

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Ikan merupakan komoditas pangan yang sangat strategis sebagai sumber protein hewani. Namun, ikan juga merupakan makanan yang sangat mudah busuk. Begitu ikan mati, serangkaian proses degradasi biokimia dan mikrobiologis segera dimulai dengan cepat. Oleh karena itu, fasilitas penyimpanan dingin yang tepat untuk mengendalikan rantai dingin sangat penting guna menjaga kualitas dan nilai jual ikan. Saat ini, metode penyimpanan yang digunakan di Indonesia masih bersifat konvensional, yaitu wadah pendingin pasif (kotak pendingin yang diisi es) atau lemari pendingin aktif dengan sistem kontrol on-off berbasis termostat analog. Sistem on-off konvensional ini memiliki masalah mendasar dalam hal pendinginan. Sistem tersebut cenderung menyebabkan fluktuasi suhu ruang penyimpanan yang tajam (tidak stabil) dan mengonsumsi daya listrik dalam jumlah besar saat aktuator dinyalakan kembali. Penurunan kualitas yang disebabkan oleh ketidakstabilan suhu yang tidak dicegah sejak dini dapat berpotensi menimbulkan kerugian finansial bagi nelayan serta risiko kesehatan bagi konsumen akibat berkembang biaknya bakteri pembusuk (Tavares et al., 2021).

Metode penyimpanan yang kurang tepat ini menyebabkan kualitas ikan dapat menurun, meskipun ikan tersebut disimpan dalam lemari pendingin. Tingkat kesegaran harus dipantau secara rutin untuk memastikan kualitas hasil tangkapan. Saat ini, metode penilaian kualitas yang masih digunakan oleh para pedagang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 2729:2013 tentang Ikan Segar. Metode ini sangat bergantung pada uji sensorik atau organoleptik, yang mencakup pengamatan langsung terhadap penampilan, tekstur, dan bau menggunakan indera manusia (Al Fatich et al., 2023).

Salah satu kelemahan utama metode organoleptik ini adalah tingginya tingkat subjektivitas dalam mendefinisikan parameter kualitas. Tanda-tanda fisik seperti kondisi mata (cekung atau menonjol) dan pigmentasi merah pada insang sering kali rentan terhadap bias antar-pengamat serta sangat dipengaruhi oleh

kondisi pencahayaan dan kelelahan visual pemeriksa. Namun, terdapat penanda objektif dari proses biologis pembusukan yang dapat diukur secara kuantitatif. Bau tidak sedap yang terdeteksi oleh hidung manusia merupakan manifestasi nyata dari senyawa kimia yang mudah menguap, salah satunya adalah gas amonia (NH_3) yang dihasilkan oleh aktivitas bakteri pengurai. Konsentrasi gas amonia dan fluktuasi suhu merupakan data objektif, tidak seperti pengamatan visual yang dapat menyesatkan, dan dapat digunakan sebagai tolok ukur yang valid untuk mengevaluasi kesegaran ikan (Storage et al., 2023).

Penilaian kesegaran berdasarkan indra penciuman manusia juga memiliki kelemahan yang sangat mendasar dalam hal penanganan waktu. Jika manusia hanya bisa mencium aroma gas amonia tersebut, berarti ikan tersebut sudah mencapai tahap pembusukan yang sudah lanjut, sehingga upaya untuk menyelamatkan ikan tersebut sudah terlambat. Oleh karena itu, pengawasan kualitas ikan tidak dapat dilakukan secara berkala dan manual, melainkan memerlukan alat pendeteksi yang mampu bekerja secara terus-menerus (real time) sejak ikan pertama kali ditempatkan di ruang penyimpanan (Ramadhan et al., 2025).

Masalah utama sistem penyimpanan konvensional saat ini adalah ketidakmampuan untuk merespons secara adaptif terhadap indikasi pembusukan dini berdasarkan pemantauan objektif. Perangkat pendingin umum hanya beroperasi berdasarkan pengaturan suhu yang kaku, tanpa memperhitungkan biokimia objek yang disimpan di dalamnya. Dalam kasus pendinginan konvensional, tidak ada tindakan pencegahan yang diambil dan tidak ada sistem peringatan dini ketika terjadi fluktuasi suhu pada malam hari yang memicu pelepasan gas amonia dalam skala kecil (fase awal degradasi). Kondisi ini mengakibatkan proses autolisis dan pembusukan terus berlanjut tanpa disadari, hingga kualitas hasil tangkapan akhirnya benar-benar hancur (Protopappas & Bechtsis, 2025).

Sebenarnya, gagasan untuk mengembangkan alat pendeteksi kesegaran ikan dan otomatisasi sistem jarak jauh bukanlah hal baru dalam dunia penelitian. Studi-studi sebelumnya telah berupaya mengatasi masalah ini dengan menerapkan teknologi penglihatan komputer atau sensor gas portabel untuk mengklasifikasikan tingkat kesegaran ikan. Namun, teknik yang digunakan dalam penelitian-penelitian

sebelumnya tersebut menciptakan celah dalam penelitian karena perangkat yang digunakan sebagian besar bersifat pasif dan hanya dapat memantau serta memberi label pada makanan tanpa intervensi kontrol fisik untuk menghentikan pembusukan lebih lanjut. Di sisi lain, teknologi pemantauan dan kontrol jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT) telah terbukti berhasil dan akurat di beberapa sektor kritis, seperti arsitektur sistem kontrol meteran perumahan jarak jauh (e-billing) (Khan et al., 2024). Ketangguhan transmisi data nirkabel dan arsitektur kontrol dari penelitian ini dapat diadaptasi ke sektor perikanan pasca panen, sehingga memberikan peluang besar untuk mengembangkan sistem loop tertutup yang komprehensif. Alih-alih hanya membaca suhu dan tingkat gas amonia secara pasif, sistem ini akan menggunakan data tersebut sebagai variabel masukan cerdas yang merespons kondisi komoditas secara real-time.

Untuk mengatasi kelemahan sistem penyimpanan non-adaptif, kita memerlukan solusi teknologi cerdas yang didasarkan pada fusi sensor yang dipadukan dengan sistem kendali yang efisien secara komputasi. Dalam penelitian ini, solusi tersebut diusulkan dengan menggabungkan sensor suhu DS18B20 dan sensor gas MQ-135 (detektor amonia), serta data diproses menggunakan metode Tsukamoto dalam Logika Fuzzy. Berbeda dengan sistem on-off tradisional, Logika Fuzzy menggunakan data suhu dan gas secara bersamaan untuk mengambil keputusan adaptif dan mengirimkannya sebagai sinyal digital (HIGH/LOW). Sinyal-sinyal ini memberi tahu Modul Relai cara mengatur suplai tegangan ke aktuator pendingin termoelektrik (Peltier) dengan tepat. Parameter kontrol utamanya adalah suhu, tetapi jika sensor MQ-135 mendeteksi lonjakan amonia (tahap awal pembusukan), algoritma Logika Fuzzy akan secara cerdas mengesampingkan parameter suhu dan segera mengatur relai ke status aktif (ON). Respons agresif ini akan memaksimalkan kapasitas pendinginan Peltier untuk dengan cepat menekan laju pertumbuhan bakteri (Utomo et al., 2023).

Berdasarkan pembahasan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah prototipe yang diberi nama “Pengembangan Sistem Pengatur Suhu Menggunakan Logika Fuzzy untuk Fasilitas Penyimpanan Ikan guna Menjaga Keseharian Ikan”. Sistem ini diharapkan lebih efisien dalam menstabilkan suhu ideal (15°C – 20°C) dibandingkan dengan metode tradisional serta

memberikan klasifikasi kesegaran yang objektif. Selain itu, prototipe ini akan dilengkapi dengan perangkat Mobile WiFi (MiFi) untuk memungkinkan transmisi data Internet of Things (IoT). Hal ini akan memungkinkan penyediaan fitur Sistem Peringatan Dini bagi pengguna untuk memantau kondisi ikan dari jarak jauh melalui antarmuka Dasbor Web dan mengambil tindakan korektif sebelum terjadi kerugian materia (Zhang et al., 2025).

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem perangkat keras (hardware) Smart Cold Storage yang mengintegrasikan sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-135, dan aktuator pendingin Peltier menggunakan mikrokontroler ESP32 yang bisa dipantau secara real-time?
2. Bagaimana mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic* (Metode Tsukamoto) untuk mengolah data suhu dan kadar gas amonia guna mengendalikan daya pendingin Peltier melalui Modul Relay dan menentukan status kesegaran ikan?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan :

1. Menghasilkan alat Smart Cold Storage yang mampu mendeteksi suhu dan kadar gas amonia (indikator pembusukan) serta melakukan pendinginan aktif menggunakan Peltier yang dapat dimonitoring secara digital melalui aplikasi IoT.
2. Menyediakan aplikasi berbasis Fuzzy yang dapat menampilkan riwayat suhu sekaligus mengontrol daya aktuator Peltier secara adaptif berdasarkan hasil pembacaan sensor guna mencegah penurunan kualitas ikan.

Manfaat :

1. Bagi Akademik
 - A. Memberikan kontribusi pada pengembangan literatur mengenai penerapan Sensor Fusion (penggabungan sensor suhu dan gas) dalam teknologi pascapanen perikanan.
 - B. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait implementasi kendali cerdas Fuzzy Logic pada sistem pendingin termoelektrik (Peltier).

2. Bagi User:

- A. Membantu menjaga kualitas stok ikan dengan sistem pendingin yang stabil dan memberikan peringatan dini jika ada ikan yang mulai busuk, sehingga mengurangi kerugian finansial.
- B. Memberikan jaminan keamanan pangan melalui data jejak rekam (traceability) suhu dan kesegaran yang terukur secara digital, bukan sekadar klaim subjektif.

1.4 Kontribusi dan Orisinalitas Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi pada modernisasi sistem cold chain perikanan melalui transisi dari metode penilaian organoleptik yang subjektif ke sistem digital objektif berbasis sensor fusion. Orisinalitas sistem terletak pada penggunaan sensor DS18B20 dan MQ-135 yang mampu mendeteksi degradasi biologis ikan (amonia) secara dini, bahkan sebelum tanda pembusukan terlihat secara fisik. (Mansyur et al., 2022) Inovasi teknis utamanya adalah penerapan algoritma Fuzzy Logic pada mikrokontroler ESP32, yang memungkinkan pengendalian daya pendingin Peltier secara adaptif dan presisi berdasarkan kondisi riil gas dan suhu, bukan sekadar sistem on-off konvensional. Selain itu, penelitian ini menawarkan solusi infrastruktur IoT yang mandiri dengan mengintegrasikan modul MiFi guna mengatasi keterbatasan jaringan internet statis di area pelelangan atau gudang ikan. Hal ini memastikan transmisi data ke database tetap berjalan secara real-time dan mobile. Kontribusi praktisnya berupa penyediaan early warning system dan jejak digital (traceability) suhu penyimpanan, yang berfungsi mencegah kerugian finansial sekaligus menjamin standar keamanan pangan bagi konsumen (Henrique et al., 2025).

1.5 Batasan Penelitian

1. Sistem yang dibangun merupakan alat nyata (hardware) berupa prototipe Smart Cold Storage (kotak penyimpanan pendingin) skala kecil yang dirancang untuk beroperasi secara stasioner (tetap) di lokasi seperti gudang penyimpanan atau lapak penjual ikan, bukan untuk penggunaan mobile di atas kapal nelayan. Sumber daya utama alat ini menggunakan arus listrik (PLN) melalui adaptor (12V), bukan baterai portabel, untuk memastikan suplai daya yang stabil bagi aktuator pendingin termoelektrik (Peltier) dan

mikrokontroler ESP32. Pengujian efektivitas pendinginan dan deteksi kesegaran dibatasi pada ruang lingkup boks penyimpanan tertutup yang telah terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor gas MQ-135, di mana kemampuan pendinginan Peltier hanya difokuskan untuk menjaga stabilitas suhu dalam rentang dingin (*chilling*) dan bukan untuk membekukan ikan (*freezing*) dalam kapasitas industri besar.

2. Implementasi kecerdasan buatan pada sistem ini dibatasi secara spesifik pada penggunaan algoritma *Fuzzy Logic* metode Tsukamoto yang dieksekusi langsung secara mandiri (*offline*) di dalam mikrokontroler ESP32, tanpa mengandalkan pemrosesan dari *server* eksternal. Variabel masukan (*input*) yang digunakan oleh mesin inferensi untuk pengambilan keputusan hanya bersumber dari dua parameter lingkungan, yaitu data suhu aktual dari sensor DS18B20 sebagai kendali dasar dan fluktuasi konsentrasi gas amonia (ppm) dari sensor MQ-135 sebagai indikator awal pembusukan; parameter lain seperti kelembapan atau data organoleptik visual tidak diikutsertakan. Luaran (*output*) dari komputasi *fuzzy* ini menghasilkan satu nilai matematis tegas (*crisp output*) yang kemudian dikonversi melalui ambang batas (*threshold*) menjadi keputusan sakelar kelistrikan mutlak (ON/OFF). Keputusan digital pada Modul Relay inilah yang mengatur aktuasi elemen termoelektrik Peltier dan kipas pendingin secara adaptif. Meskipun sistem dirancang untuk merespons anomali lingkungan secara cerdas dan proaktif, fungsionalitas purwarupa ini murni berfokus sebagai instrumen mitigasi rantai dingin (*cold chain*) dan peringatan dini. Oleh karena itu, batasan penelitian ini tidak mencakup pengujian maupun analisis biologis berskala laboratorium yang mendalam terkait identifikasi komposisi bakteri pembusuk pada komoditas ikan.
3. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem pemantauan kualitas ikan berbasis Internet of Things (IoT) dengan ruang lingkup penggunaan yang terbatas pada area penyimpanan boks (*cool box*) di darat atau lingkungan yang terjangkau jaringan seluler. Alat ini tidak dirancang untuk digunakan di laut lepas (*offshore*) yang berada di luar jangkauan sinyal GSM/4G. Sistem komunikasi data mengandalkan modul WiFi internal pada

ESP32 yang terhubung ke internet melalui perangkat MiFi berbasis kartu SIM seluler untuk mengatasi ketiadaan jaringan kabel (fixed line). Transmisi data dibatasi pada pengiriman parameter suhu, kadar gas, dan status kesegaran ikan (Segar/Waspada/Busuk) secara real-time ke database MySQL/MariaDB serta aplikasi smartphone. Selain itu, fungsi alat ini hanya sebatas sebagai media pemantauan (monitoring) dan sistem peringatan dini (early warning system), tanpa melibatkan mekanisme fisik otomatis untuk memisahkan atau membuang ikan yang telah terdeteksi busuk dari dalam boks.

4. Fitur *Internet of Things* (IoT) pada penelitian ini dibatasi fungsinya secara eksklusif hanya sebagai fasilitas pelengkap untuk pemantauan (*monitoring*) jarak jauh dan penyedia notifikasi *Early Warning System* (EWS) pada aplikasi *smartphone*. IoT sama sekali tidak dilibatkan dalam *closed-loop control* (sistem kendali tertutup) suhu. Seluruh komputasi algoritma *Fuzzy Logic* untuk mendeteksi kesegaran dan mengatur daya aktuator pendingin berjalan secara mandiri (*offline*) dan tertanam langsung di dalam mikrokontroler ESP32. Artinya, apabila terjadi gangguan atau pemutusan koneksi internet pada perangkat MiFi, sistem pendingin akan tetap beroperasi menstabilkan suhu secara normal. Transmisi data IoT hanya difokuskan pada pengiriman *payload* informasi (berupa angka suhu aktual, kadar gas amonia, dan status kesegaran ikan) tanpa adanya intervensi kendali (seperti menyalakan atau mematikan alat) dari aplikasi pengguna.
5. Penggunaan sistem ini dibatasi hanya sebagai media penyimpanan sementara (transit storage) untuk menjaga kualitas ikan. Sistem pendingin berbasis termoelektrik *Peltier* pada rentang suhu *chilling* (15°C) hanya berfungsi untuk memperlambat laju aktivitas mikroba dan degradasi biokimia ikan, bukan untuk menghentikan proses pembusukan secara total. Oleh karena itu, alat ini tidak ditujukan untuk penyimpanan jangka panjang (tidak lebih dari dua hari), sehingga komoditas perikanan tetap memerlukan pemindahan ke fasilitas rantai dingin (cold chain) yang memiliki kapasitas pendinginan lebih besar dan suhu operasional yang lebih rendah guna menjamin ketahanan mutu untuk waktu yang lebih lama.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab ini (Bab I) memaparkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan/manfaat, kontribusi/orisinalitas, batasan penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II memuat kajian pustaka yang meliputi teori dasar, penelitian terdahulu, dan analisis kesenjangan penelitian (research gap). Bab III membahas metodologi penelitian meliputi pengumpulan data, pengolahan data, rancangan sistem, dan rencana evaluasi. Bab IV menyajikan hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan pengujian sistem. Bab V menyampaikan kesimpulan penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya dan implikasi praktis.

