

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Frekuensi kejadian banjir di Indonesia terus meningkat seiring dengan perubahan iklim global dan pesatnya pertumbuhan wilayah urban. Curah hujan yang ekstrem, limpasan debit air dari daerah hulu, serta kapasitas drainase dan sungai yang terbatas sering kali menyebabkan luapan air yang menggenangi kawasan permukiman dan pusat kota—terutama di Provinsi DKI Jakarta. Kondisi topografi Jakarta yang relatif landai (0–3 %) dan semakin menyusutnya luas daerah resapan air memperbesar volume *run-off*, sehingga area ini menjadi sangat rentan terhadap genangan dan banjir selama musim hujan (Alawiyah & Harintaka, 2021). Dampak banjir tidak hanya mengganggu aktivitas sehari-hari masyarakat, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan, kerusakan infrastruktur publik, serta penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan psikologis warga.

Upaya untuk memprediksi dan mendeteksi dini bencana banjir menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi, guna menekan jumlah korban jiwa dan kerusakan materi. Sistem monitoring yang akurat dan responsif dapat memberikan waktu yang lebih cukup bagi masyarakat untuk melakukan evakuasi dan bagi pemerintah daerah untuk menyiapkan langkah-langkah tanggap darurat. Menurut Esposito (2022), teknologi seperti Internet of Things (IoT), Cloud Computing, dan Artificial Intelligence (AI) memainkan peran krusial dalam mendukung aspek monitoring, peramalan, dan pembangkitan alarm pada sistem peringatan dini. Platform IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor lingkungan dengan aplikasi web atau mobile yang dapat menyajikan data real-time, sedangkan Cloud Computing dan AI membantu dalam pemrosesan, analisis, serta prediksi pola bencana berdasarkan data historis dan sensor.

Dalam konteks pemilihan sensor, penelitian oleh Pratomo et al. (2024) menegaskan keunggulan sensor serat optik ekstensometer *singlemode* dalam mendeteksi perubahan fisik. Berkat sensitivitas tinggi terhadap deformasi, serat optik mampu mentransmisikan sinyal cahaya dengan kehilangan (atenuasi) minimal, sehingga pengukuran menjadi sangat presisi dan *real-time*. Selain itu, serat optik menunjukkan ketahanan tinggi terhadap gangguan elektromagnetik

(EMI) serta perubahan suhu dan kelembapan faktor-faktor yang kerap mempengaruhi kinerja sensor konvensional. Fleksibilitas desain dan kemudahan instalasi juga memungkinkan penyesuaian konfigurasi sensor sesuai kebutuhan area pantau.

Lebih jauh, Fatimah Nur Hidayah et al. (2020) membuktikan bahwa sensor serat optik pada material komposit dapat mendeteksi beban tekuk hingga 40×10^5 N dengan perubahan atenuasi sekitar 2,5 dB dan sensitivitas 0,54 dB/N. Temuan ini menunjukkan akurasi yang tinggi dan respons yang stabil terhadap perubahan beban, sehingga sangat potensial diaplikasikan untuk pengukuran ketinggian air berdasarkan mekanisme bending serat optik. Dengan memanfaatkan prinsip tersebut, setiap perubahan permukaan air akan menimbulkan deformasi serat optik yang dapat dikonversi menjadi sinyal digital.

Sebaliknya, banyak sistem deteksi dini bencana seperti banjir saat ini masih mengandalkan sensor konvensional, misalnya sensor ultrasonik HC-SR04 yang walaupun ekonomis dan mudah diimplementasikan, rentan terhadap interferensi elektromagnetik dan variasi lingkungan ekstrem (Aulia et al., 2022). Ketergantungan pada pengecekan manual juga memperlambat proses deteksi dan dapat membahayakan petugas lapangan. Keterbatasan-keterbatasan inilah yang memotivasi pengembangan alternatif berbasis serat optik ekstensometer.

Untuk mengintegrasikan data dari sensor dan menghasilkan *output* status banjir melalui pemodelan sistem monitoring ketinggian air yang akurat, metode *fuzzy logic* diterapkan dalam sistem ini. Zheng et al. (2021) menjelaskan bahwa konsep *fuzzy logic* merupakan pendekatan sistem kontrol yang memungkinkan pengolahan informasi berbasis logika non-biner, berbeda dari metode klasik yang hanya mengenal kondisi "benar" atau "salah". Dengan bekerja menggunakan derajat keanggotaan antara 0 hingga 1, *fuzzy logic* mampu menangani ketidakpastian dan memberikan keputusan yang lebih fleksibel terhadap data yang memiliki variasi kontinu. Dalam studi mereka, *fuzzy logic* diterapkan untuk mengontrol kemacetan jaringan sensor optik dalam sistem deteksi level air, di mana pendekatan keanggotaan bertingkat ini terbukti lebih adaptif dibandingkan metode konvensional dalam merespons kondisi lingkungan yang dinamis. Pendekatan ini relevan dengan penelitian saya yang menggunakan sensor serat optik ekstensometer, di mana deformasi serat akibat pergerakan air menghasilkan data

yang sering kali tidak memiliki batas nilai yang tegas. Penerapan *fuzzy* Mamdani dalam konteks ini memungkinkan konversi nilai deformasi menjadi status kondisi ketinggian air yang lebih akurat dan responsif, sekaligus memperkuat performa sistem monitoring IoT dalam mendeteksi potensi banjir secara *real-time*.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan mengembangkan prototipe sistem monitoring ketinggian air dalam menentukan status banjir dengan memanfaatkan sensor serat optik ekstensometer *singlemode* yang dipadukan dengan teknologi IoT. Data deformasi serat optik akibat pergerakan pelampung akan diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32 sebagai perantara komunikasi yang dilengkapi Wi-Fi dan dikirimkan melalui konektivitas internet ke platform web Firebase, sehingga tampilan ketinggian air dan kecepatan perubahan ketinggian air dapat diakses secara *real-time* oleh pengguna dan pihak berwenang. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan deteksi dini yang cepat, akurat, tahan gangguan lingkungan, serta ekonomis dari sisi instalasi dan pemeliharaan, sehingga menjadi solusi mitigasi banjir yang komprehensif dan berkelanjutan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis melakukan penelitian pengembangan membuat sebuah sistem untuk membantu proses mitigasi sebagai pendeteksi dini banjir akibat deformasi sensor optik ekstensometer sebagai pemodelan bencana banjir. Berdasarkan latar belakang masalah tersebut penulis melakukan penelitian dengan judul **Pengembangan Sistem Monitoring Ketinggian Air Akibat Deformasi Sensor Optik Ekstensometer Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*.**

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, identifikasi masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sistem monitoring ketinggian air saat ini masih banyak mengandalkan sensor konvensional yang rentan terhadap interferensi elektromagnetik dan perubahan kondisi lingkungan ekstrem, sehingga akurasi dan keandalan pengukuran ketinggian air menurun.
2. Belum ada sistem monitoring yang mampu menyajikan data ketinggian air secara *real-time* dengan tingkat respons cepat dan tahan gangguan. Prototipe

awal dari alat ini hanya menampilkan hasil pengukuran melalui *serial monitor* ArduinoIDE tanpa dilengkapi fitur Wi-Fi sehingga tidak memungkinkan monitoring data secara *real-time* dari jarak jauh dan menunda respons mitigasi bencana.

3. Meskipun sensor serat optik ekstensometer menawarkan sensitivitas tinggi dan toleransi EMI yang baik, penerapan metode *fuzzy* Mamdani dalam interpretasi deformasi serat optik untuk menentukan banjir masih terbatas di penelitian terdahulu.

1.3. Pembatasan Masalah

Untuk menghindari terjadinya penyimpangan dalam pembahasan, dibuatlah batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibuat dengan skala laboratorium pada Laboratorium Pusat Riset Fotonika, Badan Riset dan Inovasi Nasional di mana medium yang dipakai adalah pipa dengan tinggi 3 meter dan pelampung sebagai aktuator yang akan dijadikan sebagai pemodelan sistem deteksi banjir.
2. Sensor optik ekstensometer yang digunakan hanya memiliki panjang rentang tekuk sebesar 3 cm.
3. *Output* yang dihasilkan berupa data yang nantinya akan ditampilkan pada situs web Firebase yang telah dibuat.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan pembatasan masalah, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring ketinggian air berbasis sensor serat optik ekstensometer singlemode yang mampu mendeteksi deformasi akibat pergerakan air secara akurat dan *real-time*?
2. Bagaimana mengimplementasikan metode *fuzzy* Mamdani untuk mengolah data deformasi serat optik menjadi status kondisi banjir yang akurat dan adaptif terhadap fluktuasi nilai?
3. Bagaimana mengintegrasikan sistem sensor dengan mikrokontroler dan platform IoT (Firebase) agar data dapat ditampilkan secara online dan

dimanfaatkan sebagai sistem peringatan dini banjir yang responsif dan tahan terhadap gangguan lingkungan?

1.5. Tujuan Penelitian

Dengan rumusan masalah tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang dan merealisasikan prototipe sistem monitoring ketinggian air yang menggunakan sensor serat optik ekstensometer untuk mendeteksi deformasi akibat naiknya permukaan air.
2. Menerapkan metode *fuzzy* Mamdani dalam pengolahan data deformasi serat optik guna menghasilkan klasifikasi status banjir yang lebih akurat.
3. Mengembangkan sistem berbasis IoT yang dapat mengirim dan menampilkan data ketinggian air secara *real-time* melalui web Firebase, guna mendukung sistem peringatan dini banjir yang efisien dan handal.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pengembangan sistem monitoring ketinggian air menggunakan sensor optik ekstensometer berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi sensor serat optik ekstensometer untuk mendeteksi ketinggian air akibat deformasi sensor optik yang diharapkan mampu dikembangkan kembali untuk penelitian dengan skala yang lebih besar.
2. Menambah referensi dalam bidang mitigasi kebencanaan berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT).
3. Menyediakan alternatif sistem deteksi yang ekonomis dan memiliki ketahanan tinggi terhadap kondisi ekstrem dibandingkan sensor konvensional

Intelligentia - Dignitas