InfluxQL atau Flux). Dalam sistem ini, data yang diterima oleh TCP Server akan disimpan ke dalam InfluxDB dengan metadata waktu pencatatan. Penyimpanan ini penting **untuk analisis tren, monitoring historis, serta integrasi dengan sistem visualisasi data real-time**

Visualisasi Real-Time Menggunakan Grafana

Grafana adalah **platform open-source** yang digunakan untuk visualisasi data dalam bentuk **grafik interaktif, tabel, dan alert**. Grafana mendukung berbagai sumber data, termasuk InfluxDB, dan dapat diakses melalui antarmuka web. Dalam proyek ini, Grafana digunakan untuk menampilkan data suhu dan kelembaban dari gudang fermentasi secara real-time.



METODE



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

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 **memparsing** 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.

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

Dashboard Grafana

Tahap akhir adalah **menampilkan data** dalam bentuk visual menggunakan Grafana. Grafana dihubungkan ke InfluxDB untuk menampilkan **grafik suhu dan kelembaban secara real-time**. Dashboard menampilkan dua grafik utama: suhu terhadap waktu dan kelembaban terhadap waktu, sehingga petani dapat memantau kondisi fermentasi kopi dengan mudah. Selain grafik, tersedia juga panel statik yang menampilkan nilai terkini serta fitur filter berdasarkan waktu (seperti 1 jam terakhir, hari ini, minggu ini) dan berdasarkan sensor_id untuk membedakan lokasi atau alat yang digunakan. Grafana juga dapat dikonfigurasi untuk memberikan notifikasi jika suhu atau kelembaban melewati batas tertentu

Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan perancangan sistem pengendali suhu serta kelembaban untuk proses fermentasi tempe, dapat disimpulkan bahwa kestabilan dua parameter tersebut memegang peranan penting dalam menentukan keberhasilan fermentasi dan kualitas produk akhir. Suhu dan kelembaban yang tidak sesuai dapat memperpanjang waktu fermentasi, menurunkan kualitas, bahkan menyebabkan kegagalan produksi tempe. Melalui pemanfaatan sensor DHT dan mikrokontroler, sistem inkubator yang dirancang mampu menciptakan kondisi lingkungan ideal sesuai kebutuhan kapang *Rhizopus spp.*, yaitu suhu antara 25–37 °C dan kelembaban 60–70%. Sistem otomatis ini tidak hanya mempercepat proses fermentasi, tetapi juga meningkatkan efisiensi produksi secara signifikan, khususnya bagi pelaku usaha kecil dan menengah. Dengan demikian, penerapan teknologi ini dapat menjadi solusi inovatif yang mendorong modernisasi dalam industri tempe tradisional di Indonesia

Saran

Agar sistem ini dapat dioptimalkan lebih lanjut, disarankan untuk menambahkan fitur kontrol otomatis suhu dan kelembapan menggunakan aktuator seperti pemanas atau humidifier, sehingga tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga mampu melakukan penyesuaian kondisi secara mandiri. Selain itu, pengembangan sistem berbasis edge computing dapat dipertimbangkan untuk mengurangi latensi dan meningkatkan efisiensi pemrosesan data di lokasi fermentasi. Dari sisi antarmuka pengguna, perlu dilakukan evaluasi usability terhadap tampilan PyQt agar lebih ramah bagi operator non-teknis. Pengujian lebih lanjut dalam skala waktu yang lebih panjang juga penting dilakukan untuk menilai stabilitas sistem dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Terakhir, integrasi dengan sistem peringatan dini berbasis notifikasi (melalui SMS, Telegram, atau email) dapat menambah nilai fungsional dan membantu dalam pengambilan keputusan cepat saat terjadi anomali selama proses fermentasi.



Terima Kasih