

**USULAN PENELITIAN S1**

**IMPLEMENTASI *DECISION TREE* PADA *EARLY WARNING SYSTEM*  
BENCANA BANJIR BERBASIS IOT *EDGE COMPUTING***



**PROGRAM STUDI S1 ELEKTRONIKA DAN INSTRUMENTASI  
DEPARTEMEN ILMU KOMPUTER DAN ELEKTRONIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
YOGYAKARTA**

**2024**

## **HALAMAN PERSETUJUAN**

### **USULAN PENELITIAN S1**

Diusulkan Oleh



Anggit Satria Pamungkas

21/478677/PA/20763

Telah Disetujui

Pada tanggal 8 Oktober 2024

Pembimbing



Dr. Agfianto Eko Putra, M.Si.

NIP. 19680224 1994 03 1 003

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah .....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
1.5    Manfaat Penelitian .....	3
1.6    Metodologi Penelitian .....	3
1.7    Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 <i>Internet of Things</i> .....	11
3.2    MPX5010DP .....	11
3.3    ESP32.....	12
3.4    SHT20 .....	12
3.5    NEO-6M.....	13
3.6 <i>Edge Computing</i> .....	13
3.7 <i>Decision Tree</i> .....	13
BAB IV METODE PENELITIAN .....	15
4.1    Analisis Sistem.....	15
4.2    Alat dan Bahan Penelitian.....	15
4.3    Tata Laksana Penelitian .....	16
4.4    Perancangan Sistem .....	19
4.4.1    Rancangan Perangkat Keras.....	20
4.4.2    Proses Akuisisi dan Pengambilan Data.....	21
4.5    Penerapan Metode Penelitian.....	22
4.6    Pengujian Sistem.....	22
4.6.1    Pengujian Akurasi .....	22
4.6.2    Pengujian <i>Real-Time</i> .....	24

BAB V JADWAL PENELITIAN .....	27
DAFTAR PUSTAKA .....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Daftar Alat.....	15
Tabel 4.2 Daftar Bahan .....	16
Tabel 4.3 Tahapan Penelitian.....	16
Tabel 4.4 Syarat Sistem Dapat Dikatakan Akurat .....	23
Tabel 4.5 Syarat Sistem Dapat Dikatakan <i>Real-Time</i> .....	25

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sensor MPX5010DP .....	12
Gambar 3.2 ESP32 .....	12
Gambar 3.3 Sensor SHT20 .....	13
Gambar 3.4 Sensor NEO-6M.....	13
Gambar 3.5 Alur Kerja <i>Decision Tree</i> .....	14
Gambar 4.1 Alur Kerja Sistem.....	19
Gambar 4.2 Diagram Blok Master .....	20
Gambar 4.3 Diagram Blok Slave .....	21
Gambar 4.4 Alur Pengujian Akurasi Sistem .....	22
Gambar 4.5 Alur Pengujian <i>Real-Time</i> Sistem .....	24

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perubahan iklim telah menjadi salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh umat manusia saat ini, dengan dampaknya yang meluas pada berbagai aspek kehidupan. Salah satu konsekuensi yang paling meresahkan dari perubahan iklim adalah peningkatan frekuensi dan intensitas bencana alam, termasuk banjir. Di seluruh dunia, banjir telah menyebabkan kerugian ekonomi yang besar, kerusakan infrastruktur, dan kehilangan nyawa. Di Indonesia, banjir menjadi salah satu bencana alam yang paling sering terjadi dan paling merusak. Menurut laporan dari (Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), 2022), frekuensi kejadian banjir di Indonesia terus meningkat, terutama di daerah perkotaan yang semakin padat penduduknya.

Urbanisasi yang pesat, khususnya di kota-kota besar seperti Jakarta, telah memperburuk dampak banjir. Proses urbanisasi sering kali terjadi tanpa perencanaan yang memadai, yang mengakibatkan perubahan besar dalam penggunaan lahan (Firman et al., 2011). Lahan hijau dan daerah resapan air berkurang secara signifikan, digantikan oleh bangunan, jalan raya, dan infrastruktur lainnya yang tidak memiliki kemampuan untuk menyerap air hujan (Rujio & Santosa, 2020). Hal ini menyebabkan sistem drainase kota sering kali kewalahan menghadapi volume air yang besar selama musim hujan, yang pada akhirnya memicu terjadinya banjir (Lasminto & Budiyo, 2017).

Di sisi lain, perubahan penggunaan lahan juga berdampak negatif terhadap daerah aliran sungai (DAS). Deforestasi dan degradasi lahan di hulu DAS mengakibatkan penurunan kapasitas penyerapan air dan meningkatkan aliran permukaan (Anggraeni & Boer, 2018). Ini berarti bahwa selama curah hujan yang tinggi, lebih banyak air mengalir ke sungai-sungai dan meningkatkan risiko banjir di daerah hilir. Dampak dari perubahan ini sangat terasa di pulau-pulau besar di Indonesia seperti Jawa dan Sumatra, di mana tingkat deforestasi sangat tinggi (Hirabayashi et al., 2013).

Perubahan iklim juga telah mengubah pola curah hujan di Indonesia. Penelitian menunjukkan bahwa intensitas hujan ekstrem meningkat, sementara pola musiman menjadi semakin tidak menentu (Supari et al., 2017). Hujan yang sebelumnya berlangsung selama periode yang lebih lama sekarang cenderung terjadi dalam waktu yang lebih singkat tetapi dengan intensitas yang lebih tinggi, yang memperburuk risiko banjir bandang (Nugroho & Wulandari, 2019). Kondisi ini menuntut adanya pemahaman yang lebih baik mengenai dinamika iklim dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi risiko banjir di berbagai wilayah (Kazakis et al., 2015).

Selain faktor-faktor lingkungan, aspek sosial juga memainkan peran penting dalam kerentanan terhadap banjir. Banyak komunitas di Indonesia yang tinggal di daerah rawan banjir tidak memiliki akses yang memadai terhadap informasi dan peringatan dini (Ward et al., 2011). Akibatnya, mereka sering kali tidak siap menghadapi bencana, yang mengakibatkan kerugian yang lebih besar ketika banjir terjadi (Alfieri et al., 2017). Ketidakseimbangan sosial-ekonomi juga memperburuk situasi ini, di mana masyarakat miskin yang tinggal di permukiman kumuh di daerah rendah sering kali menjadi korban paling terdampak (Wang et al., 2020).

Dalam konteks ini, penelitian tentang penyebab dan dampak banjir menjadi sangat penting. Dengan memahami interaksi antara faktor lingkungan dan sosial, kita dapat mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif (Singh et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola-pola risiko banjir di Indonesia, dengan fokus pada pengaruh perubahan iklim, urbanisasi, dan dinamika sosial-ekonomi (Kibria et al., 2018). Selain itu, penelitian ini juga akan mengeksplorasi penggunaan teknologi modern seperti Internet of Things (IoT) dan edge computing untuk meningkatkan kemampuan prediksi dan respons terhadap banjir. Penggunaan teknologi ini tidak hanya penting untuk meningkatkan akurasi prediksi banjir, tetapi juga untuk mempercepat penyebaran informasi kepada masyarakat yang berada di daerah rawan.



## 1.2 Rumusan Masalah

Merujuk pada bagian latar belakang, dapat disimpulkan bahwa masalah utama dalam penelitian ini adalah keterlambatan dalam pengiriman data serta ketidakakuratan dalam prediksi sistem peringatan dini.

## 1.3 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Machine learning* menggunakan algoritma *Decision Tree* (DT)
2. Sistem monitoring berbasis *website* dan aplikasi *mobile*

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan algoritma *Decision Tree* (DT) dalam *Early Warning System* (EWS) bencana banjir berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan teknologi *edge computing* sehingga curah hujan dapat dipantau dengan akurat dan *real-time*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penerapan algoritma DT berbasis teknologi *edge computing*, latensi yang dihasilkan akan lebih rendah sehingga proses monitoring curah hujan dapat dilakukan secara *real-time*. Penggunaan algoritma ini juga mampu memberikan prediksi potensi banjir yang lebih presisi sehingga monitoring dapat dilakukan secara berkelanjutan dan lebih akurat.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilalui dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi masalah yang dapat dijadikan sebagai topik penelitian. Proses identifikasi dilakukan dengan mencari permasalahan dan aspirasi untuk memajukan suatu bidang industri melalui internet. Validasi topik dilakukan dengan berkonsultasi dengan pembimbing proposal.

### 2. Analisis Masalah

Menganalisis permasalahan untuk ditemukan kemungkinan solusinya. Kemungkinan solusi yang ada dari permasalahan tersebut dapat digunakan untuk merumuskan tujuan dari sistem yang akan dibuat.

### 3. Studi Literatur

Memahami permasalahan secara lebih mendalam dengan membaca literatur yang terkait dengan topik permasalahan, dan mengembangkan solusi-solusi yang sudah diuji pada artikel penelitian yang lain.

#### 4. Perancangan Sistem

Merancang *Early Warning System* dengan menentukan komponen yang akan diperlukan, menentukan sistem komunikasi antar komponen, dan penyusunan algoritma *Decision Tree*.

#### 5. Pengaplikasian dan Percobaan Sistem

Melakukan implementasi rancangan sistem yang sebelumnya dibuat.

#### 6. Pengujian Sistem

Menguji *Early Warning System*, Algoritma *Decision Tree*, dan melakukan evaluasi terhadap hasil dari sistem.

#### 7. Penyusunan Laporan

Dilakukan penulisan laporan akhir tentang hasil dan proses penelitian.

### 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan proposal.

#### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penelitian-penelitian terdahulu terkait dengan topik *Early Warning System* dan penerapan *Edge Computing*. Hasil penelitian akan dijadikan sebagai referensi dan bahan perbandingan terhadap penelitian ini.

#### BAB III: LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendukung proses penelitian serta teori yang berkaitan dengan ayam.

#### BAB IV: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang alat dan bahan, proses perancangan sistem, dan arsitektur yang digunakan.

## BAB V: JADWAL PENELITIAN

Bab ini berisi tabel yang menunjukkan rencana waktu penelitian. Rencana waktu penelitian dimulai dari penyusunan proposal sampai pembuatan laporan akhir. Jadwal penelitian dibutuhkan untuk mengetahui progres dari penelitian yang telah dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Curah hujan merupakan faktor yang memengaruhi potensi terjadinya banjir. Curah hujan yang tinggi secara signifikan meningkatkan risiko banjir. Sebelumnya, pengukuran curah hujan dilakukan secara manual yang rentan terhadap *human error* dan kurang terstandarisasi. Untuk mengatasi kelemahan ini, berbagai penelitian telah mengembangkan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dan algoritma machine learning untuk memantau dan memprediksi potensi banjir secara otomatis dan lebih akurat.

Penelitian Rancang Bangun Prototipe Peringatan Dini Banjir Menggunakan *Raspberry Pi* Berbasis *IoT* oleh (Priatim et al., 2023) mengembangkan sistem peringatan dini yang memantau ketinggian air menggunakan Sensor HC-SR04 dan *Raspberry Pi* sebagai alat akuisisi data. Sistem ini mengkategorikan ketinggian air ke dalam beberapa tingkat dan memberikan peringatan berupa suara alarm, serta mengirim notifikasi ke *smartphone* melalui aplikasi *Blynk* ketika kondisi dinilai berpotensi menyebabkan banjir. Sistem ini memungkinkan akses data secara *real-time* yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja melalui jaringan internet.

Namun, pengembangan EWS banjir yang hanya didasarkan pada ketinggian air dinilai andal. Penelitian Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam *Early Warning System* Bencana Banjir Berbasis *IoT* oleh (Wandi & Ashari, 2023) menciptakan sistem yang tidak hanya memantau ketinggian air, tetapi juga curah hujan. Penggunaan sensor HC-SR04 dan level sensor kapasitif untuk memantau ketinggian air. Sensor MH-RD digunakan untuk mengambil data curah hujan. Perangkat keras yang dirancang terhubung dengan laptop yang berfungsi untuk mengolah data lebih lanjut dan mengirim notifikasi peringatan dan lokasi terjadinya banjir melalui telegram dengan rata-rata *delay* 0,561 detik. Data yang dihasilkan diolah dan dikirimkan ke *cloud database*, memungkinkan pemantauan jarak jauh.

Meskipun sistem berbasis *IoT* dengan sensor telah banyak digunakan, pendekatan ini masih terbatas karena hanya mengandalkan ambang batas (*threshold*) tertentu untuk memicu peringatan. Oleh sebab itu, penelitian *Tree-based machine learning algorithms in the Internet of Things environment for*

*multivariate flood status prediction* oleh (Aswad et al., 2021) mengembangkan model yang lebih canggih dengan memanfaatkan algoritma *machine learning* berbasis pohon keputusan (tree-based), termasuk Decision Tree (DT), Decision Jungle (DJ), dan Random Forest (RF). Model prediksi status banjir dengan algoritma *tree-based machine learning* terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi status banjir dengan klasifikasi data yang lebih baik, sehingga memungkinkan monitoring yang lebih efektif dan respon yang lebih cepat terhadap potensi banjir.

Algoritma Decision Tree (DT) telah banyak diterapkan di berbagai bidang selain EWS. Contohnya di bidang medis DT digunakan untuk mendukung diagnosis penyakit, seperti prediksi kanker payudara berdasarkan data kesehatan pasien. Penelitian oleh (Suresh et al., 2020) menunjukkan bahwa kombinasi DT dan jaringan saraf tiruan memberikan hasil yang presisi dalam membuat keputusan prognostik. Selain itu, di bidang keamanan siber, DT diterapkan untuk mendeteksi serangan jaringan dengan cara mengklasifikasikan data lalu lintas jaringan. Penelitian oleh (Abdulazeez et al., 2021) menunjukkan bahwa DT efektif dalam mengidentifikasi jenis serangan sehingga meningkatkan keamanan infrastruktur digital.

Untuk mempercepat respon sistem terhadap potensi banjir yang akan terjadi, peneliti mengusulkan penggunaan teknologi *edge computing*. Penelitian oleh (Moursi et al., 2021) menggunakan *edge computing* untuk melakukan pemantauan dan prediksi kualitas udara. Sistem yang dibuat menggunakan arsitektur prediksi campuran dengan beberapa algoritma *Machine Learning* dari *Nonlinear AutoRegression with eXogenous input* (NARX). Sistem ini terbukti dapat merespons polusi udara dengan cepat, bahkan di area dengan bandwidth rendah atau tanpa koneksi internet, yang berpotensi diterapkan pada sistem EWS banjir untuk meningkatkan keandalan dan kecepatan respon dalam berbagai kondisi jaringan.

Tabel 2.1.7 Korelasi Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Keterangan
1	(Priatim et al., 2023)	Rancang Bangun Prototipe Peringatan Dini Banjir Menggunakan <i>Raspberry Pi</i> Berbasis IoT	Mengembangkan sistem peringatan dini yang memantau ketinggian air. Sistem ini mengkategorikan ketinggian air ke dalam beberapa tingkat dan memberikan peringatan berupa suara alarm, serta mengirim notifikasi ke <i>smartphone</i> melalui aplikasi <i>Blynk</i> ketika kondisi dinilai berpotensi menyebabkan banjir. Sistem ini memungkinkan akses data secara <i>real-time</i> yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja melalui jaringan internet.
2	(Wandi & Ashari, 2023)	Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam <i>Early Warning System</i> Bencana Banjir Berbasis IoT	Menciptakan sistem yang tidak hanya memantau ketinggian air, tetapi juga curah hujan. Penggunaan sensor HC-SR04 dan level sensor kapasitif untuk memantau ketinggian air. Sensor MH-RD digunakan untuk mengambil data curah hujan. Perangkat keras yang dirancang terhubung dengan laptop yang berfungsi untuk mengolah data lebih lanjut dan mengirim notifikasi peringatan dan lokasi

			terjadinya banjir melalui telegram dengan rata-rata <i>delay</i> 0,561 detik. Data yang dihasilkan diolah dan dikirimkan ke <i>cloud database</i> , memungkinkan pemantauan jarak jauh.
3	(Aswad et al., 2021)	<i>Tree-based machine learning algorithms in the Internet of Things environment for multivariate flood status prediction</i>	Mengembangkan model yang lebih canggih dengan memanfaatkan algoritma <i>machine learning</i> berbasis pohon keputusan (tree-based), termasuk Decision Tree (DT), Decision Jungle (DJ), dan Random Forest (RF). Model prediksi status banjir dengan algoritma <i>tree-based machine learning</i> terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi status banjir dengan klasifikasi data yang lebih baik, sehingga memungkinkan monitoring yang lebih efektif dan respon yang lebih cepat terhadap potensi banjir.
4	(Suresh et al., 2020)	<i>Hybridized neural network and decision tree based classifier for prognostic decision making in breast cancers</i>	Menunjukkan bahwa kombinasi DT dan jaringan saraf tiruan di bidang medis memberikan hasil yang presisi dalam membuat keputusan prognostik salah satunya untuk mendukung diagnosis penyakit, seperti

			prediksi kanker payudara berdasarkan data kesehatan pasien.
5	(Abdulazeez et al., 2021)	<i>Intrusion detection and attack classifier based on three techniques: A comparative study</i>	Menunjukkan bahwa DT dapat diterapkan secara efektif di bidang keamanan siber dalam mengidentifikasi jenis serangan sehingga meningkatkan keamanan infrastruktur digital. DT diterapkan untuk mendeteksi serangan jaringan dengan cara mengklasifikasikan data lalu lintas jaringan.
6	(Moursi et al., 2021)	An IoT enabled system for enhanced air quality monitoring and prediction on the edge	Memanfaatkan <i>edge computing</i> untuk melakukan pemantauan dan prediksi kualitas udara. Sistem yang dibuat menggunakan arsitektur prediksi campuran dengan beberapa algoritma <i>Machine Learning</i> dari <i>Nonlinear AutoRegression with eXogenous input</i> (NARX). Data yang digunakan untuk memprediksi kualitas udara jam berikutnya adalah data akumulasi polutan, kecepatan angin, dan curah hujan. Penelitian ini menghasilkan sistem yang dapat merespon polusi udara dengan cepat, bahkan pada tempat dengan <i>bandwidth</i> rendah atau tanpa koneksi internet.



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 *Internet of Things***

*Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi yang mampu menghubungkan berbagai perangkat fisik untuk dapat terhubung ke internet dan berkomunikasi satu sama lain tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer. Prinsip kerja utama perangkat ini adalah mengintegrasikan sensor dan aktuator ke dalam perangkat sehingga memungkinkan mereka untuk merasakan lingkungan dan mengambil tindakan berdasarkan data yang dikumpulkan. *Internet of Things* (IoT) memiliki banyak arti yang berbeda dalam berbagai bidang (Jim, 2018) seperti dalam manufaktur, IoT berarti memasang instrumen dan mengumpulkan informasi sehingga data dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas dan dalam logistik, IoT berarti memberikan pengenalan terhadap tiap item sehingga rantai pasokan dapat menjadi lebih cerdas. Salah satu contoh penerapan IoT adalah dalam *smart home*, yang memungkinkan berbagai perangkat rumah seperti termostat, lampu, kamera keamanan, dan peralatan rumah tangga lainnya terhubung dan dapat dikendalikan melalui *smartphone* atau komputer. Meskipun IoT menawarkan banyak keuntungan, ada juga tantangan yang harus dihadapi, terutama dalam hal keamanan dan privasi data. Karena banyak perangkat IoT yang mengumpulkan dan mengirim data pribadi. Dengan pendekatan yang hati-hati dan strategis, IoT memiliki potensi untuk merevolusi berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan industri, menciptakan dunia yang lebih terhubung dan efisien.

#### **3.2 MPX5010DP**

MPX5010DP, seperti pada Gambar 3.1 adalah sensor tekanan diferensial yang dirancang untuk mengukur perbedaan tekanan antara dua *port* input, dengan rentang pengukuran hingga 10 kPa. Sensor ini menggunakan teknologi piezoresistif yang menghasilkan perubahan tegangan output proporsional dengan perbedaan tekanan yang terdeteksi. Dengan akurasi yang tinggi dan linearitas yang baik, MPX5010DP umumnya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan

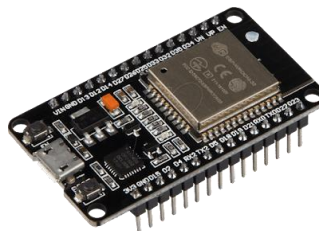
tekanan udara atau fluida, seperti dalam sistem kontrol HVAC, pengukuran tekanan pada kendaraan, atau perangkat medis. Sensor ini beroperasi pada tegangan 5V dan memberikan output analog yang dapat langsung dibaca oleh ADC pada mikrokontroler untuk berbagai keperluan pengukuran dan kontrol. Sensor tekanan diferensial ini digunakan untuk mendeteksi curah hujan dengan cara mendeteksi tinggi air dalam pipa berdasarkan tekanan udara di dalam air pada pipa.



**Gambar 3.1 Sensor MPX5010DP**

### **3.3 ESP32**

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, yang mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth dual-mode. Ditenagai oleh prosesor dual-core Tensilica Xtensa LX6, ESP32 mampu menangani aplikasi berdaya rendah serta memiliki performa yang tinggi, dengan frekuensi operasi hingga 240 MHz. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan berbagai periferal seperti GPIO, ADC, DAC, PWM, SPI, I2C, dan UART.



**Gambar 3.2 ESP32**

### **3.4 SHT20**

SHT20 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur kelembapan relatif dan suhu dengan akurasi tinggi. Sensor ini memanfaatkan teknologi CMOSens® yang memungkinkan pengukuran kapasitif untuk kelembapan dan termistor untuk suhu, serta memiliki kalibrasi pabrik untuk memastikan keakuratan data. Beroperasi pada tegangan 2.4V hingga 5.5V, SHT20 dapat mengukur kelembapan dari 0% hingga 100% RH dengan akurasi  $\pm 3\%$  dan suhu dari  $-40^{\circ}\text{C}$

hingga 125°C dengan akurasi  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ . Data dikirim melalui antarmuka I2C, yang memudahkan integrasi dengan berbagai mikrokontroler.



**Gambar 3.3 Sensor SHT20**

### 3.5 NEO-6M

NEO-6M adalah modul GPS yang menyediakan informasi posisi berbasis sinyal satelit GPS. Dengan menggunakan prinsip trilaterasi, modul ini menghitung koordinat geografis, kecepatan, dan waktu dengan akurasi posisi sekitar 2.5 meter. Modul ini mendukung komunikasi melalui antarmuka UART atau SPI dan memiliki kecepatan pembaruan data hingga 5 Hz.



**Gambar 3.4 Sensor NEO-6M**

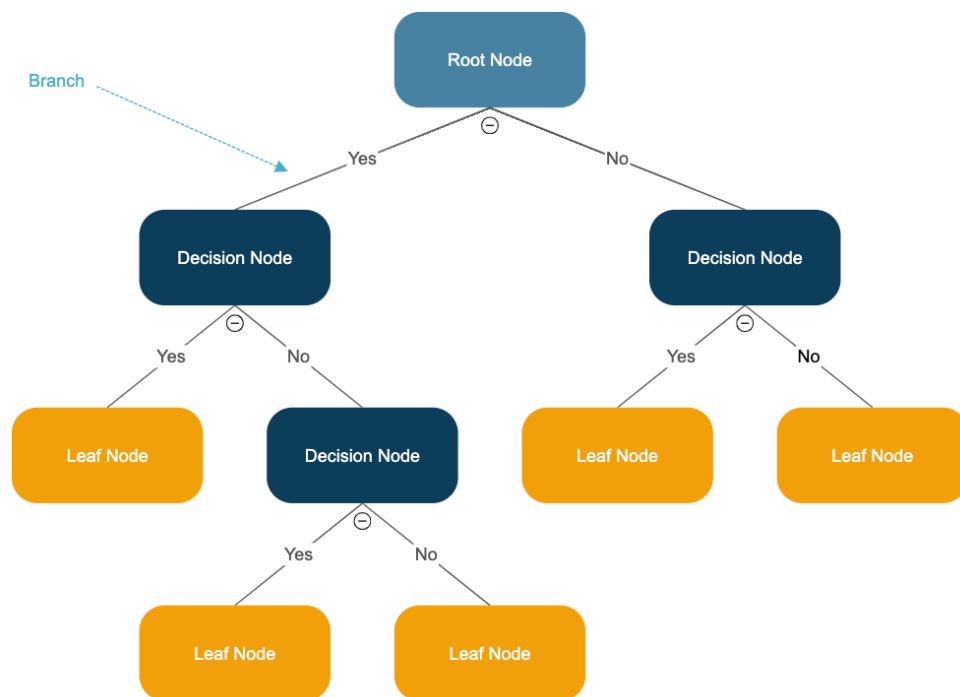
### 3.6 *Edge Computing*

*Edge computing* merupakan paradigma komputasi yang melakukan pemrosesan atau komputasi pada tepi jaringan. Ide utama dari pengembangan *edge computing* adalah dengan melakukan komputasi sedekat mungkin dengan sumber data (Cao et al., 2020) berbeda dengan *cloud computing* yang memproses data di pusat data yang terpusat. *Edge computing* muncul untuk mengatasi masalah yang dihadapi *cloud computing* seperti beban *bandwidth* yang besar, kecepatan respons yang lambat, dan keamanan data yang tidak aman.

### 3.7 *Decision Tree*

*Decision Tree* adalah salah satu algoritma pembelajaran mesin yang digunakan untuk klasifikasi dan regresi. Algoritma ini bekerja dengan membagi dataset menjadi subset yang lebih kecil berdasarkan fitur-fitur yang paling relevan,

membentuk struktur berbentuk pohon dengan simpul (*nodes*) dan cabang (*branches*). Setiap simpul internal mewakili pengujian terhadap suatu fitur, sedangkan cabang-cabangnya mewakili hasil dari pengujian tersebut. Daun (*leaf nodes*) di akhir cabang mewakili keputusan akhir atau output. Algoritma ini sangat mudah dipahami dan diinterpretasikan, karena strukturnya yang menyerupai alur keputusan manusia.



**Gambar 3.5 Alur Kerja *Decision Tree***

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Analisis Sistem

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem monitoring curah hujan cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *edge computing* yang dapat memberikan peringatan bencana banjir melalui parameter curah hujan, suhu, dan kelembapan. Sistem ini terdiri dari perangkat sensor yang meliputi sensor suhu dan kelembapan udara SHT20, sistem takar debit hujan dengan sensor tekanan diferensial MPX5010, dan sensor GPS untuk menentukan lokasi geografis pengukuran. Data yang didapat dari sensor kemudian akan diproses pada jaringan *edge* sekaligus memanfaatkan komputasi *edge* menggunakan algoritma Decision Tree untuk menentukan potensi banjir berdasarkan data yang sudah ada. Integrasi IoT memungkinkan sensor-sensor ini mengirim data secara real-time ke sistem *edge computing*, di mana data diproses dan dianalisis untuk memberikan informasi cepat dan akurat tentang kondisi air. *Edge computing* memastikan pemrosesan data dilakukan dekat dengan sumber data, mengurangi latensi, dan meningkatkan tingkat responsif sistem. Ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam pendeteksian potensi banjir.

#### 4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan komponen yang ditunjukkan pada Tabel Bahan dan Tabel Alat untuk membuat sebuah alat monitoring curah hujan yang dapat mengidentifikasi potensi banjir berdasarkan data yang sudah tersedia. Untuk itu, diperlukan perangkat seperti pada tabel 4.1 dan tabel 4.2

**Tabel 4.1 Daftar Alat**

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	Perangkat yang digunakan untuk menulis naskah program sekaligus uji coba program.

2	<i>Visual Studio Code</i>	<i>Text editor</i> untuk menulis dan menjalankan naskah program.
3	<i>Google Colab</i>	<i>Text editor</i> untuk menulis dan merancang algoritma klasifikasi.

**Tabel 4.2 Daftar Bahan**

No	Nama	Fungsi
1	Mikrokontroller ESP32	Mengendalikan sekaligus memproses data yang didapat dari sensor, melakukan klasifikasi, dan menghubungkan semua komponen pada sistem.
2	Sensor MPX5010	Mendeteksi curah hujan
3	Sensor SHT20	Mendeteksi suhu dan kelembapan
4	Sensor GPS	Menentukan lokasi geografis pengukuran.

### 4.3 Tata Laksana Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang terbagi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3

**Tabel 4.3 Tahapan Penelitian**

No	Kegiatan Penelitian	Indikator Penelitian	Indikator Keberhasilan
1	Analisis Permasalahan	Menganalisis permasalahan yang sudah ditentukan dengan mencari solusi yang memungkinkan. Solusi-solusi yang sudah dikembangkan dapat digunakan untuk merumuskan tujuan sistem yang akan dibuat.	Telah diidentifikasi masalah utama dan dirumuskan minimal dua solusi yang relevan dengan perancangan sistem.

2	Studi Literatur	Mempelajari literatur terkait metode identifikasi potensi banjir dari parameter-parameter yang sudah ditentukan menggunakan algoritma <i>Decision Tree</i> dan implementasinya menggunakan <i>edge computing</i>	Tinjauan literatur telah disusun mencakup metode identifikasi potensi banjir menggunakan <i>Decision Tree</i> dan implementasinya dengan <i>edge computing</i> .
3	Perancangan Sistem	Merancang sistem monitoring curah hujan cerdas menggunakan kombinasi dari sensor sensor curah hujan, sensor suhu, dan sensor GPS, sekaligus menyiapkan model <i>Decision Tree</i> yang akan digunakan untuk proses klasifikasi.	Desain sistem monitoring curah hujan yang terintegrasi dengan model <i>Decision Tree</i> telah disusun dengan jelas.
4	Implementasi Hardware	Mengimplementasikan <i>hardware</i> yang terdiri dari sensor dan mikrokontroler.	Semua perangkat keras, termasuk sensor dan mikrokontroler, berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik.
5	Pengujian Hardware	Melakukan pengujian terhadap <i>hardware</i> termasuk pengambilan data melalui sensor-sensor serta menguji kualitas pengolahan data pada ESP32.	Pengujian hardware menunjukkan sensor bekerja dengan akurasi tinggi dan ESP32 mampu memproses data dengan cepat.

6	Pengumpulan Data	Melakukan pengumpulan data menggunakan sistem yang sudah dirancang.	Data curah hujan, suhu, dan GPS berhasil dikumpulkan dengan jumlah dan kualitas yang memadai.
7	Preprocessing data	Melakukan <i>preprocessing</i> data, termasuk pemrosesan dan normalisasi data untuk mempersiapkan data pelatihan dan pengujian algoritma Decision Tree	Data berhasil diproses dan dinormalisasi sehingga siap digunakan untuk pelatihan model Decision Tree.
8	Pelatihan algoritma	Melakukan pelatihan Decision Tree menggunakan data curah hujan yang sudah diproses untuk mengembangkan model klasifikasi curah hujan dan potensi banjir.	Model Decision Tree berhasil dilatih dengan akurasi minimal 85% pada data pelatihan.
9	Validasi model <i>machine learning</i>	Menguji model yang sudah dikembangkan menggunakan data uji yang sudah ada untuk mengevaluasi kinerja model.	Model berhasil diuji dengan data uji dan mencapai akurasi minimal 80% dalam prediksi potensi banjir.
10	Evaluasi Sistem	Mengevaluasi keseluruhan kinerja sistem dari pengambilan data yang dilakukan oleh sensor hingga tingkat pemrosesan dan komputasi klasifikasi yang	Sistem secara keseluruhan menunjukkan kinerja yang stabil dengan waktu respon maksimal 5 detik.

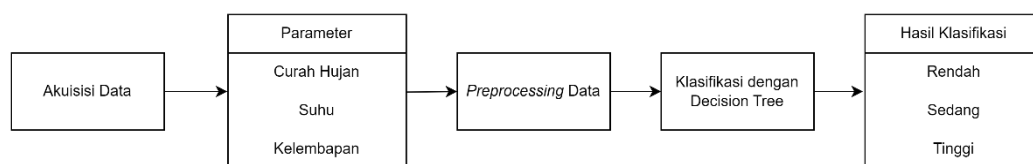


		terjadi pada perangkat ESP32.	
11	Penyusunan Laporan Penelitian	Penulisan laporan akhir mengenai hasil dan proses penelitian pada sistem yang telah dirancang.	Laporan akhir penelitian telah disusun dengan lengkap dan siap untuk diseminasi.

#### 4.4 Perancangan Sistem

Sistem monitoring curah hujan dan prediksi bencana banjir yang dirancang pada penelitian ini dibangun dari sistem perangkat keras sebagai media proses pengambilan data serta sistem perangkat lunak untuk perancangan, pelatihan, dan pengujian sistem klasifikasi menggunakan algoritma *Decision Tree*. Sistem ini bekerja dengan mengambil data parameter curah hujan, suhu, dan kelembapan melalui sensor yang terhubung pada mikrokontroler, kemudian diproses pada jaringan *edge* untuk mengklasifikasikan tingkat curah hujan dan mengidentifikasi potensi terjadinya banjir.

Terdapat dua komponen penting dalam sistem yang akan dibangun yaitu sistem perangkat keras sebagai media dalam proses akuisisi data dan sistem perangkat lunak yang meliputi perancangan, pelatihan, dan pengujian sistem klasifikasi dengan algoritma *Decision Tree*.



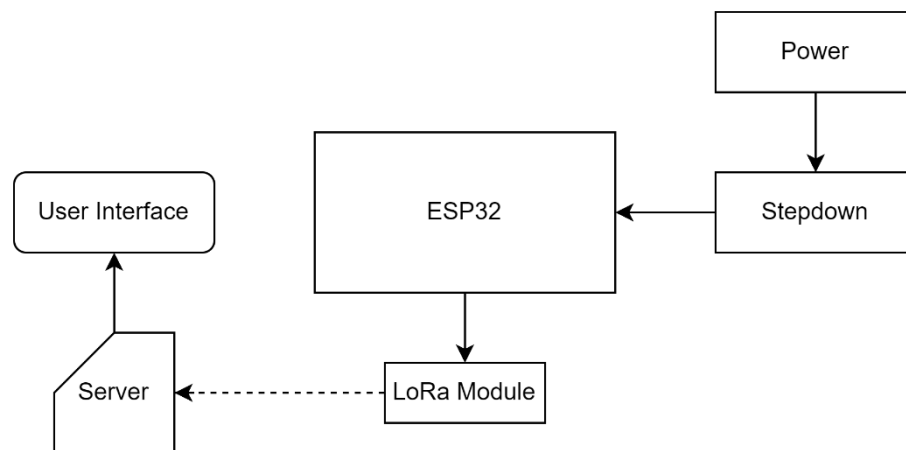
**Gambar 4.1 Alur Kerja Sistem**

Gambar 4.1 menunjukkan alur sistem yang menggunakan tiga parameter utama, yaitu curah hujan, suhu, dan kelembapan, yang diperoleh dari sensor-sensor terkait. Data yang diambil dari sensor akan melalui proses normalisasi dan penghapusan noise untuk memastikan bahwa data yang digunakan bersih dan siap untuk diolah. Setelah itu, data tersebut diklasifikasikan menggunakan model

Decision Tree (DT) untuk menghasilkan tiga kelas output, yaitu tingkat potensi terjadinya banjir: rendah, sedang, dan tinggi.

Proses dimulai dari pengambilan data oleh sensor, yang kemudian diproses melalui normalisasi untuk menyesuaikan skala data dan mengurangi pengaruh anomali atau outlier. Setelah data disiapkan, model DT yang sebelumnya telah dilatih dengan data latih, digunakan untuk mengklasifikasikan potensi banjir berdasarkan input data sensor terbaru. Hasil klasifikasi ini memberikan informasi mengenai tingkat risiko banjir pada waktu tersebut, yang kemudian dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini. Rancangan sistem ini memastikan prediksi yang lebih akurat dan real-time dalam memberikan informasi potensi banjir kepada pengguna.

#### 4.4.1 Rancangan Perangkat Keras

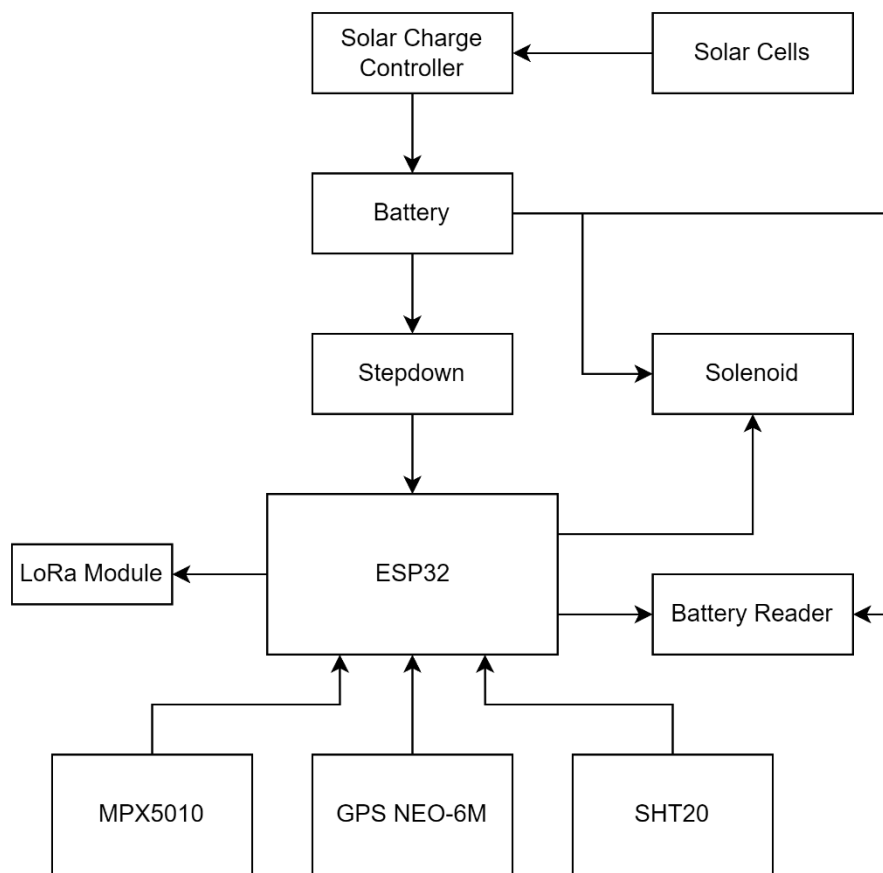


**Gambar 4.2 Diagram Blok Master**

Gambar 4.2 menggambarkan peran perangkat keras dalam proses pengambilan data dari berbagai sensor. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, di antaranya sensor tekanan diferensial yang digunakan untuk mendeteksi curah hujan, sensor suhu dan kelembapan yang berfungsi untuk mengukur kondisi lingkungan sekitar, serta sensor GPS yang bertugas mendeteksi titik lokasi sistem. Semua data yang dihasilkan oleh sensor-sensor ini dikumpulkan oleh mikrokontroler ESP32, yang tidak hanya mengumpulkan data tetapi juga melakukan pemrosesan dengan metode *edge computing*.

Setelah data sensor diklasifikasikan menggunakan algoritma yang tertanam di ESP32, hasil klasifikasi mengenai potensi banjir akan dikirimkan ke server. Dari server, data ini kemudian didistribusikan ke perangkat monitoring, yang memungkinkan pengguna untuk menerima informasi secara real-time mengenai kondisi yang terpantau oleh sistem.

#### 4.4.2 Proses Akuisisi dan Pengambilan Data



**Gambar 4.3 Diagram Blok Slave**

Gambar 4.3 menggambarkan proses akuisisi data dalam *early warning system* bencana banjir dengan algoritma *decision tree* berbasis *IoT edge computing* melibatkan langkah-langkah seperti pengaturan perangkat keras, pemasangan sistem, pengambilan data curah hujan menggunakan sensor diferensial tekanan, pengukuran suhu dan kelembapan dengan sensor suhu dan kelembapan, pendeteksian lokasi saat ini dengan sensor GPS, dan penyimpanan data parameter sensor. Data yang diperoleh akan digunakan untuk melatih model DT dan menguji

model yang telah dilatih untuk menghindari overfitting, di mana model mementingkan “hafalan” *training data* dan tidak bisa mengklasifikasi data baru. Selanjutnya dilakukan *preprocessing* data untuk seluruh data yang sudah diambil, pelatihan algoritma dan validasi model untuk *training data*, terakhir pengujian data menggunakan *testing data* yang sudah diproses ke dalam model dan *training data* yang telah dilakukan *preprocessing* sebelumnya, sehingga sistem dapat mengidentifikasi potensi terjadinya banjir dengan akurasi yang tinggi berdasarkan data yang telah diakuisisi.

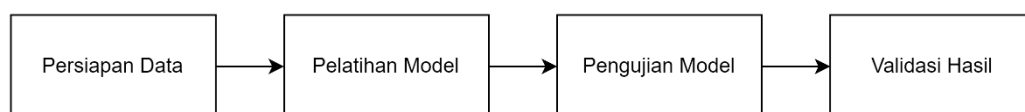
#### 4.5 Penerapan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Decision Tree* (DT) dalam pembangunan sistem klasifikasi. Sistem diterapkan pada ESP32 yang berjalan secara *real-time* dengan pembaruan data setiap lima detik.

#### 4.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa sistem yang dibangun mampu bekerja dengan baik dalam memprediksi potensi banjir secara akurat dan *real-time*. Pengujian dilakukan melalui dua pendekatan utama: pengujian akurasi dan pengujian *real-time*. Kedua jenis pengujian ini saling melengkapi untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi, baik dari sisi ketepatan prediksi maupun kecepatan respons.

##### 4.6.1 Pengujian Akurasi



**Gambar 4.4 Alur Pengujian Akurasi Sistem**

Gambar 4.4 menggambarkan proses pengujian akurasi sistem dalam memprediksi potensi banjir. Pengujian akurasi dilakukan melalui serangkaian langkah yang bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem dalam memprediksi potensi banjir.

Langkah pertama adalah mempersiapkan data dengan mengumpulkan data dari sensor-sensor yang ada, yaitu sensor curah hujan, suhu, kelembapan, dan GPS. Data yang terkumpul kemudian dibagi menjadi dua kelompok: data latih (*training*

*data*) dan data uji (*testing data*). Sebanyak 70% dari data digunakan untuk melatih model, sementara sisanya 30% digunakan untuk menguji model.

Setelah data dipersiapkan, langkah berikutnya adalah melakukan pelatihan model. Algoritma *Decision Tree* dilatih dengan data latih untuk mempelajari pola yang ada antara parameter sensor dan potensi banjir. Setiap sampel data dari sensor digunakan untuk membangun pohon keputusan yang mampu mengklasifikasikan risiko banjir (rendah, sedang, tinggi).

Setelah pelatihan selesai, model yang sudah dilatih diuji menggunakan data uji. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi seberapa baik model mampu memprediksi potensi banjir pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung metrik-metrik seperti akurasi, *precision*, *recall*, dan F1-score. Sistem dapat dikatakan akurat jika memenuhi syarat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Syarat Sistem Dapat Dikatakan Akurat**

Kriteria Pengujian	Syarat Sistem
Akurasi Prediksi	$\geq 80\%$
Tingkat <i>Precision</i> dan <i>Recall</i>	$\geq 70\%$
Evaluasi Kinerja (F1-score)	$\geq 0,75$

Syarat akurasi prediksi di atas 80% dipilih karena menurut (Hastie et al., 2009) dalam *The Elements of Statistical Learning*, model yang memiliki akurasi di atas 80% menunjukkan bahwa model mampu mempelajari pola yang relevan dari data dan dapat diandalkan untuk membuat prediksi yang tepat dalam konteks penerapan di dunia nyata. Dalam kasus sistem peringatan dini banjir, akurasi yang lebih rendah dari 80% dapat menyebabkan banyak prediksi salah, baik itu false positives (peringatan yang salah) atau false negatives (banjir yang tidak terdeteksi), yang berisiko besar terhadap keselamatan publik.

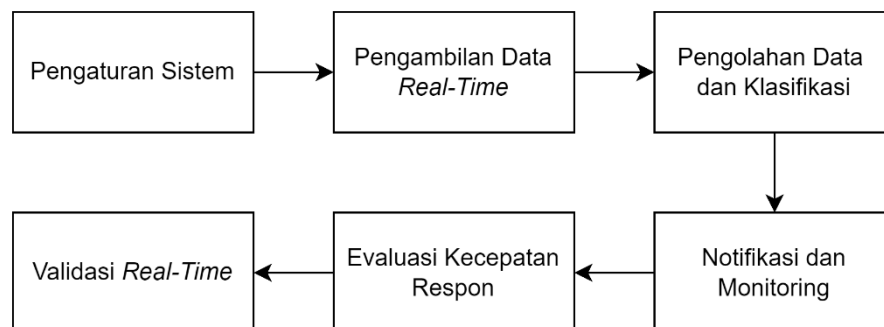
Selanjutnya, syarat *precision* dan *recall* yang tinggi, khususnya pada klasifikasi risiko banjir tinggi, sangat penting. (Powers, 2011) menekankan bahwa *precision* tinggi diperlukan untuk menghindari terlalu banyak peringatan palsu, yang dapat mengganggu kepercayaan pengguna terhadap sistem. Sementara itu, *recall* tinggi penting untuk memastikan bahwa sistem tidak gagal mendeteksi

potensi banjir yang sebenarnya terjadi. Dalam sistem yang bertujuan untuk menyelamatkan nyawa atau mengurangi dampak banjir, *recall* yang tinggi lebih diutamakan untuk meminimalkan risiko banjir yang tidak terdeteksi. Dalam kasus ini, nilai *precision* dan *recall* yang ideal adalah minimal 70%. Jika *precision* dan *recall* di bawah 70%, maka perlu dilakukan optimasi lebih lanjut pada model dan *preprocessing* data.

Terakhir, *F1-score* minimal 0,75 dipilih untuk mengukur keseimbangan antara *precision* dan *recall*. (Sokolova & Lapalme, 2009) menunjukkan bahwa *F1-score* digunakan ketika penting untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan sistem untuk menghindari prediksi salah (*precision*) dan mendeteksi semua kejadian yang penting (*recall*). Dalam kasus peringatan dini bencana banjir, *F1-score* yang lebih tinggi menunjukkan bahwa model tersebut mampu memberikan kinerja yang konsisten dan andal untuk berbagai kondisi cuaca.

Langkah terakhir pengujian akurasi sistem adalah validasi hasil prediksi dengan membandingkannya dengan data aktual, memastikan bahwa model mampu memberikan hasil yang akurat.

#### 4.6.2 Pengujian *Real-Time*



**Gambar 4.5 Alur Pengujian *Real-Time* Sistem**

Gambar 4.5 menjelaskan langkah-langkah pengujian *real-time* yang dilakukan untuk menilai apakah sistem dapat merespons secara cepat dan tepat dalam situasi sebenarnya. Pengujian ini dilakukan dengan memasang seluruh perangkat keras yang terlibat, termasuk sensor curah hujan, suhu, kelembapan, dan GPS yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32.

Langkah pertama dalam pengujian ini adalah menyiapkan seluruh perangkat keras yang terlibat, termasuk memasang sensor MPX5010, SHT20, dan GPS serta menghubungkannya dengan mikrokontroler ESP32. Setelah perangkat siap, sistem mulai mengambil data sensor secara *real-time*, di mana setiap data yang dihasilkan diperbarui secara berkala setiap lima detik. Data yang dikumpulkan dari sensor kemudian langsung diolah oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan algoritma Decision Tree untuk mengklasifikasikan potensi banjir berdasarkan parameter yang diukur. Tahapan ini dilakukan dengan cepat untuk memastikan bahwa hasil prediksi dapat segera dikirimkan kepada pengguna.

Sistem juga diuji stabilitasnya dalam berbagai kondisi, seperti variasi curah hujan atau gangguan jaringan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat tetap berfungsi optimal meskipun dalam kondisi *real-time* yang dinamis. Selain itu, ada beberapa syarat pada tabel 4.5 yang harus dipenuhi agar sistem dikatakan *real-time*.

**Tabel 4.5 Syarat Sistem Dapat Dikatakan *Real-Time***

Kriteria Pengujian	Syarat Sistem
Waktu Respon	Latensi maksimal 5 detik sejak data diambil hingga notifikasi
Stabilitas dan Konsistensi	Stabil dalam kondisi bervariasi
Pembaharuan Data Berkala	Data diperbarui setiap 5 detik sekali

Syarat latensi maksimal 5 detik dipilih untuk memastikan bahwa sistem mampu memproses dan merespons data sensor secara cepat dan sesuai dengan kebutuhan *real-time*. (Shi et al., 2016) dalam penelitian tentang *Edge Computing* menyatakan bahwa dalam aplikasi yang memerlukan pengambilan keputusan cepat seperti sistem peringatan bencana, latensi rendah sangatlah penting. Sistem peringatan dini harus merespons dalam waktu yang sangat singkat untuk memberikan pengguna waktu yang cukup untuk mengambil tindakan. Jika latensi lebih dari 5 detik, ada risiko informasi yang dikirim tidak lagi relevan dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Stabilitas dan konsistensi juga merupakan syarat penting karena sistem yang dirancang untuk peringatan banjir harus berfungsi dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. (Dastjerdi & Buyya, 2016) dan (Yi et al., 2015) menyebutkan dalam penelitian mereka bahwa aplikasi IoT dan edge computing harus mampu beroperasi dengan baik meskipun terjadi gangguan jaringan atau variasi beban kerja. Sistem peringatan dini yang tidak stabil akan menurunkan kepercayaan pengguna dan dapat menyebabkan kegagalan dalam memberikan peringatan yang tepat waktu selama kondisi krisis.

Syarat pembaharuan data secara berkala (setiap 5 detik) memastikan bahwa data yang diambil dari sensor selalu *up-to-date* dan dapat memberikan informasi yang relevan kepada pengguna. Dalam penelitian oleh (Shi et al., 2016) dan (Shi & Dustdar, 2016), mereka menekankan pentingnya pembaruan data yang cepat dalam aplikasi IoT dan *edge computing* untuk menjaga responsivitas sistem dalam waktu nyata. Jika data diperbarui terlalu lambat, ada risiko besar bahwa kondisi aktual di lapangan tidak tercermin dengan tepat dalam hasil yang dikirimkan ke pengguna, yang bisa menyebabkan peringatan yang salah atau tertunda.

Langkah terakhir pengujian *real-time* adalah validasi akhir yang dilakukan dengan memastikan bahwa prediksi yang diberikan oleh sistem sesuai dengan kondisi nyata yang terjadi di lapangan, sehingga sistem dapat diandalkan dalam situasi darurat banjir.



## BAB V

### JADWAL PENELITIAN

No	Nama Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Analisis Permasalahan																
2	Studi Literatur																
3	Perancangan Sistem																
4	Implementasi Hardware																
5	Pengujian Hardware																
6	Pengumpulan Data																
7	Preprocessing data																
8	Pelatihan Algoritma																
9	Validasi Model Machine Learning																
10	Evaluasi Sistem																
11	Penyusunan Laporan Penelitian																

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2021. *Populasi Ayam Ras Pedaging menurut Provinsi (Ekor)*, s.l.: Badan Pusat Statistik.
- Borges, S. A. et al., 2004. Effects of diet and cyclic daily heat stress on electrolyte, nitrogen and retention by colostomized male broiler chickens.. *Int J Poult Sci*, 3(5), pp. 313-321.
- Czarick, M. & Fairchild, B. D., 2008. Poultry housing for hot climates. *Poultry Production hot Climates Second Edition. Trowbridge (UK). Cromwell Press*.
- Etches, R. J., John, T. M. & Gibbins, A. M. V., 2008. Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress.. *Poultry production in hot climates*, 1(2), pp. 48-79.
- Kasim, A. A., Maulana, R. & Setyawan, G. E., 2019. Implementasi Otomasi Kandang dalam Rangka Meminimalisir Heat Stress. *Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(2), pp. 1403-1410.
- Liu, L. et al., 2020. Heat stress impacts on broiler performance: a systematic review and meta-analysis. *Poult Sci*, 99(11), pp. 6205-6211.
- Prasetyaningtyas, K., 2023. *BMKG*. [Online] Available at: <https://www.bmkg.go.id/iklim/dinamika-atmosfir.bmkg> [Diakses 20 September 2023].
- Putra, C. G. N., Maulana, R. & Fitriyah, H., 2018. Otomasi Kandang Dalam Rangka Meminimalisir Heat Stress Pada Ayam. *Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(1), pp. 387-394.
- Tamzil, M. H., 2014. Stres Panas pada Unggas: Metabolisme, Akibat dan. 24(2), pp. 57-66.
- Teeter, R. G. et al., 1985. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. *Polt. Sci*, 64(6), pp. 1060-1064.

Zhang, C. et al., 2017. Resveratrol alleviates heat stress-induced impairment of intestinal morphology, microflora, and barrier integrity in broilers. *Poult. Sci*, 96(12), pp. 4325-4332.

