

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu produsen kopi terbesar dunia, dengan kopi arabika sebagai salah satu komoditas unggulan yang diminati pasar domestik dan internasional. Kopi Arabika dikenal karena karakteristik rasanya yang lembut, tingkat keasaman yang seimbang, serta aroma yang khas. Karakteristik kopi arabika sangat dipengaruhi oleh perlakuan proses pascapanen yang sangat teliti, terutama dalam tahap fermentasi [1]. Dalam proses pasca panen, selain proses yang umum yaitu natural dan *fullwash*, fermentasi anaerob menjadi metode yang semakin populer karena menghasilkan cita rasa "*funky*" dengan keasaman tinggi dan kompleksitas rasa khas. Namun, praktik fermentasi anaerob di Indonesia masih banyak dilakukan secara tradisional tanpa pengawasan suhu dan pH yang akurat, sehingga sering terjadi inkonsistensi mutu, pertumbuhan mikroba tidak diinginkan, hingga kegagalan fermentasi [2].

Tahap fermentasi dalam proses pascapanen kopi berperan dalam menghilangkan lendir (*mucilage*) yang melapisi biji kopi serta mempengaruhi aktivitas mikroorganisme yang bertanggung jawab terhadap pembentukan senyawa volatil penting dalam aroma dan rasa kopi. Fermentasi yang tidak terkontrol dapat menimbulkan dampak negatif seperti overfermentasi, pertumbuhan mikroba patogen, dan kerusakan sensori yang fatal pada kopi [3]. Keterbatasan metode monitoring tradisional menyebabkan sulitnya menjaga kestabilan fermentasi dan berdampak pada menurunnya kualitas serta produktivitas kopi. Pengawasan yang bergantung pada pengalaman dan pengamatan langsung yang sangat rentan terhadap kesalahan manusia dan tidak mampu memberikan data secara *real time* yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan cepat dalam proses fermentasi. Berbagai solusi konvensional yang diterapkan belum mampu mengatasi masalah efektivitas dan akurasi. Kemajuan teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah menghadirkan peluang besar untuk mengatasi permasalahan klasik dalam sektor pertanian, salah satunya melalui integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI). Penggunaan teknologi IoT menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan metode tradisional. Monitoring suhu dan pH dapat

dilakukan secara *real time* dan otomatis, mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual dan risiko *human error*. Data yang diperoleh lebih akurat, dapat dianalisis lebih lanjut, dan memberikan peluang untuk mengambil keputusan lebih cepat dalam proses fermentasi. Selain itu, IoT memungkinkan pengawasan jarak jauh melalui aplikasi *smartphone*, sehingga menghemat waktu dan tenaga [4]. Apabila sistem IoT dipadukan dengan algoritma AI, maka data yang diperoleh dapat diproses untuk menghasilkan model prediktif guna menentukan waktu optimal fermentasi secara akurat.

Penelitian ini mengembangkan alat monitoring fermentasi berbasis IoT dan AI menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502C, sensor kelembaban DHT22, LCD 20x4, *Solenoid valve*, *Buzzer* dan aplikasi *Blynk*. Sistem ini tidak hanya mampu menampilkan data secara *real time*, sistem ini juga menerapkan bentuk *Artificial Intelligence* (AI) sederhana berbasis logika keputusan (*decision rule*) yang mengatur aktuator, khususnya *solenoid valve*, berdasarkan data sensor pH dan suhu secara otomatis. AI berfungsi sebagai fitur kontrol otomatis seperti penambahan oksigen ke dalam tong fermentasi menggunakan *solenoid valve* ketika parameter pH mencapai batas yang telah ditentukan untuk mencegah terjadinya overfermen. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti pentingnya pengendalian pH dan suhu secara *real time* dalam fermentasi kopi, karena kedua parameter ini sangat memengaruhi metabolisme mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi dan kualitas hasil akhir kopi. Pengembangan sistem monitoring *real time* dengan sensor yang akurat dan penggunaan *platform* digital untuk pengolahan data fermentasi menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas kopi Arabika di Indonesia. Inovasi ini diharapkan menjadi solusi praktis yang mampu meningkatkan efisiensi proses produksi, menjaga konsistensi mutu rasa kopi, serta mendukung modernisasi industri kopi nasional menuju daya saing kopi *specialty* Indonesia di pasar global [5].

Dengan menggabungkan teknologi IoT dan AI, sistem tidak hanya mampu melakukan pemantauan secara *real time*, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengambilan keputusan selama proses fermentasi. Hal ini diharapkan dapat menghasilkan produk kopi dengan kualitas yang lebih konsisten dan unggul, sekaligus mendukung upaya modernisasi serta peningkatan daya saing

kopi Arabika Indonesia di pasar pasca panen global. Oleh karena itu, judul penelitian ini adalah "Implementasi Sistem Monitoring Berbasis IoT dan AI untuk Optimasi Proses Fermentasi Kopi Arabika dalam Meningkatkan Kualitas Produksi Pasca Panen," yang mencerminkan fokus pada inovasi teknologi sebagai solusi peningkatan mutu dan produktivitas kopi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dirumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan dan implementasi sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam memantau parameter suhu, pH, dan kelembaban selama proses fermentasi kopi arabika berlangsung?
2. Bagaimana sistem mampu menjalankan fungsi visualisasi data serta memberikan peringatan dan kontrol otomatis berdasarkan perubahan parameter lingkungan dalam proses fermentasi?
3. Bagaimana pengaruh penerapan sistem monitoring berbasis IoT dan AI sederhana terhadap mutu dan konsistensi karakteristik sensorik hasil akhir fermentasi kopi arabika?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan alat monitoring fermentasi kopi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau parameter suhu dan pH secara *real time* untuk mendukung proses fermentasi anaerob kopi.
2. Mengembangkan mekanisme pembukaan otomatis pada tong fermentasi yang dikendalikan berdasarkan perubahan suhu dan pH, guna menjaga stabilitas proses fermentasi dan mencegah kegagalan fermentasi.
3. Menganalisis efektivitas alat monitoring berbasis IoT dibandingkan dengan metode fermentasi tradisional dalam meningkatkan konsistensi cita rasa dan kualitas kopi *specialty*.

4. Meningkatkan efisiensi waktu dan kemudahan operasional dalam proses fermentasi kopi melalui sistem monitoring otomatis yang dapat diakses secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis *smartphone*.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Petani dan Pengolah Kopi
Memberikan solusi praktis untuk memantau dan mengendalikan proses fermentasi kopi secara lebih efisien, akurat, dan konsisten, sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil fermentasi.
2. Bagi Industri Kopi *Specialty*
Mendukung peningkatan standar produksi kopi *specialty* dengan sistem kontrol fermentasi yang lebih modern dan terpercaya, sehingga memperluas peluang pasar ekspor dan meningkatkan daya saing global.
3. Bagi Dunia Akademik dan Peneliti
Memberikan referensi baru tentang penerapan teknologi IoT dalam bidang pascapanen kopi, khususnya pada fermentasi anaerob, yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian serupa atau lanjutan.
4. Bagi Efisiensi Produksi
Mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual, mempercepat deteksi kegagalan fermentasi, serta meningkatkan produktivitas tenaga kerja di sektor pertanian kopi.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan ruang lingkup dan fokus penelitian, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter fermentasi yang dimonitor terbatas pada suhu, kelembaban, dan pH, tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti kadar gula, tekanan gas, atau populasi mikroba.
2. Alat monitoring yang dikembangkan hanya berlaku untuk tabung atau tong fermentasi berkapasitas maksimal 50 liter, dengan asumsi fermentasi dilakukan pada suhu ruang normal (20°C–35°C).

3. Sistem monitoring menggunakan konektivitas *WiFi* lokal, sehingga alat hanya dapat diakses secara jarak jauh selama tersedia jaringan internet yang stabil.
4. Mekanisme pembukaan *solenoid valve* otomatis pada tong fermentasi hanya dirancang untuk respon terhadap nilai ambang pH yang telah ditentukan, tanpa fitur otomatisasi lanjutan seperti pengaturan suhu aktif atau injeksi gas.
5. Fermentasi yang diamati adalah fermentasi terkontrol dengan kondisi anaerob alami, tanpa penggunaan starter kultur mikroba tambahan.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa pendekatan, yaitu studi literatur, perancangan alat, implementasi sistem, dan pengujian empirik. Adapun tahapan metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar fermentasi kopi, fermentasi anaerob, arameter-parameter penting yang memengaruhi kualitas fermentasi seperti suhu dan pH, serta teknologi IoT dan AI yang relevan untuk monitoring dan kontrol proses fermentasi. Studi ini juga mencakup analisis kebutuhan sistem yang akan dikembangkan, termasuk spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta fitur yang diperlukan untuk mendukung pengawasan dan pengendalian fermentasi secara otomatis. Literatur diambil dari jurnal internasional, laporan penelitian terdahulu, artikel ilmiah, dan referensi teknis terkait komponen elektronik seperti NodeMCU ESP8266, sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan aplikasi *Blynk*.

2. Perancangan Sistem Monitoring

Perancangan sistem monitoring fermentasi berbasis IoT ini meliputi pemilihan sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502C, sensor kelembaban DHT22 sebagai alat pengukur parameter fermentasi secara *real time*. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dipilih sebagai pusat kendali yang menghubungkan sensor dengan aplikasi *mobile* berbasis *platform Blynk*, yang berfungsi menampilkan data secara *real time* dan memungkinkan

pengawasan jarak jauh. Pada pengembangan ini sistem dilengkapi dengan *solenoid valve* untuk mengatur aliran oksigen yang masuk ke dalam tong fermentasi secara otomatis, *buzzer* sebagai alarm peringatan ketika parameter fermentasi melewati batas yang telah ditentukan, serta LCD 20x4 yang berfungsi menampilkan informasi parameter fermentasi secara langsung pada alat. Serta perancangan perangkat lunak (*software*) menggunakan Arduino IDE untuk memprogram pengambilan data sensor, pengiriman data ke aplikasi *Blynk*, serta proses peringatan dan kendali otomatis.

3. Implementasi dan Integrasi

Sistem yang telah dirancang kemudian dirakit dan diintegrasikan. Implementasi sistem dilakukan dengan merakit perangkat keras sesuai rancangan dan memprogram mikrokontroler agar dapat membaca data sensor, mengirimkan data secara *real time* ke aplikasi *Blynk*, serta mengendalikan *solenoid valve* dan *buzzer* berdasarkan kondisi parameter fermentasi. Sistem diuji secara fungsional untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai dengan spesifikasi dan dapat beroperasi secara sinkron.

4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem meliputi validasi akurasi pengukuran suhu dan pH dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur standar, pengamatan kestabilan dan konsistensi parameter fermentasi selama proses berlangsung, serta evaluasi efektivitas pengendalian otomatis. Sistem monitoring mencatat perubahan kondisi fermentasi dalam rentang waktu tertentu, untuk mengamati kestabilan alat dan efektivitas dalam mendeteksi perubahan parameter fermentasi.

5. Analisis Data

Data hasil pengukuran suhu dan pH dianalisis untuk menilai performa alat dalam memonitor fermentasi. Dibandingkan pula hasil fermentasi menggunakan alat IoT ini dengan fermentasi tradisional (tanpa monitoring otomatis), dari segi konsistensi suhu, kestabilan pH, dan kualitas cita rasa kopi akhir.

6. Evaluasi dan Penyusunan Laporan

Hasil dari implementasi alat dan analisis data dievaluasi untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan alat yang telah dibuat. Selanjutnya, semua hasil penelitian didokumentasikan ke dalam laporan tugas akhir.

1.6 Jadwal Pelaksanaan

Tabel 1. 1 Jadwal Pelaksanaan

Kegiatan	Minggu ke -																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Studi Literatur																				
Desain Sistem																				
Pemilihan dan Pengadaan Komponen																				
Perakitan Alat dan Implementasi																				
Pengujian Alat dan Pengumpulan Data																				
Analisis Data dan Evaluasi Sistem																				
Penyusunan Laporan Akhir																				