

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan pangan melalui fermentasi telah lama diterapkan untuk meningkatkan mutu sensori, daya simpan, dan nilai gizi bahan pangan. Masdarini (2011) menjelaskan bahwa proses tersebut dapat menyebabkan perubahan fisik dan kimia pada bahan pangan yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas serta potensi manfaat kesehatan, sehingga pangan hasil fermentasi maupun pemeraman tidak hanya berfungsi sebagai sumber nutrisi, tetapi juga memiliki nilai fungsional. Salah satu produk pangan hasil proses pemeraman termal yang saat ini banyak dikembangkan adalah bawang hitam. Bawang hitam merupakan salah satu produk olahan dari bawang putih yang dihasilkan melalui proses pemanasan atau pemeraman pada suhu tertentu dalam waktu yang relatif lama tanpa melibatkan aktivitas mikroorganisme. Selama proses pemanasan, terjadi reaksi Maillard yang berperan dalam pembentukan senyawa bioaktif, sehingga aktivitas antioksidan bawang hitam meningkat dibandingkan dengan bahan awal (Novrini, 2022).

Pada tingkat produksi rumah tangga maupun UMKM, proses pembuatan bawang hitam umumnya masih menggunakan alat sederhana, seperti rice warmer atau rice cooker, sebagai ruang penuaan. Pemilihan alat ini didasari oleh faktor biaya yang terjangkau dan kemudahan penggunaannya, dengan kisaran suhu operasi antara 60–70 °C selama kurang lebih 20 hari. Metode tersebut telah menghasilkan bawang hitam, namun sistem kontrol prosesnya masih tergolong sederhana dan sangat bergantung pada keterampilan serta ketelitian operator. Dalam praktik tradisional, stabilitas lingkungan fermentasi sering kali dijaga menggunakan media alami seperti kendil, besek, atau daun pisang yang berfungsi membantu mempertahankan suhu dan kelembapan selama proses berlangsung (Anoraga dkk., 2020). Durasi proses penuaan memiliki pengaruh signifikan terhadap kandungan senyawa bioaktif, seperti fenolik, flavonoid, dan antioksidan, pada bawang hitam, baik jenis multiumbi maupun lanang. Secara umum, perubahan menunjukkan bahwa kandungan komponen bioaktif tersebut meningkat seiring bertambahnya waktu penuaan hingga mencapai titik optimum, sebelum akhirnya

cenderung stabil atau bahkan menurun apabila proses berlangsung terlalu lama (Krisnawan dkk., 2022).

Pembentukan bawang hitam dipengaruhi oleh beberapa kondisi lingkungan, terutama suhu, kelembapan relatif (*relative humidity*) dan lama waktu proses pemanasan. Dalam praktik tradisional, *rice cooker* atau *magicom* digunakan sebagai sumber pemanas tanpa dilengkapi mekanisme khusus untuk mengatur kelembapan. Menurut Hattarina dkk (2025), kondisi tersebut menyebabkan lingkungan fermentasi menjadi kurang stabil, sehingga pada beberapa perlakuan bawang mengalami tekstur yang terlalu keras akibat kondisi yang cenderung kering.

Perkembangan teknologi otomatisasi dan instrumentasi telah membuka peluang yang signifikan untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi proses fermentasi melalui penerapan sistem kontrol otomatis. Dengan adanya sistem kontrol, parameter-parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan waktu proses dapat dipantau dan diatur secara *real time*, sehingga kondisi fermentasi dapat dipertahankan pada rentang optimal. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses, tetapi juga mengurangi potensi kesalahan akibat faktor manusia serta menurunkan ketergantungan pada pengawasan manual yang bersifat kontinu dan subjektif. Penerapan sistem kontrol otomatis juga memungkinkan proses fermentasi berjalan lebih stabil dan terstandardisasi, terutama pada skala produksi yang lebih besar (Ogata, 2010).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji proses fermentasi bawang hitam yang berfokus pada pengendalian dan pemantauan parameter lingkungan, khususnya suhu dan kelembapan. Sukarno dan Solekhan (2025) merancang sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau suhu, kelembapan, dan berat selama proses fermentasi bawang hitam. Sistem tersebut memanfaatkan sensor DHT22, termistor NTC, dan *load cell* yang terhubung ke Arduino dan ESP32, dengan data yang dikirimkan ke *Firestore* untuk pemantauan secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, namun sistem ini masih berfokus pada fungsi monitoring dan belum menerapkan metode kontrol tertutup untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan selama fermentasi.

Pendekatan lain dilakukan oleh Qudsiyah (2025) yang memodifikasi *rice cooker* konvensional menjadi ruang pematangan bawang hitam dengan pengendalian suhu menggunakan termostat digital STC-1000 dan sensor DS18B20. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan sistem kontrol suhu mampu mengurangi fluktuasi temperatur secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional. Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan belum dilengkapi dengan pengendalian kelembapan serta belum terintegrasi dengan teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh, sehingga fleksibilitas dan akurasi pengawasan proses fermentasi masih terbatas.

Afifah dkk (2020), mengembangkan sistem pengontrolan fermentasi bawang putih menjadi bawang hitam berbasis *web* dengan menggunakan sensor DHT21 untuk membaca suhu dan kelembapan. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke *web* menggunakan modul komunikasi nirkabel. Penelitian ini menegaskan pentingnya kestabilan suhu dan kelembapan dalam proses fermentasi, namun sistem kontrol yang digunakan masih sederhana dan belum menerapkan algoritma kontrol cerdas seperti PID untuk mengoptimalkan respons sistem terhadap gangguan lingkungan. Penelitian terbaru oleh Yulianto (2025), mengimplementasikan metode kontrol PID berbasis IoT pada sistem fermentasi bawang hitam menggunakan sensor DHT22 dan *load cell*. Sistem ini mampu menjaga kestabilan suhu fermentasi dan meningkatkan kualitas hasil bawang hitam dibandingkan dengan metode konvensional. Penggunaan sensor suhu dan kelembapan masih mengandalkan DHT22 yang memiliki spesifikasi akurasi dan resolusi lebih rendah dibandingkan dengan sensor generasi terbaru, serta belum mengintegrasikan sensor dengan tingkat presisi dan akurasi yang lebih tinggi seperti SHT31-D.

Sensor SHT31-D menjadi solusi yang relevan untuk meningkatkan sistem fermentasi bawang hitam. Penelitian yang dilakukan oleh Aulia dan Wagya (2024) menunjukkan bahwa sensor SHT31-D memiliki performa paling unggul dibandingkan dengan DHT22 dan HTU21D, dengan tingkat kesalahan pengukuran terendah (2,09-4,92%), stabilitas yang tinggi, dan standar deviasi yang rendah, baik pada kondisi lingkungan terbuka maupun tertutup.

Berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek monitoring atau kontrol suhu secara sederhana, dengan keterbatasan pada akurasi sensor, kestabilan sistem kontrol, serta integrasi IoT yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem fermentasi bawang hitam yang mampu mengendalikan suhu dan kelembapan secara presisi menggunakan metode kontrol PID, didukung oleh sensor SHT31-D yang memiliki akurasi tinggi, serta ultrasonik *mist maker* yang digunakan untuk menjaga kelembapan relatif pada ruang fermentasi yang terintegrasi dengan *platform* IoT untuk pemantauan dan pengendalian secara *real time*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan konsistensi proses fermentasi serta kualitas bawang hitam yang dihasilkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan guna mencapai tujuan berikut:

1. Merancang dan mengembangkan alat fermentasi bawang hitam dengan menggunakan sistem kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) serta mempertahankan kelembapan ideal menggunakan ultrasonik *mist maker*.
2. Mengintegrasikan sensor *Load cell* untuk memantau perubahan massa bawang putih selama proses fermentasi secara *real time* sebagai indikator pendukung dalam evaluasi proses fermentasi
3. Mengintegrasikan alat dengan sistem *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi Blynk untuk memantau parameter jarak jauh dan mengirim notifikasi otomatis.
4. Menganalisis perbandingan tingkat efisiensi waktu pematangan bawang hitam pada alat rancang bangun ini dengan metode konvensional yang menggunakan *rice cooker*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat dalam pengembangan alat fermentasi bawang hitam yang lebih otomatis, stabil, dan efisien melalui penerapan sistem kontrol suhu dan kelembapan berbasis PID yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT). Dengan adanya sistem yang dirancang, kualitas bawang hitam dapat

dijaga agar tetap stabil pada setiap hasil produksi, sehingga hasil yang didapatkan lebih konsisten.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang diterapkan pada penelitian ini mencakup hal-hal berikut:

1. Sistem ini berupa *prototype* dengan ukuran (40 x 35 x 20)cm.
2. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor SHT31-D untuk mengukur suhu dan kelembapan.
3. Aktuator yang digunakan pada penelitian ini adalah tubular *heater* sebagai pemanas dan ultrasonik *mist maker* sebagai pengendali kelembapan.
4. Implementasi algoritma kontrol PID untuk menjaga suhu dan kelembapan sesuai *setpoint*
5. Penelitian tidak membahas reaksi kimia detail dalam proses fermentasi bawang hitam, tetapi fokus pada sistem kendali alat.

