

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kombucha merupakan minuman fermentasi tradisional yang berasal dari Tiongkok sekitar 220 SM dan telah dikenal luas karena khasiatnya bagi kesehatan. Minuman ini dibuat dengan cara memfermentasi teh manis menggunakan kultur mikroorganisme simbiotik yang dikenal sebagai SCOBY (*Symbiotic Colony of Bacteria and Yeasts*) (Viera dkk., 2023). SCOBY terdiri dari koloni ragi dan bakteri asam asetat yang bekerja secara sinergis dalam mengubah gula menjadi senyawa bioaktif seperti asam asetat, asam glukuronat, vitamin, dan sejumlah komponen volatil. Proses fermentasi kombucha biasanya berlangsung selama 7 hingga 14 hari. Pada tahap awal, ragi menghasilkan etanol melalui proses fermentasi alkohol. Kemudian, bakteri mengubah etanol tersebut menjadi asam asetat dan senyawa lain yang memberikan cita rasa asam khas pada kombucha. Kandungan utama dalam kombucha meliputi vitamin (C, B1, B2, B6, dan B12), asam amino, antioksidan, asam organik (terutama asam asetat dan glukuronat), serta senyawa hasil fermentasi seperti etanol dan karbon dioksida (Fraiz dkk., 2024). Kombucha dipercaya memiliki berbagai manfaat kesehatan, di antaranya mendukung kesehatan pencernaan, meningkatkan sistem imun, dan membantu proses detoksifikasi tubuh. Komposisi kandungan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, sehingga pengaturan lingkungan fermentasi menjadi aspek yang sangat penting dalam menjaga kualitas dan keamanan produk.

Fermentasi kombucha yang optimal sangat dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti suhu, pH, dan kadar alkohol (Grassi dkk., 2022). Suhu ideal untuk fermentasi berkisar antara 22°C hingga 30°C, karena suhu di bawah 22°C dapat memperlambat aktivitas mikroba, sedangkan suhu di atas 30°C dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme yang tidak diinginkan atau bahkan membunuh kultur SCOBY (Soto dkk., 2018). Sementara itu, pH kombucha yang aman dan stabil berada dalam kisaran 2,5 hingga 3,5. Nilai pH ini penting untuk mencegah pertumbuhan mikroba patogen, serta menjaga rasa dan keamanan produk (Nyhan dkk., 2022). Selain itu, kadar alkohol juga menjadi perhatian

utama karena kombucha secara alami menghasilkan etanol selama proses fermentasi.

Sesuai dengan Fatwa Majelis Ulama Indonesia (MUI) Nomor 10 Tahun 2018, produk minuman fermentasi yang memiliki kadar alkohol lebih dari 0,5% termasuk ke dalam kategori minuman beralkohol dan tidak diperbolehkan untuk dikonsumsi. Batasan ini juga sejalan dengan ketentuan pangan di berbagai negara yang mengategorikan produk fermentasi dengan kandungan alkohol di atas 0,5% ABV (*Alcohol by Volume*) sebagai minuman beralkohol (Riswanto dkk., 2021). Permasalahan ini sering terjadi, terutama dalam produksi kombucha skala kecil atau rumahan, yang masih menggunakan metode fermentasi manual tanpa sistem pengawasan dan pengendalian otomatis. Jika suhu ruang fermentasi tidak dijaga dengan baik, kadar etanol dapat meningkat secara signifikan dan melewati ambang batas yang diizinkan, yang tidak hanya melanggar regulasi halal, tetapi juga menurunkan kualitas dan konsistensi produk.

Pemantauan proses fermentasi secara manual membutuhkan waktu, perhatian, dan keterlibatan manusia secara terus-menerus, yang tidak hanya kurang efisien, tetapi juga rentan terhadap kesalahan dalam pencatatan dan interpretasi. Perubahan kondisi lingkungan yang dinamis, seperti fluktuasi suhu atau kelembapan, dapat memengaruhi laju fermentasi dan komposisi kimia kombucha, termasuk kadar alkohol dan pH (Jang dkk., 2021). Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian secara otomatis serta adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan penerapan pendekatan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem fermentasi. Dengan memanfaatkan IoT, proses fermentasi kombucha dapat dipantau secara *real-time* dan jarak jauh. Sistem IoT mampu mengukur dan mencatat parameter penting seperti suhu, pH, kelembapan, dan kadar alkohol secara periodik dan terintegrasi (Nwulu dan Adebo, 2023). Namun demikian, sistem pemantauan saja belum cukup. Agar fermentasi berjalan optimal, dibutuhkan sistem yang tidak hanya memantau, tetapi juga mampu mengendalikan kondisi fermentasi secara otomatis berdasarkan parameter yang terdeteksi.

Dalam konteks pengendalian suhu, metode kontrol konvensional seperti *ON/OFF* dan PID memiliki keterbatasan. Metode *ON/OFF* bekerja secara biner dan cenderung tidak responsif terhadap perubahan suhu yang halus, sementara kontrol PID membutuhkan model matematis sistem yang akurat dan sulit diterapkan pada proses biologis seperti fermentasi, yang bersifat kompleks, nonlinier, dan penuh ketidakpastian. Untuk mengatasi hal tersebut, logika fuzzy menjadi pendekatan yang tepat. Logika fuzzy tidak memerlukan model matematis yang presisi, melainkan menggunakan aturan linguistik seperti "jika suhu panas dan error kecil, maka kipas sedang", yang menyerupai cara berpikir manusia (Davvaz dkk., 2021). Keunggulan logika fuzzy terletak pada kemampuannya dalam menangani data sensor yang tidak pasti, perubahan kondisi lingkungan yang dinamis, dan menghasilkan *output* pengendalian yang halus dan adaptif.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan fermentasi kombucha, namun masih memiliki berbagai keterbatasan. Matar (2022) merancang alat pemantauan proses fermentasi kombucha menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH pH-4502c, sensor TDS CQRSENTDS01, dan sensor kekeruhan SEN0189 untuk memantau kondisi fermentasi serta menganalisis data secara *real-time*. Namun, alat tersebut memiliki keterbatasan karena tidak dapat memantau kadar alkohol yang berada pada kombucha saat fermentasi dan hanya mampu memantau proses fermentasi tanpa dilengkapi fitur pengendalian suhu, yang merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas dan konsistensi produk kombucha.

Albertini dkk. (2022) berhasil merancang alat untuk memantau proses fermentasi kombucha berbasis mikrokontroler Arduino yang dilengkapi dengan sensor pH-4502c dan sensor MQ-3. Alat ini dapat memantau parameter penting seperti pH dan kadar gas alkohol pada kombucha selama proses fermentasi berlangsung. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu tidak memiliki sistem deteksi dan pengendalian suhu, sebagai variabel penting dalam proses fermentasi kombucha.

Surya dkk. (2024) telah mengembangkan sebuah sistem untuk memonitor dan mengontrol proses fermentasi pada makanan dan minuman fermentasi. Sistem

ini menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu serta elemen Peltier untuk mengatur suhu di dalam kotak fermentasi. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Sistem tersebut belum dilengkapi dengan kemampuan untuk memantau kadar alkohol dan pH selama proses fermentasi. Selain itu, hasil deteksi dari sistem ini hanya ditampilkan pada layar LCD, sehingga tidak memungkinkan pemantauan jarak jauh atau penyimpanan data secara *real-time*. Keterbatasan-keterbatasan ini menunjukkan bahwa belum ada sistem yang mampu mengintegrasikan pemantauan suhu, pH, dan kadar alkohol, sekaligus melakukan pengendalian suhu otomatis dengan dukungan IoT dan fuzzy logic secara menyeluruh.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan dan pengendalian otomatis proses fermentasi kombucha yang mengintegrasikan teknologi IoT dan logika fuzzy. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan dilengkapi dengan sensor DS18B20 untuk suhu, sensor pH E4502c, dan sensor alkohol MQ-3. Sistem ini mampu membaca parameter secara *realtime*, mengirimkan data ke LCD serta aplikasi *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh, dan mencatat hasil fermentasi ke dalam *Google Cloud*. Proses pengendalian suhu dilakukan secara otomatis berdasarkan evaluasi fuzzy terhadap suhu dan error, untuk menghasilkan sinyal PWM sebagai kendali elemen pemanas dan kipas DC. Dengan pendekatan ini, diharapkan proses fermentasi kombucha dapat berjalan secara lebih efisien, adaptif terhadap perubahan lingkungan, serta menghasilkan produk akhir yang aman, konsisten, dan sesuai dengan standar kualitas dan kehalalan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan alat yang dapat memantau dan mengendalikan proses fermentasi kombucha berbasis mikrokontroler ESP32 yang mampu memantau suhu, pH, dan kadar alkohol secara *real-time*, serta mengendalikan suhu secara otomatis menggunakan logika fuzzy untuk menjaga proses fermentasi agar tetap berada dalam kondisi optimal dan terintegrasi dengan platform *Internet of Things* (IoT).

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis berupa sistem yang mampu membantu produsen kombucha, khususnya skala kecil dan rumahan, dalam memantau dan mengontrol proses fermentasi secara lebih efisien, akurat, dan adaptif terhadap perubahan lingkungan. Sistem yang dikembangkan juga dapat meningkatkan konsistensi kualitas produk dengan menjaga parameter fermentasi pada nilai yang sesuai standar.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan yaitu sebagai berikut:

1. Sistem diintegrasikan dalam wadah berukuran 38 cm x 25 cm x 35 cm.
2. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-3 untuk mengukur kadar alkohol, sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, dan sensor pH-E4502c digunakan untuk mengukur kadar pH.
3. Elemen Pemanas dan Kipas DC digunakan untuk mengatur suhu pada kotak fermentasi.
4. ESP32 DevKitC V4 digunakan sebagai mikrokontroler dan modul wifi untuk koneksi ke internet.
5. Sistem hanya mengendalikan suhu secara langsung, sedangkan parameter kadar alkohol dan pH hanya dipantau.
6. Data yang ditampilkan meliputi suhu, pH, kadar alkohol, *duty cycle* elemen pemanas, dan *duty cycle* kipas DC. Data ini ditampilkan secara lokal melalui LCD, serta melalui aplikasi *Blynk* dan disimpan ke *Google cloud*.

