

**LAPORAN EMBEDDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
CAPSTONE PROJECT**

**SMART WATER METER: SISTEM MONITORING KONSUMSI  
DAN DETEKSI ANOMALI AIR RUMAH TANGGA**



**Disusun Oleh:**

- |                            |                    |                   |
|----------------------------|--------------------|-------------------|
| 1. Dzakwan Athallah P.     | Teknik Informatika | (225150207111048) |
| 2. Manfredy Patarida H. M. | Teknik Komputer    | (225150301111006) |
| 3. Erlinda Butarbutar      | Teknik Komputer    | (225150301111007) |
| 4. Angeline Indah N. K.    | Teknik Komputer    | (225150301111014) |
| 5. Fahrudin Bintang P.     | Teknik Komputer    | (225150301111017) |

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

**LAPORAN EMBEDDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
CAPSTONE PROJECT**

**JUDUL:**

**Smart Water Meter: Sistem Monitoring dan Deteksi Anomali Air Rumah  
Tangga**

**Anggota Tim:**

- |                           |                    |                   |
|---------------------------|--------------------|-------------------|
| 1. Dzakwan Athallah P.    | Teknik Informatika | (225150207111048) |
| 2. Manfredy Patarida H M. | Teknik Komputer    | (225150301111006) |
| 3. Erlinda Butarbutar     | Teknik Komputer    | (225150301111007) |
| 4. Angeline Indah N. K.   | Teknik Komputer    | (225150301111014) |
| 5. Fahrudin Bintang P.    | Teknik Komputer    | (225150301111017) |

Laporan ini disusun untuk memenuhi nilai pada Mata Kuliah EMBEDDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE, CLOUD COMPUTING, DAN FAULT TOLERANT yang merupakan bagian dari Capstone Project Mahasiswa Prodi Ilmu Komputer

Malang, 28 Maret 2025

Menyetujui,

Dosen Koordinator MK Embedded Artificial Intelligence,

**Agung Setia Budi, S.T., M.Eng., M.T., Ph.D.**

## RINGKASAN

Proyek Smart Water Meter merupakan inovasi yang bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan konsumsi air rumah tangga secara *real-time* serta mendeteksi anomali penggunaan air, seperti kebocoran dan pemakaian berlebih. Sistem ini dirancang menggunakan sensor flow meter dan sensor tekanan serta teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk menganalisis pola penggunaan serta memberikan estimasi biaya air yang lebih akurat. Selain itu, implementasi strategi *Fault Tolerant System* memastikan keandalan sistem dalam menghadapi gangguan perangkat keras maupun jaringan. Data pemakaian air dan hasil analisis dapat diakses secara online melalui *platform* Blynk, memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi air kapan saja dan di mana saja. Dengan adanya sistem ini, diharapkan masyarakat dapat lebih sadar akan penggunaan air, mengoptimalkan konsumsi, serta mengurangi pemborosan dan risiko kebocoran, sehingga berkontribusi pada pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien.

## DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
<u>A.</u> Latar Belakang Masalah .....	1
<u>B.</u> Rumusan Masalah.....	2
<u>C.</u> Tujuan .....	2
<u>D.</u> Batasan Masalah .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
<u>A.</u> Kajian Teori .....	5
<u>B.</u> Dasar Teori .....	8
BAB III METODOLOGI.....	11
<u>A.</u> Analisis <i>Constraint</i> .....	11
<u>B.</u> Analisis kebutuhan .....	14
<u>C.</u> Analisis solusi.....	15
<u>D.</u> Skenario Pengujian Sistem .....	18
BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI .....	20
<u>A.</u> Perancangan .....	20
<u>B.</u> Implementasi .....	27
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	40
<u>A.</u> Pengujian.....	40
<u>B.</u> Analisis Dan Pembahasan.....	43
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
<u>A.</u> KESIMPULAN .....	46
<u>B.</u> SARAN .....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	51

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel I.</b> Kriteria dan Pembobotan Solusi Alternatif.....	18
<b>Tabel II.</b> Skenario Pengujian Penggunaan Air Normal .....	19
<b>Tabel III.</b> Skenario Pengujian Kebocoran Pipa .....	19
<b>Tabel IV.</b> Skenario Pengujian Sensor Tekanan .....	19
<b>Tabel V.</b> Sensor Layer.....	22
<b>Tabel VI.</b> Edge Layer.....	22
<b>Tabel VII.</b> Cloud Layer.....	23
<b>Tabel VIII.</b> GPIO pada YF-S201 .....	27
<b>Tabel IX.</b> Implementasi Code dengan Median untuk Redundansi.....	28
<b>Tabel X.</b> Implementasi Code Pressure .....	29
<b>Tabel XI.</b> Implementasi Code dengan Median untuk Redundansi.....	29
<b>Tabel XII.</b> Implementasi Code Pelatihan ELM .....	33
<b>Tabel XIII.</b> Implementasi Code Konversi ke C Header .....	35
<b>Tabel XIV.</b> Implementasi Code Konversi ke C Header.....	36
<b>Tabel XV.</b> Implementasi Code Virtual Pin pada Blynk .....	37
<b>Tabel XVI.</b> Implementasi Code Virtual Pin pada Blynk .....	39
<b>Tabel XVII.</b> Komponen yang Diuji.....	41

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar I.</b> Diagram Metode V-Module.....	20
<b>Gambar II.</b> Arsitektur Sistem .....	21
<b>Gambar III.</b> Perhitungan Sigmoid .....	25
<b>Gambar IV.</b> Dashboard Monitoring.....	26
<b>Gambar V.</b> Notifikasi Kebocoran pada Blynk.....	26
<b>Gambar VI.</b> Implementasi YF-S201 pada alat .....	27
<b>Gambar VII.</b> Implementasi Sensor Pressure pada alat.....	28
<b>Gambar VIII.</b> Evaluasi Hasil .....	33
<b>Gambar IX.</b> Confusion Matrix .....	33

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Pemborosan air yang memicu kekeringan di tingkat rumah tangga dipicu oleh kombinasi beberapa faktor. Tarif air yang relatif rendah sering kali membuat masyarakat kurang memperhatikan efisiensi penggunaan air, sehingga cenderung menggunakannya secara berlebihan. Sebagai contoh, di Penang, Malaysia, tarif air yang tidak pernah naik sejak tahun 1993 telah mendorong tingkat konsumsi air domestik hingga di atas 300 liter per orang per hari, jauh melebihi standar optimal yang ditetapkan oleh WHO, yaitu 100-200 liter per orang per hari.

Di sisi lain, peningkatan standar hidup turut mendorong pola konsumsi air yang lebih tinggi, seiring dengan gaya hidup yang semakin nyaman dan modern. Kegiatan seperti mandi, wudhu, dan penggunaan toilet berkontribusi signifikan terhadap total konsumsi air rumah tangga. Studi di Kota Bandung menunjukkan bahwa mandi menyumbang 32% dari total konsumsi air harian per orang, wudhu 27%, dan penggunaan toilet 18%. Pada studi yang sama, menyebutkan konsumsi air per kapita pada rumah tangga ekonomi lemah (pendapatan kurang dari Rp 1.250.000 per bulan) sebesar 149 L/orang/hari sedangkan rumah tangga ekonomi tinggi (pendapatan lebih dari Rp 15.000.000 per bulan) memiliki tingkat konsumsi air 180 L/orang/hari, hal ini tentunya melebihi pemakaian air yang sudah ditetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI), yang menetapkan bahwa kebutuhan air bersih untuk rumah tinggal adalah 120 liter per orang per hari.

Kurangnya kesadaran akan volume air yang dikonsumsi, diperparah dengan tidak adanya alat pantau akurat yang memberikan informasi seberapa besar air yang digunakan setiap hari. Tanpa alat pemantau, masyarakat sulit mengetahui apakah konsumsi air mereka sesuai standar atau berlebihan. Kebocoran air yang tidak terdeteksi pada instalasi rumah juga dapat menjadi masalah serius yang sering kali luput dari perhatian. Meskipun terlihat sepele, kebocoran kecil yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan pemborosan air dalam jumlah besar, meningkatkan tagihan air, serta berpotensi merusak struktur bangunan akibat kelembaban berlebih. Penyebab utama kebocoran bisa berasal dari pipa yang retak, sambungan yang longgar, atau kerusakan pada perlengkapan seperti keran dan toilet. Tanpa adanya deteksi yang efektif, kebocoran ini sulit ditemukan hingga dampaknya menjadi lebih besar.

Maka dari itu, pengembangan sistem *Smart Water Meter* menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi masalah ini. Sistem ini dapat mendeteksi

penggunaan air abnormal secara *real-time*, memberikan peringatan dini kepada pengguna, menyediakan data konsumsi air, serta biaya tagihan yang dihitung berdasarkan pemakaian secara akurat. Dengan teknologi berbasis sensor dan kecerdasan buatan sistem akan membantu meningkatkan kesadaran masyarakat, mengoptimalkan penggunaan air, menghemat biaya dan mencegah krisis air di masa depan.

## **B. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang sistem *Smart Water Meter* yang mampu memantau konsumsi air secara *real-time* dan memberikan estimasi biaya penggunaan air?
2. Bagaimana implementasi strategi *Fault Tolerant System* pada *Smart Water Meter* untuk meningkatkan keandalan dan mencegah kegagalan sistem akibat gangguan *hardware* dan jaringan?
3. Bagaimana efektivitas algoritma AI dalam mendeteksi kebocoran dengan tingkat akurasi yang tinggi?

## **C. Tujuan**

1. Merancang dan membangun *Smart Water Meter* yang dapat memantau konsumsi air secara *real-time* serta memberikan estimasi biaya PDAM berdasarkan pola penggunaan.
2. Menerapkan strategi *Fault Tolerant System* pada *Smart Water Meter* untuk meningkatkan keandalan sistem dan memastikan operasional tetap berjalan meskipun terjadi kegagalan *hardware* dan jaringan.
3. Mengembangkan dan menguji efektivitas algoritma AI dalam mendeteksi kebocoran pipa dengan tingkat akurasi yang tinggi.

## **D. Batasan Masalah**

1. *User* (Pengguna):
  - Sistem ini dirancang untuk rumah tangga sebagai pengguna utama.
  - Pengguna dapat mengakses data konsumsi air dan notifikasi melalui *dashboard* berbasis aplikasi *mobile*.
2. Data yang Dikelola:
  - Input
    - A. *Flow meter* untuk membaca aliran air dalam Liter per Meter (LPM).



- B. Sensor tekanan untuk mengukur tekanan air dalam PSI untuk mendeteksi kebocoran.
- C. RTC (Real-Time Clock) memberikan *time stamp* untuk pencatatan data secara akurat.
- Output
  - A. *Dashboard* monitoring untuk menampilkan hasil monitoring konsumsi air, parameter yang ditampilkan yaitu *flow rate*, *water usage*, tekanan air, estimasi biaya PDAM, dan visualisasi grafik pemakaian air.
  - B. Menghitung total konsumsi air dalam meter kubik dan mengalikan dengan tarif PDAM untuk memberikan estimasi biaya.
  - C. Prediksi AI berupa deteksi terjadinya kebocoran pada pipa.
  - D. Notifikasi peringatan jika terdeteksi kebocoran di beberapa titik pipa. Jika terdeteksi kebocoran, sistem akan memberikan kemungkinan lokasi bocor yang diidentifikasi dari keabnormalan sensor *flow meter* yang disebar di beberapa titik.
- 3. Metode Pengembangan:
  - Metode pengembangan perangkat lunak: *Metode V-Model (Verification and Validation Model)*, untuk menjamin kualitas tinggi melalui pengujian pada setiap tahap pengembangan sistem.
- 4. Spesifikasi *Hardware* dan *Software*:
  - *Hardware* (Perangkat Keras):
    - A. Sensor Flow Meter YF-S201
    - B. Pressure Transmitter 5V
    - C. Mikrokontroler ESP32
    - D. RTC DS3231
  - *Software* (Perangkat Lunak):
    - A. Bahasa pemrograman C++ (Arduino IDE) untuk firmware ESP32
    - B. Protokol Wi-Fi untuk pengiriman data ke Blynk
    - C. Cloud IoT Platform (Blynk Cloud) untuk *monitoring*.
- 5. Teknik Pengujian:
 

Dalam pendekatan V-Model, setiap tahap pengembangan memiliki pasangan pengujian yang sesuai, yaitu :

- Unit Testing (Pengujian Unit Komponen *Hardware* dan *Software*)  
Menguji komponen individu secara terpisah seperti sensor flow meter, tekanan air, RTC, pengiriman data ke Blynk, dan pemanggilan model ELM.
- Integration Testing (Pengujian Integrasi Komponen)  
Menguji interaksi antar modul *hardware* dan *software*. Pengujian dilakukan untuk memastikan data dari sensor berhasil dibaca ESP32, diproses oleh AI, dan dikirim ke Blynk.
- System Testing (Pengujian Secara Utuh)  
Menilai fungsionalitas penuh sistem. Pada testing ini dilakukan verifikasi bahwa sistem mencatat konsumsi air, memprediksi kebocoran, dan menampilkan semua data ke *dashboard* pengguna.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kajian Teori

#### 1. Smart Water Buddy: IoT-based Intelligent Domestic Water Management System

Dalam penelitian ini, sistem manajemen air domestik cerdas berbasis IoT dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air di rumah tangga. Sistem ini menggunakan berbagai komponen perangkat keras seperti sensor aliran air, modul komunikasi berbasis IoT, serta mikrokontroler sebagai pusat kendali. Data yang diperoleh dari sensor diproses menggunakan teknik *machine learning* untuk mengidentifikasi pola konsumsi air dan memberikan rekomendasi optimalisasi. Model *machine learning* yang digunakan dalam penelitian ini mencakup algoritma klasifikasi dan regresi untuk memprediksi kebutuhan air serta mendeteksi kebocoran secara otomatis. Teknologi ini berkontribusi dalam efisiensi manajemen air serta membantu pengguna dalam mengontrol konsumsi air secara lebih cerdas.

#### 2. Consumers Activity Prediction in Household Water Consumption Based on IoT (Internet of Things)

*Paper* ini menjelaskan tentang krisis air global yang telah mempengaruhi banyak negara menuntut adanya sistem pemantauan air pintar yang dapat membantu mengurangi kelangkaan air. Saat ini, beberapa perusahaan teknologi telah mengembangkan sistem pemantauan air pintar, namun biaya yang tinggi membuatnya sulit diakses oleh sebagian besar masyarakat. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah sistem pemantauan air pintar yang inovatif dan berbiaya rendah dengan kemampuan memprediksi konsumsi air dalam aktivitas rumah tangga. Sistem ini mengintegrasikan konsep IoT dengan menggunakan sensor aliran air yang terhubung ke mikrokontroler NodeMCU 8266. Data yang diperoleh dari sensor tersebut disimpan dalam "*cloud storage*", memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi air mereka melalui aplikasi web yang telah dikembangkan. Melalui sistem ini, pengguna dapat mengetahui jumlah air yang mereka gunakan untuk berbagai aktivitas rumah tangga, seperti mandi, mencuci tangan, atau menggunakan mesin cuci. Dengan kemampuan untuk memprediksi pola konsumsi air secara akurat, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat

terhadap pentingnya penghematan air, sehingga dapat berkontribusi dalam menjaga keberlanjutan sumber daya air di masa depan.

### **3. Internet of Things (IoT) for Water Quality Monitoring and Consumption Management**

*Paper* ini menjelaskan desain, pengembangan, dan implementasi sistem pengukuran konsumsi air serta pemantauan kualitas air berbasis IoT. Dua permasalahan utama terkait konsumsi air, khususnya di Bangladesh, adalah tingginya pemborosan air akibat kurangnya sistem pengelolaan air yang memadai serta buruknya kualitas air minum. Kualitas air minum di Bangladesh telah menjadi masalah serius, namun hingga saat ini masih sangat sedikit atau bahkan tidak ada cara yang efektif untuk memantau kualitas air yang dikonsumsi oleh masyarakat. Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, dikembangkan sistem pemantauan air pintar berbasis *mobile* yang mengintegrasikan pengukuran konsumsi air dan pemantauan kualitas air. Sistem ini memungkinkan kualitas air keran di rumah tangga untuk dipantau secara *real-time* melalui aplikasi web atau *mobile*. Selain itu, konsumsi air harian dan bulanan juga dicatat dalam basis data untuk keperluan penagihan. Seluruh proses, termasuk pengukuran, pemantauan, dan pembayaran tagihan, dilakukan secara jarak jauh dan *online* menggunakan teknologi IoT. Solusi yang diusulkan ini mengintegrasikan IoT, perangkat keras, dan perangkat lunak, sehingga dapat menjamin ketersediaan air minum yang sehat dan aman serta berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi pemborosan air.

### **4. Automated Household Water Supply Monitoring & Billing System**

*Paper* ini menjelaskan penelitian terkait pemantauan dan penagihan suplai air rumah tangga. Dalam proyek ini, Arduino Mega 2560 digunakan bersama dengan *double relay* untuk mengotomatisasi fitur pengalihan, serta sensor level air dan sensor aliran air yang berfungsi mendeteksi ketinggian serta jumlah air yang digunakan. Salah satu fitur utama dari sistem ini adalah pengalihan otomatis pompa air DC berdasarkan tingkat air yang tersedia dalam reservoir, serta tampilan jumlah air yang digunakan di setiap blok. Untuk menampilkan informasi tersebut, digunakan LCD *Alphanumeric Display*. Selain itu, sistem ini juga mencakup kapasitas penggunaan air yang telah ditetapkan untuk setiap

lantai, serta sistem penagihan yang disesuaikan dengan jumlah penggunaan.

#### **5. Sistem Monitoring Penggunaan Air PDAM pada Rumah Tangga Menggunakan Mikrokontroler NODEMCU Berbasis Smartphone ANDROID**

*Paper* ini menjelaskan bahwa, saat ini Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) masih menggunakan sistem manual dalam pencatatan penggunaan air, di mana petugas harus mendatangi rumah pelanggan untuk mengecek meter air yang masih bersifat analog. Hal ini sering kali menyulitkan pelanggan dalam membaca jumlah konsumsi air secara akurat. Sebagai solusi, dikembangkan sebuah alat pemantauan penggunaan air berbasis digital dan *online* yang dapat diakses melalui *smartphone* secara *real-time*. Sistem ini menggunakan sensor *flow water* untuk mengukur debit air yang mengalir melalui pipa, lalu data yang diperoleh akan diproses oleh mikrokontroler NodeMCU. Hasil pengukuran ini kemudian ditampilkan pada LCD serta dapat diakses melalui perangkat seluler. Dengan adanya sistem ini, masyarakat dapat mengetahui jumlah penggunaan air harian mereka, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dalam menghemat air.

#### **6. Sistem Monitoring Konsumsi Air Rumah Tangga Berbasis Website**

*Paper* ini menjelaskan bahwa perkembangan teknologi telah membawa perubahan signifikan, termasuk dalam digitalisasi sistem pemantauan konsumsi air rumah tangga. Saat ini, pemantauan konsumsi air masih menggunakan meteran air analog, yang memiliki keterbatasan dalam menyajikan informasi. Meter air analog hanya menampilkan jumlah pemakaian dalam bentuk kubikasi tanpa informasi rinci mengenai debit air atau perkiraan biaya konsumsi, sehingga sulit untuk dipahami oleh pengguna. Sebagai solusi, dikembangkan sistem pemantauan konsumsi air berbasis *website* yang menggantikan sistem analog dengan teknologi digital. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 sebagai prosesor utama, serta sensor water flow YF-S201 untuk mengukur debit dan jumlah konsumsi air. Data yang diperoleh ditampilkan melalui LCD dan web server, dengan mikrokontroler ESP32 bertugas mengirimkan data sensor ke database web server. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat beroperasi dengan baik. Pembacaan volume air memiliki

rata-rata eror sebesar 4,61%, sementara transmisi data melalui ESP32 berjalan lancar, memungkinkan web server menampilkan informasi dengan akurat. Dengan adanya sistem ini, pemantauan konsumsi air menjadi lebih mudah dan akurat, sehingga dapat membantu pengguna dalam mengelola penggunaan air secara lebih efisien.

## B. Dasar Teori

### 1. Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT)

*Artificial Intelligence Internet of Things* merupakan paradigma baru yang menggabungkan teori *Artificial Intelligence* dan *Internet of Things*. AIoT bekerja dengan mengintegrasikan model *machine learning* ke dalam suatu mikrokontroler. Ciri-ciri dari AIoT adalah dapat menjalankan algoritma *machine learning* atau *deep learning* dengan batasan sumber daya yang terbatas dalam waktu nyata (Kah Phooi Seng et al, 2022). Integrasi antara *Internet of Things* dan *Artificial Intelligence* membantu interaksi manusia dengan mesin, meningkatkan kecepatan pengambilan keputusan, dan memfasilitasi operasi yang lebih efisien (Shakhrul Iman Siam et al, 2025).

#### 1.1 Embedded Artificial Intelligence

*Embedded Artificial Intelligence* adalah integrasi *Artificial Intelligence* ke dalam suatu perangkat yang terbatas secara komputasi (Hsiao-Ying Lin, 2023). Berbeda dengan *edge AI* yang dijalankan pada suatu server *edge*, *embedded AI* dilakukan langsung pada perangkat tersebut. Karena komputasi yang terbatas, digunakan model *Artificial intelligence* yang ringan agar dapat berjalan pada perangkat tanam. Karena hal tersebut, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti perangkat yang digunakan, penggunaan akselerasi perangkat, melakukan kompresi model, dan meningkatkan dukungan perangkat keras untuk model AI (Zhaoyun Zhang dan Jingpeng Li, 2023).

#### 1.2 Artificial Neural Network

*Artificial Neural Network* merupakan salah satu implementasi *Artificial Intelligence*. *Artificial Neural Network* dibuat berdasarkan cara bekerja sistem saraf dalam manusia. *Artificial Neural Network* terdiri atas model-model yang ditentukan dalam hubungan kompleks antara input dan outputnya (Roheen Qamar dan Baqar Ali Zardari, 2023). Secara mendasar, *Artificial Neural Network* terdiri atas input *layer* yang menerima masukan

dimana didalamnya terdapat input neuron. Kemudian terdapat satu atau lebih *hidden layer* dimana perhitungan akan dilakukan yang terdiri atas beberapa *hidden* neuron. Dan terakhir terdapat *output layer* dimana pemilihan terakhir akan dilakukan untuk menentukan output yang tepat. Tiap *layer* dihubungi oleh *weight* dan bias yang akan digunakan dalam perhitungan di tiap *layer*.

### 1.3 Extreme Learning Machine

*Extreme Learning Machine* merupakan suatu algoritma *Artificial Neural Network* yang bekerja menggunakan *Single Layer Feedforward Neural Network* (SLFN). Dalam *Extreme Learning Machine*, hanya dilakukan dalam satu *epoch* dan menggunakan satu *hidden layer* saja. Dari *Extreme Machine Learning*, didapatkan bahwa SLFN (dengan N *hidden* neuron) dengan nilai *weight* sembarang dapat mempelajari N observasi yang unik dengan eror yang lumayan kecil (Guang-Bin Huang et al., 2004). *Extreme Learning Machine* bekerja dengan menggunakan matriks *Moore-Penrose Generalized Inverse* yang digunakan dalam perhitungan di *hidden layer*.

## 2. ESP-32

ESP-32 merupakan suatu mikrokontroller *System on Chip* (SoC) dengan modul Wi-Fi dan *bluetooth* yang terintegrasi (Marek Babiuch et al., 2019). ESP-32 memiliki berbagai versi tetapi secara umum memiliki prosesor dual core yang bekerja hingga 240 MHz dengan jumlah pin GPIO dari 17 sampai 36. Mikrokontroller ini digunakan karena kemampuan untuk melakukan pemodelan *Artificial Intelligence* dengan efisien. ESP-32 juga memiliki Wi-Fi dan *bluetooth onboard* yang membantu dalam mengirimkan data ke pengguna.

## 3. YF-S201 Flow Meter

YF-S201 merupakan suatu sensor yang mengamati arus suatu aliran air. Sensor ini terbuat dari plastik, rotor air, dan sensor hall effect (Tanvir Rahman et al., 2018). Cara kerja sensor ini adalah dengan mendeteksi kecepatan aliran yang ada di sensor menggunakan efek *hall*. *Hall effect* adalah suatu efek elektromagnetik yang terjadi ketika ada medan magnet yang membuat aliran listrik belok ke pelat konduktor. Sensor ini digunakan karena tingkat akurasi yang tinggi dan harganya yang

murah. Sensor ini bekerja dengan tegangan 5V sehingga diperlukan level shifter.

#### 4. **WISNER WPT-83G-EGG4 (TRANSDUCER 5V)**

Sensor WISNER WPT-83G-EGG4 merupakan *pressure transducer* atau sensor tekanan air yang beroperasi dengan tegangan kerja 5 Volt DC. Sensor ini digunakan untuk mengukur tekanan air dalam sistem perpipaan dan mengubahnya menjadi sinyal tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32. Sensor ini memiliki tiga pin utama yaitu VCC (5V), GND, dan output analog. Ketika sensor terpasang pada jalur pipa, tekanan air akan memengaruhi output tegangan yang dihasilkan, sehingga dapat diinterpretasikan sebagai besaran tekanan tertentu. Nilai tekanan ini kemudian menjadi salah satu parameter penting dalam sistem *Smart Water Meter* yang dirancang, khususnya dalam mendeteksi pola aliran air yang tidak normal seperti kebocoran, maupun dalam memprediksi konsumsi air.

#### 5. **DS3231 Real Time Clock**

DS3231 merupakan modul *Real Time Clock* (RTC) menggunakan baterai koin untuk melakukan pembacaan waktu secara *real-time* dengan jangka waktu yang panjang (Tanvir Rahman et al., 2018). Modul ini digunakan untuk mendapatkan waktu dari pembacaan sensor *water flow* dan *pressure* sensor yang akan dikirimkan ke pengguna. Modul ini memiliki akurasi yang sangat tinggi dengan kompensasi suhu. Modul ini digunakan karena dibutuhkannya sistem *time-logging* untuk pengguna agar mengetahui penggunaan air dalam suatu waktu dan kapan anomali terdeteksi.



## BAB III METODOLOGI

### A. Analisis *Constraint*

Dalam pengembangan *Smart Water Meter*, terdapat beberapa *constraint* (keterbatasan) yang telah diidentifikasi dan perlu dirancang strategi penanganannya agar sistem dapat bekerja secara optimal. *Constraint* ini mencakup aspek *hardware* (perangkat keras), *software* (perangkat lunak), *network* (jaringan), *user* (pengguna), dan *environment* (lingkungan). Berikut analisis mendetail serta strategi penanganan yang dirancang dalam proyek ini.

#### 1. *Hardware Constraints*

##### 1.1 Akurasi Pengukuran Sensor

Sistem menggunakan sensor *flow meter* YF-S201 yang berdasarkan *datasheet* memiliki tingkat kesalahan  $\pm 5\%$ , hal ini dapat menyebabkan ketidaktepatan dalam hasil *monitoring* serta hasil perhitungan konsumsi air. Penggunaan sensor tekanan juga dapat memberikan hasil yang tidak akurat jika kontaminasi udara dalam pipa atau pemasangan yang kurang tepat. Mitigasi yang dilakukan dalam mengatasi masalah ini yaitu dengan melakukan kalibrasi alat untuk meningkatkan pengukuran serta menerapkan *redundancy* sensor untuk mengurangi kesalahan pengukuran akibat kegagalan sensor individu.

##### 1.2 Keterbatasan Mikrokontroler (ESP32)

ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang terbatas untuk menjalankan model AI yang kompleks secara *real-time* bersamaan dengan mengumpulkan dan mengirimkan data sensor. Keterbatasan pada memori juga menjadi batasan dalam menyimpan data historis atau model AI yang lebih besar. Jumlah pin I/O yang tersedia dapat membatasi jumlah sensor dan perangkat tambahan yang diintegrasikan. Strategi penanganan yang digunakan yaitu melakukan optimasi kode *firmware*, pemilihan dan optimasi model ELM agar sesuai dengan kemampuan ESP32.

##### 1.3 Keterbatasan Sumber Daya

Lokasi pemasangan sistem cenderung tidak memiliki akses listrik yang mudah dan andal, hal ini tentunya membatasi konsumsi daya seluruh sistem. Penggunaan baterai sebagai catu daya memiliki masa pakai yang menjadi membutuhkan penggantian atau pengisian ulang secara berkala. Penanganan yang dilakukan yaitu dengan merancang sistem dengan fokus

pada efisiensi daya, menggunakan baterai isi ulang dengan jenis dan kapasitas yang didasarkan pada perkiraan masa pakai yang diinginkan.

#### **1.4 Keterbatasan Ukuran dan Bentuk Perangkat**

Sistem harus didesain dengan ukuran dan bentuk yang sesuai untuk dipasang pada infrastruktur pipa air rumah tangga yang ada. Untuk menghadapi hal ini, sistem dirancang dengan *enclosure* yang ringkas yang disesuaikan dengan opsi pemasangan pada pipa.

## **2. Software Constraints**

### **2.1 Keterbatasan Pengembangan *Firmware***

Pengembangan *firmware* untuk memenuhi kebutuhan sistem seperti membaca banyak sensor, implementasi logika deteksi kebocoran, mengelola komunikasi jaringan, dan menjalankan model AI pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas dapat memakan waktu pengerjaan. Untuk mengatasi keterbatasan dalam pengembangan *firmware*, pendekatan modular dalam perancangan kode diterapkan guna meningkatkan efisiensi serta mempermudah proses *debugging* dan pengujian. Pengujian secara bertahap dengan *unit testing* dan simulasi juga diperlukan untuk memastikan setiap modul berfungsi dengan baik sebelum implementasi pada perangkat keras.

### **2.2 Keterbatasan Model AI**

Akurasi model *Extreme Learning Machine* dalam memprediksi konsumsi air dan mendeteksi anomali akan lebih terbatas dibandingkan dengan model AI yang lebih kompleks, terutama dengan sumber daya komputasi mikrokontroler yang terbatas. Kinerja model AI sangat bergantung pada kualitas dan kuantitas data *training*, sehingga ketersediaan data historis konsumsi air yang relevan dapat menjadi batasan. Untuk meningkatkan akurasi model AI dalam mendeteksi anomali konsumsi air, dilakukan proses pelatihan model dengan dataset yang lebih representatif dan berkualitas. Selain itu, pendekatan *hybrid* dengan kombinasi *rule-based detection* dapat membantu mengurangi kesalahan prediksi. Jika sumber daya komputasi mikrokontroler terbatas, model dapat dioptimalkan dengan metode *pruning* atau *quantization* agar lebih ringan.

### **2.3 Keterbatasan Platform Cloud Blynk**

Output yang dihasilkan oleh sistem ditampilkan melalui *Blynk Cloud* yang tentunya keandalan dan ketersediaan sistem bergantung pada infrastruktur dan layanan *Blynk Cloud*. Fitur yang tersedia pada *Blynk Cloud* mungkin terbatas dan tidak sepenuhnya memenuhi semua kebutuhan proyek dalam hal visualisasi data dan notifikasi. Untuk mengatasi keterbatasan fitur dan keandalan *Blynk Cloud*, sistem dapat menggunakan strategi redundansi dengan menyimpan data sementara secara lokal sebelum dikirim ke *cloud*. Jika diperlukan fitur tambahan seperti analisis data yang lebih kompleks, maka integrasi dengan platform cloud lain AWS IoT dapat menjadi alternatif solusi.

#### **4. User (Pengguna)**

Pengguna memiliki tingkat pengetahuan teknis yang berbeda-beda sehingga dapat mempengaruhi kemampuan dalam menginstal, mengonfigurasi, dan menggunakan sistem. Pengguna juga memerlukan perangkat *mobile* dengan koneksi internet untuk mengakses *dashboard* dan menerima notifikasi. Pengguna juga memerlukan panduan atau visualisasi yang jelas untuk memahami data konsumsi air, estimasi biaya, dan notifikasi kebocoran. Untuk mengakomodasi pengguna dengan tingkat pemahaman teknis yang beragam, diperlukan dokumentasi yang jelas dan tutorial berbasis visual untuk mempermudah instalasi serta konfigurasi sistem. Pengembangan antarmuka yang intuitif pada aplikasi *mobile* juga akan membantu pengguna dalam memahami data konsumsi air dan notifikasi anomali.

#### **5. Environment (Lingkungan)**

Sistem *Smart Water Meter* akan dipasang dilingkungan yang beragam, yaitu area dengan kemungkinan terpapar suhu ekstrem, kelembaban tinggi, dan risiko percikan atau genangan air. Selain itu debu dan kotoran dari lingkungan sekitar juga dapat mempengaruhi kinerja perangkat. Strategi penanganannya adalah memilih *enclosure* (kotak pelindung) dengan *rating IP* (*Ingress Protection*) yang sesuai untuk melindungi komponen elektronik dari debu dan air. Pemilihan komponen elektronik yang memiliki rentang suhu operasi yang lebar juga penting. Pertimbangkan penggunaan lapisan pelindung tambahan (*conformal coating*) pada papan elektronik untuk meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban.

## B. Analisis kebutuhan

### 1. Fungsi Sistem yang Jelas dan Pemecahan Masalah

#### 1.1 Monitoring Konsumsi Air Secara *Real-Time*

Sistem harus dapat mengukur dan menampilkan data penggunaan air (misalnya, *flow rate*, *water usage*, dan tekanan) secara langsung. Fungsi ini menyelesaikan masalah kurangnya informasi akurat tentang pemakaian air yang mengakibatkan pemborosan.

#### 1.2 Estimasi Biaya dan Perhitungan Biaya Tagihan

Berdasarkan data konsumsi, sistem menghitung estimasi biaya PDAM dengan mengalikan volume air yang digunakan dengan tarif yang sesuai dengan daerah. Hal ini membantu pengguna dalam mengetahui besarnya tagihan dan mengantisipasi pemborosan.

#### 1.3 Deteksi Anomali dan Kebocoran

Dengan bantuan algoritma AI (misalnya, model *Extreme Learning Machine*), sistem mendeteksi pola penggunaan air yang tidak biasa (misalnya, lonjakan konsumsi atau aliran air kecil tapi terus-menerus) sehingga memungkinkan deteksi dini kebocoran.

#### 1.4 Notifikasi dan Peringatan:

Sistem mengirimkan notifikasi secara otomatis kepada pengguna apabila terdapat indikasi kebocoran, sehingga pengguna dapat segera mengambil tindakan.

### 2. *Traceability* Setiap Fungsi Spesifikasi

#### 2.1 *Mapping* ke Rumusan Masalah

- 1) Fungsi *monitoring* mengacu pada masalah “kurangnya kesadaran akan volume air yang dikonsumsi” dan “ketidakakuratan data penggunaan air.”
- 2) Fungsi estimasi biaya terkait dengan permasalahan perhitungan tagihan manual yang kurang transparan.
- 3) Fungsi deteksi anomali dan kebocoran merupakan jawaban atas masalah kebocoran air yang tidak terdeteksi.

#### 2.2 Dokumentasi Keterkaitan

Setiap fungsi dijelaskan secara terperinci dalam dokumen spesifikasi dengan referensi ke rumusan masalah pada BAB I, sehingga terdapat *traceability* antara kebutuhan pengguna dan fitur yang

dikembangkan.

### 3. Cara Uji/Mengukur Spesifikasi yang Dijanjikan

#### 3.1 Pengujian Sensor dan Akurasi Data

Lakukan pengujian unit pada sensor *flow meter* dan sensor tekanan untuk memastikan akurasi (misalnya, pengukuran harus berada dalam rentang toleransi yang ditentukan,  $\pm 5\%$ ).

#### 3.2 Validasi Real-Time Monitoring dan Latensi:

Uji coba skenario penggunaan secara real-time untuk memastikan data tampil pada dashboard dengan latensi kurang dari 2 detik.

#### 3.3 Uji Akurasi Prediksi

Simulasi dengan beberapa skenario kebocoran air dengan tingkat deteksi benar (*true positive rate*) minimal 80%.

#### 3.4 Uji Fungsi Notifikasi

Hasil dari simulasi prediksi terjadinya kebocoran air akan dikirimkan melalui notifikasi dengan target latensi pengiriman 1 detik dan *reset* setiap 1 menit pada prototipe.

## C. Analisis solusi

### 1. Alternatif Solusi

#### 1) Solusi 1: *Embedded System* berbasis IoT dan model ELM

- **Arsitektur Sistem:**

1. *Sensor Layer*: Sensor YF-S201 (flow meter) dan WISNER WPT-83G-EGG4 (Transmitter 5V) terhubung ke ESP32.
2. *Edge Layer*: ESP32 menjalankan model *Extreme Learning Machine* (ELM).
3. *Communication*: WiFi sebagai *primary network*.
4. *Cloud Layer*: *Blynk Cloud* untuk *dashboard real-time* dan notifikasi.

- **Keunggulan:**

1. **Biaya Rendah:**

- a. Blynk Cloud gratis untuk penggunaan dasar, ESP32 (~Rp 150.000), dan sensor YF-S201 (~Rp 75.000).

2. **Kemudahan Integrasi Hardware:**

ESP32 memiliki banyak pin input/output (GPIO) dan mendukung berbagai protokol komunikasi seperti I2C, SPI, dan UART, sehingga sangat fleksibel dalam menghubungkan berbagai jenis sensor, termasuk:

- a. YF-S201: sensor flow meter berbasis pulse digital, yang mudah dibaca menggunakan interrupt pada pin digital ESP32.
- b. WISNER WPT-83G-EGG4: sensor tekanan berbasis tegangan analog (0–5V), yang bisa dibaca langsung menggunakan ADC (Analog to Digital Converter) pada ESP32.

Selain itu, ESP32 juga memiliki konektivitas WiFi bawaan, sehingga tidak memerlukan modul tambahan untuk komunikasi cloud. Hal ini memudahkan integrasi antara hardware dan software tanpa banyak komponen eksternal.

### 3. Kemudahan Implementasi Software

- a. Blynk menyediakan *template drag-and-drop* untuk antarmuka *dashboard*.
- b. *Library* Arduino untuk ELM tersedia secara *open-source*.

- **Kelemahan:**

1. **Akurasi Model ELM:**

- a. ELM memiliki akurasi ~85% pada *dataset* kebocoran air (lebih rendah dari CNN yang mencapai 95%).
- b. Risiko *false positive* jika pola konsumsi air tidak terduga (misal: penggunaan mesin cuci dalam durasi panjang).

2. **Fitur Blynk Terbatas**

Analisis data historis hanya tersedia dalam bentuk grafik dasar, tanpa prediksi tren otomatis.

3. **Mitigasi Risiko:**

Redundansi sensor *flow meter* di beberapa titik pipa untuk mengurangi kesalahan pengukuran.

## 2) Solusi 2: *Hybrid Edge-Cloud* dengan AWS IoT dan Model CNN

- **Arsitektur Sistem:**

- a. *Sensor Layer*. Sensor yang sama, tetapi terhubung ke Raspberry Pi 4.

- b. *Edge Layer*: Raspberry Pi menjalankan model CNN untuk analisis anomali.
  - c. *Komunikasi*: WiFi/LTE dengan *fallback* ke penyimpanan lokal.
  - d. *Cloud Layer*: AWS IoT Core untuk manajemen data, Lambda untuk pemrosesan, dan *QuickSight* untuk visualisasi.
- **Keunggulan**
    1. **Akurasi Tinggi**  
CNN mencapai akurasi 95% pada *dataset* kebocoran kompleks (termasuk pola tidak terduga).
    2. **Skalabilitas**  
AWS IoT mendukung jutaan *devices* dan integrasi dengan layanan AI/ML seperti *SageMaker*.
    3. **Fitur Lengkap**  
*QuickSight* menyediakan prediksi tren, analisis kohort, dan laporan PDF otomatis.
  - **Kelemahan:**
    1. **Biaya Tinggi**
      - a. Raspberry Pi 4 (~Rp 800.000) + biaya AWS IoT Core (~\$0.08/GB data).
      - b. Untuk 1.000 pengguna, biaya bulanan mencapai ~\$200.
    2. **Konsumsi Daya**  
Raspberry Pi mengonsumsi 500mA (5x lebih besar dari ESP32).
  - **Mitigasi Risiko:**
    - a. Menggunakan model CNN terkompresi (TensorFlow Lite) untuk mengurangi beban komputasi.
    - b. Mengadopsi *Edge Impulse* untuk optimasi model CNN agar kompatibel dengan Raspberry Pi.

## 2. Pemilihan Solusi Secara Sistematis

### 1) Kriteria dan Pembobotan

Parameter	Bobot	Solusi 1	Solusi 2
Biaya	30%	90	60
Akurasi Deteksi	25%	70	90

Konsumsi Daya	20%	85	50
Kemudahan Implementasi	15%	80	60
Skalabilitas	10%	70	90
Total	100%	79.5	70.5

**Tabel I.** Kriteria dan Pembobotan Solusi Alternatif

## 2) Justifikasi Bobot

- a. Biaya (30%): Proyek ini ditujukan untuk rumah tangga dengan anggaran terbatas. Solusi mahal tidak akan diadopsi secara massal.
- b. Akurasi (25%): Deteksi kebocoran dan anomali adalah inti sistem, tetapi ELM + *rule-based* dianggap cukup untuk skala rumah tangga.
- c. Konsumsi Daya (20%): Mayoritas lokasi pemasangan tidak memiliki akses listrik andal.
- d. Kemudahan Implementasi (15%): Tim memiliki keahlian di Arduino dan Blynk, tetapi minim pengalaman dengan AWS.
- e. Skalabilitas (10%): Solusi 2 lebih unggul, tetapi prioritas utama adalah MVP (*Minimum Viable Product*).

## 3) Keputusan Akhir

Solusi 1 dipilih karena memprioritaskan kelayakan jangka pendek dengan biaya rendah, efisiensi daya, dan kemudahan implementasi. Solusi 2 dapat dipertimbangkan untuk pengembangan fase lanjut (misal: integrasi PDAM skala kota).

## D. Skenario Pengujian Sistem

Skenario pengujian disusun bertujuan untuk memastikan bahwa sistem *Smart Water Meter* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Sistem ini harus dapat membaca konsumsi air rumah tangga, mengirimkan data ke server, menampilkan informasi melalui aplikasi, serta mendeteksi anomali penggunaan air. Skenario pengujian diuraikan pada Tabel I.

Skenario	Langkah Pengujian	Kriteria Keberhasilan
----------	-------------------	-----------------------



Kran Dapur dan Kamar Mandi Tertutup	Pastikan semua kran (dapur dan kamar mandi) dalam keadaan tertutup, tidak ada aliran di seluruh jalur pipa.	Semua flow meter menunjukkan nilai 0 LPM.
Kran Dapur Terbuka	Buka kran dapur sepenuhnya, sedangkan kran kamar mandi tetap tertutup.	Flow meter pada <i>main</i> dan dapur menunjukkan aliran (>0) LPM, serta kamar mandi tetap menunjukkan nilai 0 LPM.
Kran Kamar Mandi Terbuka	Buka kran kamar mandi sepenuhnya, sedangkan kran dapur tetap tertutup.	Flow meter pada <i>main</i> dan kamar mandi menunjukkan aliran (>0) LPM, serta dapur tetap menunjukkan nilai 0 LPM.
Kran Dapur dan Kamar Mandi Terbuka	Buka kran dapur dan kamar mandi secara bersamaan.	Flow meter pada <i>main</i> , kitchen, dan bathroom menunjukkan aliran yang sesuai (semua > 0) LPM.

**Tabel II.** Skenario Pengujian Penggunaan Air Normal

Skenario	Langkah Pengujian	Kriteria Keberhasilan
Kebocoran di Jalur Utama (Sebelum Percabangan)	Tutup semua kran, lalu buka sedikit sambungan pipa sebelum bercabang ke dapur dan kamar mandi.	Flow meter <i>main</i> menunjukkan aliran kecil (> 0) LPM, dapur dan kamar mandi tetap 0.

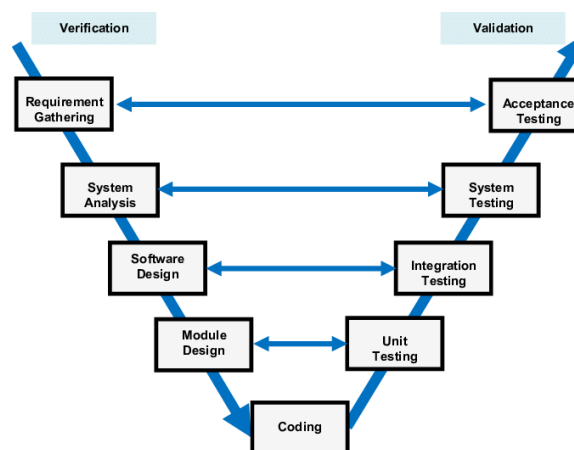
**Tabel III.** Skenario Pengujian Kebocoran Pipa

Skenario	Langkah Pengujian	Kriteria Keberhasilan
Normal (Tanpa Aliran)	Pastikan semua kran tertutup dan tidak ada tekanan berubah.	Flow meter <i>main</i> menunjukkan aliran kecil (> 0), dapur dan kamar mandi tetap 0.
Normal	Buka salah satu kran (dapur atau kamar mandi), amati grafik tekanan.	Tekanan menurun seiring aliran muncul di flow meter.
Deteksi Kebocoran	Tutup semua kran, lalu perlahan bocorkan air agar tekanan turun tanpa flow terdeteksi.	Flow meter = 0 tapi tekanan turun signifikan → indikasi kebocoran.

**Tabel IV.** Skenario Pengujian Sensor Tekanan

## BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini membahas terkait dengan perancangan dan implementasi sistem Smart Water Meter menggunakan metode pengembangan V-Model. Pemilihan metode pengembangan ini didasarkan pada pengujian yang sesuai untuk verifikasi dan validasi disetiap tahap pengembangan seperti persyaratan, desain sistem, desain modul, dan implementasi. Sistem ini dirancang untuk memantau konsumsi air rumah tangga secara real-time, mendeteksi anomali seperti kebocoran menggunakan Embedded Artificial Intelligence (AI) berbasis Extreme Learning Machine (ELM), memberikan estimasi biaya penggunaan air, dan menerapkan strategi Fault Tolerant System untuk keandalan. Bab ini mencakup perancangan arsitektur sistem, definisi prinsip kerja, implementasi unit input, pemroses, dan output, serta pengujian yang selaras dengan V-Model.



**Gambar I.** Diagram Metode V-Module

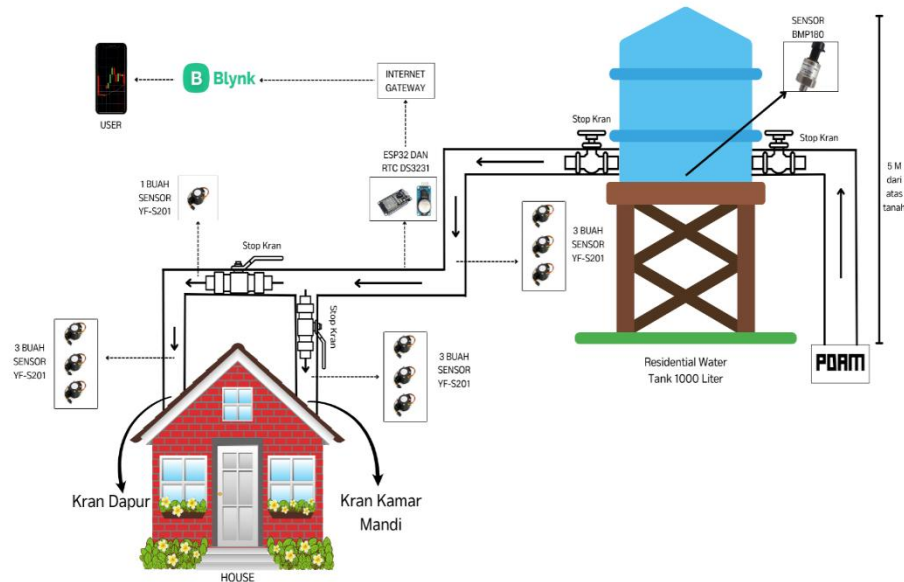
### A. Perancangan

Perancangan sistem dilakukan dalam tahapan V-Model, yaitu Requirements Analysis, System Design, Architectural Design, dan Module Design, yang masing-masing memiliki tahap pengujian terkait (System Testing, Integration Testing, dan Unit Testing).

#### 1. System Design

Sistem Smart Water Meter ini dirancang untuk memantau konsumsi air rumah tangga secara real-time serta mendeteksi kebocoran air dengan cepat dan efisien. Air dari PDAM pertama-tama dialirkan ke tangki penampungan berkapasitas 1000 liter yang ditempatkan pada ketinggian lima meter di atas tanah untuk menghasilkan tekanan gravitasi. Dari tangki ini, air kemudian didistribusikan melalui dua jalur utama, yaitu menuju kran

dapur dan kran kamar mandi. Sebelum air mencapai rumah, jalurnya melewati serangkaian sensor yang akan mencatat data penggunaan.



**Gambar II. Arsitektur Sistem**

Untuk mendeteksi jumlah air yang mengalir, digunakan beberapa unit sensor flow YF-S201. Satu sensor dipasang pada pipa utama setelah tangki untuk mencatat total aliran air yang masuk ke rumah, sementara sensor lainnya dipasang secara terpisah di jalur dapur dan kamar mandi. Sensor ini bekerja berdasarkan jumlah pulsa air yang melewati rotor di dalamnya, dan telah dikalibrasi dengan nilai 7.5 pulsa per liter agar hasil pembacaannya akurat. Di jalur keluaran tangki juga dipasang sensor tekanan berupa transducer 5V yang mampu membaca tekanan air dalam rentang 0 hingga 12 bar. Data dari sensor tekanan ini digunakan untuk menganalisis penurunan tekanan yang tidak wajar, yang biasanya menjadi indikasi kebocoran tersembunyi, meskipun flow meter tidak mencatat adanya aliran.

Seluruh data dari sensor dikumpulkan oleh mikrokontroler ESP32, yang juga terhubung dengan modul RTC DS3231. RTC ini memberikan informasi waktu yang akurat untuk setiap pembacaan sensor, sehingga data yang dikirim ke server atau ditampilkan ke pengguna memiliki konteks waktu yang tepat. ESP32 bertindak sebagai pusat pemrosesan lokal, di mana dilakukan analisis data baik menggunakan pendekatan rule-based

maupun model kecerdasan buatan seperti Extreme Learning Machine (ELM). Sistem ini juga menerapkan metode median voting untuk menangani data yang tidak valid atau sensor yang bermasalah, sehingga output yang ditampilkan tetap akurat meskipun ada satu sensor yang mengalami error.

Setelah diproses, data dikirim secara real-time ke cloud menggunakan koneksi internet rumah yang terhubung dengan ESP32. Data tersebut kemudian ditampilkan melalui aplikasi Blynk di smartphone pengguna. Aplikasi ini menampilkan informasi seperti flow rate di setiap titik, tekanan air, volume air yang digunakan, dan estimasi biaya. Jika sistem mendeteksi kebocoran atau pola penggunaan air yang tidak normal, notifikasi akan segera dikirim ke pengguna dalam waktu kurang dari satu detik. Sistem ini juga dirancang agar tetap dapat menyimpan data secara lokal apabila koneksi internet terputus, dan akan melakukan sinkronisasi otomatis saat koneksi pulih.

Dengan arsitektur ini, Smart Water Meter tidak hanya mampu mencatat dan memantau konsumsi air, tetapi juga mendukung efisiensi penggunaan, deteksi dini kebocoran, dan pengelolaan air secara lebih bijak di tingkat rumah tangga.

Komponen	Fungsi
YF-S201	Mengukur aliran air dalam Liter per Menit (LPM)
WISNER WPT-83G-EGG4 (TRANSDUCER 5VOLT)	Mendeteksi tekanan air untuk indikasi kebocoran
RTC DS3231	Menyediakan timestamp akurat untuk setiap pengukuran

**Tabel V.** Sensor Layer

Komponen	Fungsi
ESP32	Memproses data dari sensor dan menjalankan model AI sederhana
WiFi	Menghubungkan perangkat ke jaringan internet untuk melakukan pengiriman data
Blynk Protocol	Mengirim data dari perangkat ke cloud secara efisien dan aman

**Tabel VI.** Edge Layer

Komponen	Fungsi
Blynk	Menjadi penyedia dashboard dan tempat dimana data ditampilkan

**Tabel VII.** Cloud Layer

## 2. Definisi dan prinsip kerja sistem

### a. *Requirements Analysis*

#### i. Pengukuran Konsumsi Air

Data input yang digunakan dalam pengukuran ini diambil dari sensor flow meter dan sensor tekanan transducer 5 volt. Prinsip kerja dari tiap sensor tersebut diantaranya

##### 1. Sensor YF-S201 (3 unit per kran, total 9 unit)

Efek Hall, rentang aliran 1–30 LPM, akurasi  $\pm 5\%$ , output pulsa digital (7.5 pulsa/liter, frekuensi maksimum 450 Hz pada 30 LPM), tegangan 5 V, arus 15 mA. otor magnetik menghasilkan pulsa proporsional dengan kecepatan aliran, dihubungkan ke GPIO ESP32 (pin 25, 27, 26 untuk main pipe; 33, 32, 35 untuk bathroom; 4, 18, 19 untuk kitchen). Pemrosesannya dihitung melalui interrupt, dikonversi ke LPM (laju aliran) dengan rumus:

$$flow\ rate\ (LPM) = \frac{Pulse\ count \times 60t}{7.5}$$

Volume dalam meter kubik diakumulasikan:

$$Volume(m^3) = \frac{Total\ Pulsa}{7.5 \times 1000}$$

Tiga YF-S201 per kran memungkinkan deteksi kegagalan sensor (deviasi  $>0.5$  LPM), dengan algoritma median cerdas memilih nilai valid.

##### 2. Sensor Tekanan WISNER WPT-83G-EGG4

Sensor tekanan WISNER WPT-83G-EGG4 adalah sensor analog yang dirancang untuk mengukur tekanan air dalam sistem perpipaan, ideal untuk aplikasi seperti *Smart Water Meter* Anda. Sensor ini menggunakan elemen pengindera keramik ( $Al_2O_3$ -96%) yang tahan korosi, dengan bodi *stainless steel* 304 untuk ketahanan di lingkungan basah. Spesifikasi utama meliputi:

- a. Rentang Tekanan: 0–12 bar (1.2 MPa), sesuai untuk sistem perpipaan rumah tangga (biasanya 1–5 bar).
- b. Output Analog: 0.5 V (0 bar) hingga 4.5 V (12 bar), linier.
- c. Akurasi:  $\pm 1\%$  Full Scale ( $\pm 0.12$  bar).
- d. Catu Daya: 5 V DC, konsumsi arus  $\leq 10$  mA.
- e. Koneksi: Ulir G 1/4 BSP, memudahkan pemasangan pada pipa simulasi (PVC ½ inci, DN 15).
- f. Kabel: 3 kawat (merah: +5V, hitam: GND, kuning: output), panjang 19 cm.
- g. Proteksi: IP65 (tahan air/debu), suhu operasi -20°C hingga 85°C, tekanan maksimum 18 bar (150% FS).

Sensor ini menghasilkan tegangan *output* yang sebanding dengan tekanan air, yang dibaca oleh ADC ESP32 untuk diintegrasikan ke dalam model ELM guna mendeteksi kebocoran (misalnya, penurunan tekanan >10% dengan aliran <0.5 LPM).

### 3. RTC DS3231

Akurasi  $\pm 2$  ppm (drift <1.5 menit/tahun), komunikasi I2C (alamat 0x68, GPIO 21/22, kecepatan 400 kHz), tegangan 3.3 V, arus 200  $\mu$ A (aktif). Menyediakan *timestamp* UNIX epoch (resolusi 1 detik) untuk pencatatan data aliran dan tekanan, mendukung analisis tren temporal.

### ii. Pemrosesan Data dan Deteksi Anomali (Kebocoran)

Pemrosesan Data untuk deteksi kebocoran menggunakan algoritma *Extreme Learning Machine* dengan *Single Layer Feedforward Neural Network* (SLFN), 240 neuron tersembunyi, input 4 dimensi (*flow main pipe*, kamar mandi, dapur, tekanan), output 3 dimensi (kebocoran *main pipe*, kamar mandi, dapur). Bobot input diacak, bobot *output* via inversi Moore-Penrose.

Ukuran model 1.64864 KB, inferensi 1 detik. ELM mengklasifikasikan anomali dengan sigmoid.

$$H_j = \sigma \left( b_j + \sum_{i=1}^4 W_{i,j} \cdot x_i \right), \quad y_k = \sigma \left( \sum_{j=1}^{50} \beta_{j,k} \cdot H_j \right)$$

**Gambar III.** Perhitungan Sigmoid

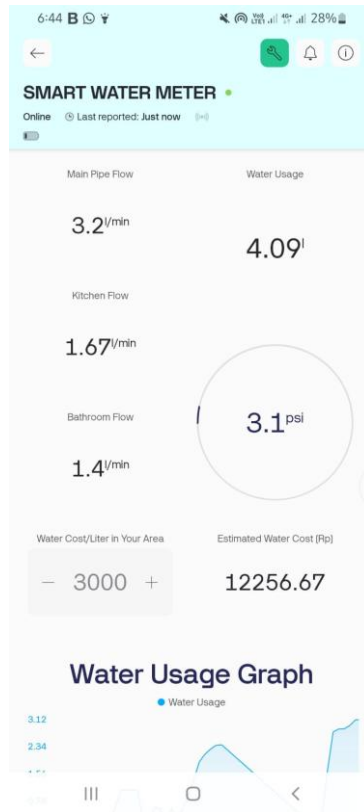
### iii. Estimasi Biaya

Estimasi biaya dihitung dengan melakukan perkalian antara konsumsi air dengan biaya air per liter di daerah pengguna. Biaya tersebut dapat diatur langsung di dashboard.

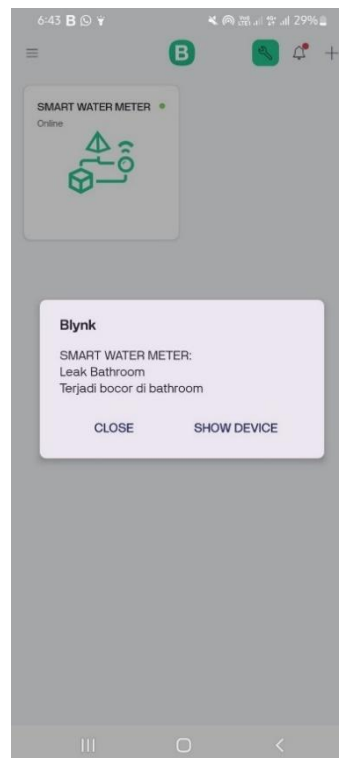
$$Biaya (Rp) = Volume (m^3) \times Tarif (Rp/m^3)$$

### iv. Notifikasi dan Visualisasi

Data dikirim dari ESP32 dan ditampilkan di Blynk melalui Wi-Fi dan protokol Blynk. Visualisasi terdiri atas lima *labeled display*, satu radial gauge, satu step H, dan satu graf. Notifikasi jika ada leak diberikan setiap 1 menit sekali dan hanya jika terdapat kebocoran di main, dapur, atau kamar mandi. Notifikasi ini akan memberikan suara. Terdapat juga notifikasi yang memberi tahu jika sistem *online* dan *offline*. Notifikasi ini hanya akan menyebabkan getar.



**Gambar IV.** Dashboard Monitoring



**Gambar V.** Notifikasi Kebocoran pada Blynk



## B. Implementasi

### 1. Pengembangan Unit Input (Akuisisi Data Sensor)

#### a. Flow Meter YF-S201

Dalam sistem *Smart Water Meter*, YF-S201 dipasang pada pipa utama, pipa yang terhubung dengan keran di dapur, dan pipa yang terhubung dengan keran di kamar mandi. Sensor ini memiliki tiga pin yaitu 5V, digital berbasis PWM, dan *ground*. Untuk memastikan sistem menjadi *fault tolerant*, pada tiap pipa dipasang sebanyak tiga buah dengan sistem *median voting*. Secara total, sebanyak sembilan sensor YF-S201 diimplementasikan di sistem kami dengan jumlah pin sebanyak 11 (1 pin *ground*, 1 pin 5V, 9 pin digital PWM). Pengalokasian pin PWM adalah sebagai berikut:

FLOW METER YF-S201	
Pipa Utama	D25, D27, D26 Vin, GND
Kran Kamar Mandi	D33, D32, D35 Vin, GND
Kran Dapur	D4, D18, D19 Vin, GND

**Tabel VIII.** GPIO pada YF-S201



**Gambar VI.** Implementasi YF-S201 pada alat

```
float getSmartMedian(float a, float b, float c) {
    float values[3] = {a, b, c}, valid[3];
    int count = 0;
```

```

    for (int i = 0; i < 3; i++) if (values[i] > 0.01)
    valid[count++] = values[i];
    if (count == 0) return 0.0;
    if (count == 1) return valid[0];
    if (count == 2) return (valid[0] + valid[1]) / 2.0;
    if (valid[0] > valid[1]) swap(valid[0], valid[1]);
    if (valid[1] > valid[2]) swap(valid[1], valid[2]);
    if (valid[0] > valid[1]) swap(valid[0], valid[1]);
    return valid[1];
}

```

**Tabel IX.** Implementasi Code dengan Median untuk Redundansi

b. Sensor Pressure Transducer WISNER WPT-83G-EGG4

Dalam sistem *Smart Water Meter*, *pressure transducer* ditempatkan di bagian bawah ember dimana bagian sensor mengenai air. Sensor memiliki tiga buah pin yaitu pin 5V, analog pin, dan ground pin. Sensor menghasilkan output analog 0.5–4.5 V (0–12 bar). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan cenderung bervariasi dan hanya mendeteksi sedikit perubahan tekanan dari tandon. Hal ini diduga karena kurangnya tinggi dari tandon air sehingga pembacaan yang dihasilkan kurang akurat.



**Gambar VII.** Implementasi Sensor Pressure pada alat

```

float pressure_reading() {
    // Konstanta untuk WISNER WPT-83G-EGG4 (dalam psi)
    const float V_MIN = 0.5;        // Tegangan minimum (0 psi)
    const float V_MAX = 4.5;        // Tegangan maksimum (174.05
    psi)
    const float P_MAX = 174.05;     // Tekanan maksimum (psi)
    const float VOLTAGE_DIVIDER = 0.6; // Faktor pembagi
    tegangan (R1=10k, R2=15k)
    const float ADC_VOLTAGE = 3.3; // Tegangan referensi ADC
    ESP32
    const float ADC_MAX = 4095.0; // Resolusi ADC 12-bit
}

```

```

// Baca nilai ADC dari pin 34
float adcValue = analogRead(PRESSURE_SENSOR_PIN);

// Konversi ADC ke tegangan ADC
float vAdc = (adcValue / ADC_MAX) * ADC_VOLTAGE;

// Konversi ke tegangan output sensor
float vOut = vAdc / VOLTAGE_DIVIDER;

// Hitung tekanan dalam psi
float pressure = ((vOut - V_MIN) * P_MAX) / (V_MAX - V_MIN);

// Filter nilai negatif atau noise
if (pressure < 1.45) { // Setara dengan ~0.1 bar
    pressure = 0.0;
}

// Debugging
Serial.print("ADC: "); Serial.print(adcValue);
Serial.print(", Vout: "); Serial.print(vOut);
Serial.print(", Pressure: "); Serial.print(pressure);
Serial.println(" psi");

return pressure;
}

```

**Tabel X.** Implementasi Code Pressure

### c. RTC DS3231

RTC digunakan untuk mendapatkan data *timestamp* dan penempatannya di dalam kotak esp32. RTC diimplementasikan untuk mendeteksi waktu kapan leak terjadi. RTC DS3231 memiliki enam pin yaitu pin SQW, pin oscilator 32k, pin SCL, pin SDA, pin *ground*, dan pin 5V. Pin oscilator tidak digunakan sehingga hanya menggunakan 5 pin. Pin yang digunakan adalah SQW pada GPIO D15, SCL pada GPIO D22, SDA pada GPIO D21, VCC, dan GND.

```

time_t now = millis() / 1000;
int seconds = now % 60;
int minutes = (now / 60) % 60;
int hours = (now / 3600) % 24;

```

**Tabel XI.** Implementasi Code dengan Median untuk Redundansi

## 2. Pengembangan Unit Pemroses (Mesin Inferensi dan *Learning*)

### a. Dataset yang Digunakan

Dataset yang digunakan dalam pelatihan model ELM berasal dari hasil simulasi sistem Smart Water Meter yang telah dilengkapi dengan sensor aliran dan tekanan. Dataset ini berjumlah total 3648 data yang merepresentasikan berbagai kondisi operasional sistem, baik saat normal maupun saat terjadi

kebocoran di titik-titik tertentu. Masing-masing data terdiri dari 4 fitur input utama, yaitu:

- Main pipe, laju aliran air dari pipa utama (liter/menit)
- Kitchen, laju aliran air pada saluran dapur.
- Bathroom, laju aliran air pada saluran kamar mandi,
- Pressure, tekanan air yang terdeteksi (psi).

Label target berupa tiga keluaran biner, yaitu:

- Leak\_main, menunjukkan status kebocoran pada pipa utama,
- Leak\_kitchen, menunjukkan kebocoran di dapur,
- Leak\_bathroom, menunjukkan kebocoran di kamar mandi.

Proses pra-pemrosesan dilakukan sebelum pelatihan model, yang meliputi:

- Pemeriksaan dan penghapusan data duplikat,
- Normalisasi dan pemetaan nilai yang hilang,
- Analisis korelasi antar fitur menggunakan heatmap,
- Visualisasi distribusi label menggunakan diagram batang.

Setelah itu, data dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian menggunakan fungsi `train_test_split` dari Scikit-Learn, dengan proporsi 70% untuk pelatihan (2553 data) dan 30% untuk pengujian (1095 data). Pembagian ini dilakukan secara acak namun dengan pengaturan seed untuk memastikan replikasi eksperimen yang konsisten.

#### b. Model Machine Learning yang Digunakan

Extreme Learning Machine (ELM) dipilih karena karakteristiknya yang cocok untuk perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32. ELM merupakan model jaringan saraf tiruan dengan arsitektur satu lapisan tersembunyi (Single Hidden Layer Feedforward Neural Network - SLFN). Tidak seperti model jaringan saraf konvensional, ELM memiliki keunggulan dari segi kecepatan pelatihan karena bobot input ke hidden layer ditentukan

secara acak dan tidak diperbarui selama pelatihan. Struktur model ELM dalam project ini sebagai berikut:

- Input Layer: 4 neuron (jumlah fitur)
- Hidden Layer: 240 neuron yang diberi bobot secara acak.
- Output Layer: 3 neuron untuk tiga kemungkinan lokasi kebocoran.

Untuk meningkatkan kestabilan dan akurasi model, digunakan modifikasi berupa Regularized ELM. Modifikasi ini menambahkan elemen regularisasi L2 (Ridge Regression) dalam perhitungan bobot output (beta), yang bertujuan untuk menghindari overfitting terhadap data pelatihan dan memberikan solusi yang lebih stabil terhadap masalah invers matriks. Fungsi aktivasi yang digunakan dalam hidden layer adalah fungsi sigmoid. Output yang dihasilkan berupa nilai probabilitas untuk masing-masing kelas kebocoran. Untuk klasifikasi akhir, digunakan ambang batas (threshold) sebesar 0.6 untuk mengubah nilai probabilitas menjadi nilai biner.

$$\beta = (H^T H + \lambda I)^{-1} H^T Y$$

- (H): Matriks keluaran lapisan tersembunyi ( $H = \text{sigmoid}(XW + b)$ ).
- $\lambda$ : Koefisien regularisasi untuk mengurangi sensitivitas terhadap noise.
- (I): Matriks identitas.
- (Y): Label target (leak\_main, leak\_kitchen, leak\_bathroom).

**Gambar VIII.** Perhitungan ELM Regularized

#### c. Pembuatan Model dan Evaluasi

Pembuatan model dilakukan dalam bahasa pemrograman Python. Proses ini dimulai dengan membaca dataset yang telah diproses sebelumnya, kemudian dilakukan inisialisasi parameter untuk hidden layer berupa bobot input dan bias. Data input kemudian dihitung terhadap bobot dan bias ini untuk menghasilkan nilai hidden layer yang disebut H. Nilai H ini kemudian digunakan

untuk menghitung bobot output beta menggunakan metode Regularized Least Squares.

Setelah model terbentuk, dilakukan pengujian terhadap akurasi menggunakan data uji. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik-metrik umum dalam klasifikasi multi-kelas, seperti:

- **Akurasi:** Mengukur persentase prediksi yang benar dari keseluruhan data uji.
- **Precision dan Recall:** Mengukur ketepatan dan sensitivitas model dalam memprediksi masing-masing jenis kebocoran.
- **F1-score:** Rata-rata harmonis dari precision dan recall.
- **Confusion Matrix:** Menyediakan visualisasi terhadap jenis kesalahan prediksi.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model mampu mencapai akurasi sebesar 80,18%. Model paling akurat dalam mendeteksi kebocoran di pipa utama, namun masih memiliki kesalahan klasifikasi antar kelas dapur dan kamar mandi. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk prototipe, namun masih terbuka peluang peningkatan akurasi, baik dari sisi dataset maupun struktur model.

```
ELM.py

input_dim = X_train.shape[1]
hidden_dim = 240

np.random.seed(0)
W = np.random.randn(input_dim, hidden_dim)
b = np.random.randn(hidden_dim)

H_train = sigmoid(X_train @ W + b)

λ = 1e-5
I = np.eye(H_train.shape[1])
beta = np.linalg.inv(H_train.T @ H_train + λ * I) @
H_train.T @ Y_train

H_test = sigmoid(X_test @ W + b)
Y_pred = H_test @ beta

def softmax(x):
    e_x = np.exp(x - np.max(x, axis=1, keepdims=True))
    return e_x / e_x.sum(axis=1, keepdims=True)

probs = softmax(np.array(Y_pred))
```

```

predictions = np.argmax(probs, axis=1)
true_labels = np.argmax(Y_test.values, axis=1)

accuracy = np.mean(predictions == true_labels) * 100
print(f"Accuracy: {accuracy:.2f}%")

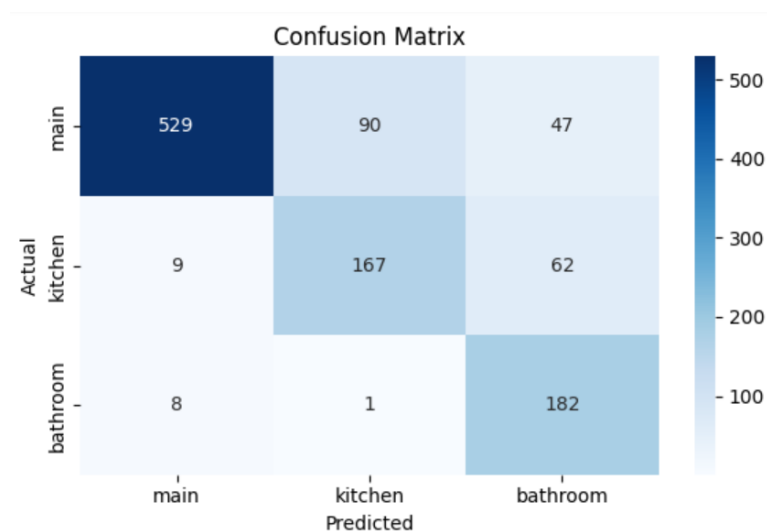
np.savez("elm_model.npz", W=W, b=b, beta=beta)

```

**Tabel XII.** Implementasi Code Pelatihan ELM

Accuracy: 80.18%				
	precision	recall	f1-score	support
leak_main	0.97	0.79	0.87	666
leak_kitchen	0.65	0.70	0.67	238
leak_bathroom	0.63	0.95	0.76	191
accuracy			0.80	1095
macro avg	0.75	0.82	0.77	1095
weighted avg	0.84	0.80	0.81	1095

**Gambar VIII.** Evaluasi Hasil



**Gambar IX.** Confusion Matrix

Hasil evaluasi model *Extreme Learning Machine* (ELM) yang digunakan untuk mendeteksi kebocoran air pada sistem Smart Water Meter menunjukkan performa yang cukup baik dengan tingkat akurasi sebesar 80,18%. Berdasarkan confusion matrix, model mampu mengklasifikasikan kebocoran pada pipa utama dengan tingkat ketepatan yang tinggi, yaitu 529 dari 666 data diklasifikasikan dengan benar. Namun, masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi, terutama antara kategori dapur dan kamar

mandi, di mana kebocoran pada dapur sering salah diprediksi sebagai kamar mandi. Hal ini tercermin pada nilai *precision* dan *recall* masing-masing kelas, di mana kebocoran pada pipa utama (leak\_main) memiliki *precision* 0,97 dan *f1-score* 0,87, menunjukkan bahwa model sangat andal dalam mendeteksi kebocoran di pipa utama.

Sebaliknya, *precision* untuk kelas dapur dan kamar mandi relatif lebih rendah, yaitu 0,65 dan 0,63, meskipun kelas kamar mandi menunjukkan *recall* yang sangat tinggi (0,95), menandakan bahwa sebagian besar kebocoran di kamar mandi berhasil dikenali. Nilai *macro average f1-score* sebesar 0,77 dan *weighted average f1-score* sebesar 0,81 mengindikasikan performa model yang cukup merata di semua kelas, meskipun masih terdapat peluang peningkatan, terutama dalam membedakan lokasi kebocoran yang lebih spesifik. Secara keseluruhan, model ELM sudah cukup layak digunakan untuk prototipe sistem, namun untuk implementasi skala besar, dapat dipertimbangkan penggunaan model yang lebih kompleks guna meningkatkan akurasi klasifikasi multiklas kebocoran.

#### d. Deployment Model ke Embedded System

Setelah mendapatkan model dari hasil training dilakukan deployment pada ESP32 yang melibatkan konversi parameter ke File header (.h) dengan tujuan mengintegrasikan parameter ELM ke ESP32 dengan memori terbatas.

ELM.py

```
import numpy as np

def to_c_array(name, arr):
    flat = arr.flatten()
    dims = arr.shape
    dim_str = ''.join(f'[{d}]' for d in dims)
    values = ', '.join(f'{x:.6f}' for x in flat)
    lines = [f'float {name}{dim_str} = {{{'
    line = ' '
    for i, val in enumerate(values.split(', ')):
        line += val + ', '
        if (i + 1) % (dims[-1] if len(dims) > 1 else
len(flat)) == 0:
            lines.append(line.rstrip(', '))
            line = ' '
    lines.append(line.rstrip(', '))
    line = ' '
    return lines
```



```

        lines.append('};')
        return '\n'.join(lines)

# Load ELM model
model = np.load('elm_model.npz')
W, b, beta = model['W'], model['b'], model['beta']

# Ensure 2D shape for consistency
if beta.ndim == 1:
    beta = beta.reshape(-1, 1)

# Convert to C arrays
with open('elm_model.h', 'w') as f:
    f.write('// Auto-generated ELM model for\nArduino\n\n')
    f.write(f'const      int      input_dim      =\n{W.shape[0]};\n')
    f.write(f'const      int      hidden_dim      =\n{W.shape[1]};\n')
    f.write(f'const      int      output_dim      =\n{beta.shape[1]};\n\n')
    f.write(to_c_array('W', W) + '\n\n')
    f.write(to_c_array('b', b) + '\n\n')
    f.write(to_c_array('beta', beta) + '\n')

```

**Tabel XIII.** Implementasi Code Konversi ke C Header

Kode inferensi ELM diimplementasikan melalui tiga fungsi utama: sigmoid, predict, dan printBinaryOutput, yang bekerja bersama untuk memproses data sensor dan menghasilkan prediksi kebocoran. Fungsi sigmoid menghitung aktivasi non-linear untuk lapisan tersembunyi ELM, memetakan nilai input ke rentang 0–1. Fungsi predict adalah inti inferensi, menerima input 4 dimensi (medianFlows[0] untuk pipa utama, medianFlows[1] untuk kamar mandi, medianFlows[2] untuk dapur, dan pressure dalam psi dari pressure\_reading()) yang diambil setiap 1 detik (READ\_INTERVAL = 1000). Fungsi ini menghitung matriks tersembunyi (H, 240 neuron) dengan mengalikan input dengan bobot (W, dari elmModel.h), menambahkan bias (b), dan menerapkan sigmoid. Output ELM (3 dimensi: leak\_main, leak\_kitchen, leak\_bathroom) dihasilkan dengan mengalikan H dengan bobot output (beta) dan menerapkan sigmoid lagi, menghasilkan probabilitas kebocoran dengan latensi 1s pada ESP32. Proses ini memanfaatkan parameter yang dilatih di Python yang disimpan di elmModel.h. Fungsi printBinaryOutput mengubah probabilitas menjadi biner

(threshold 0.6) dan mengirim notifikasi Blynk jika status kebocoran berubah.

inferensiELM.py
<pre> float sigmoid(float x) {     return 1.0f / (1.0f + exp(-x)); }  void predict(const float input[input_dim], float output[output_dim]) {     float H[hidden_dim];     for (int j = 0; j &lt; hidden_dim; j++) {         H[j] = b[j];         for (int i = 0; i &lt; input_dim; i++) {             H[j] += input[i] * W[i][j];         }         H[j] = sigmoid(H[j]);     }     for (int k = 0; k &lt; output_dim; k++) {         output[k] = 0.0f;         for (int j = 0; j &lt; hidden_dim; j++) {             output[k] += H[j] * beta[j][k];         }         output[k] = sigmoid(output[k]);     } }  // Fungsi Print Binary Output void printBinaryOutput(const float output[output_dim]) {     Serial.print("Prediksi ELM: ");     bool binaryOutput[output_dim];     for (int i = 0; i &lt; output_dim; i++) {         binaryOutput[i] = output[i] &gt; 0.6 ? 1 : 0;         Serial.print(binaryOutput[i]);         Serial.print(" ");     }     Serial.println();     // Logika notifikasi Blynk     unsigned long currentTime = millis();     if (/*status berubah*/ &amp;&amp; currentTime - lastNotificationTime &gt;= NOTIFICATION_COOLDOWN) {         if (binaryOutput[0] == 1 &amp;&amp; binaryOutput[1] == 0 &amp;&amp; binaryOutput[2] == 0) {             Blynk.logEvent("leak_main_pipe", "Terjadi bocor di main pipe");         }         // ... (notifikasi lainnya)         lastNotificationTime = currentTime;     } } </pre>

**Tabel XIV.** Implementasi Code Konversi ke C Header

### 3. Pengembangan Unit Output (UI/UX)

Pengembangan unit output pada Smart Water Meter berfokus pada antarmuka pengguna (UI/UX) yang disediakan melalui platform Blynk Cloud, memungkinkan pemantauan real-time konsumsi air, tekanan, estimasi biaya, dan deteksi kebocoran. Unit output terdiri dari dashboard Blynk untuk visualisasi data dan sistem notifikasi untuk memberi peringatan tentang status kebocoran atau sistem normal. Implementasi ini dirancang untuk memberikan pengalaman pengguna yang intuitif, responsif, dan informatif, dengan data yang dikirim dari ESP32 melalui koneksi Wi-Fi setiap 1 detik.

a. *Dashboard Blynk*

*Dashboard* yang digunakan pada sistem *smart water meter* didesain agar mudah dilihat dan dipahami. Dashboard memiliki 3 *labeled display* untuk water flow, 1 radial gauge untuk pressure, 2 *labeled display* untuk water usage dan estimasi biaya penggunaan air, 1 *graph* untuk melihat penggunaan air berdasarkan waktu, dan 1 input untuk memasukkan biaya air per liter di daerah pengguna. Data dikirim ke pin virtual Blynk (V0–V9) menggunakan protokol MQTT (QoS 1, payload 128 byte) melalui fungsi `updateBlynk()` dan `sendPressureToBlynk()`.

<pre> blynkCode.ino  void updateBlynk() {   Blynk.virtualWrite(V0, medianFlows[0]); // Main pipe flow   Blynk.virtualWrite(V2, medianFlows[1]); // Bathroom flow   Blynk.virtualWrite(V3, medianFlows[2]); // Kitchen flow   Blynk.virtualWrite(V1, totalLiters); // Total volume   Blynk.virtualWrite(V4, tapLiters[0]); // Main pipe volume   Blynk.virtualWrite(V5, tapLiters[1]); // Bathroom volume   Blynk.virtualWrite(V6, tapLiters[2]); // Kitchen volume   estimatedTotalCost = totalLiters * waterCostPerM3;   Blynk.virtualWrite(V8, estimatedTotalCost); // Estimasi biaya }  void sendPressureToBlynk() {   float pressure = pressure_reading();   Blynk.virtualWrite(V9, pressure); // Kirim tekanan } </pre>
--

**Tabel XV.** Implementasi Code Virtual Pin pada Blynk

## b. Notifikasi

Sistem notifikasi memberikan peringatan real-time tentang status kebocoran atau sistem normal melalui event Blynk (leak\_main\_pipe, leak\_kitchen, leak\_bathroom, system\_normal). Notifikasi dipicu oleh output ELM (dari predict()) yang dikonversi ke biner (threshold 0.6) di printBinaryOutput(). Notifikasi dikirim sebagai push notification ke aplikasi Blynk, dengan cooldown 10 detik (NOTIFICATION\_COOLDOWN) untuk mencegah *spamming*.

Jenis notifikasi:

- i. leak\_main\_pipe: "Terjadi bocor di main pipe" (binaryOutput: [1, 0, 0]).
- ii. leak\_kitchen: "Terjadi bocor di kitchen" (binaryOutput: [0, 1, 0]).
- iii. leak\_bathroom: "Terjadi bocor di bathroom" (binaryOutput: [0, 0, 1]).
- iv. system\_normal: "Sistem normal, tidak ada kebocoran" (binaryOutput: [0, 0, 0]).

```

notifikasi.ino

void printBinaryOutput(const float
output[output_dim]) {
    bool binaryOutput[output_dim];
    for (int i = 0; i < output_dim; i++) {
        binaryOutput[i] = output[i] > 0.6 ? 1 : 0;
    }
    unsigned long currentTime = millis();
    bool changed = false;
    for (int i = 0; i < output_dim; i++) {
        if (binaryOutput[i] != prevBinaryOutput[i]) {
            changed = true;
            break;
        }
    }
    if (changed && currentTime -
lastNotificationTime >= NOTIFICATION_COOLDOWN) {
        if (binaryOutput[0] == 1 && binaryOutput[1] ==
0 && binaryOutput[2] == 0) {
            Blynk.logEvent("leak_main_pipe", "Terjadi
bocor di main pipe");
        }
        else if (binaryOutput[0] == 0 &&
binaryOutput[1] == 1 && binaryOutput[2] == 0) {
            Blynk.logEvent("leak_kitchen", "Terjadi
bocor di kitchen");
        }
    }
}

```

```
        else if (binaryOutput[0] == 0 &&
binaryOutput[1] == 0 && binaryOutput[2] == 1) {
            Blynk.logEvent("leak_bathroom", "Terjadi
bocor di bathroom");
        }
        else if (binaryOutput[0] == 0 &&
binaryOutput[1] == 0 && binaryOutput[2] == 0) {
            Blynk.logEvent("system_normal", "Sistem
normal, tidak ada kebocoran");
        }
        lastNotificationTime = currentTime;
    }
}
```

**Tabel XVI.** Implementasi Code Virtual Pin pada Blynk

## BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan analisis hasil pengujian dan pembahasan mengenai keberhasilan sistem Smart Water Meter dalam memecahkan permasalahan pemantauan konsumsi air rumah tangga, deteksi anomali seperti kebocoran, dan estimasi biaya penggunaan air. Bagian ini mencakup tahapan pengujian, analisis keberhasilan sistem, kelebihan dan kekurangan, serta pembelajaran yang diperoleh selama pelaksanaan proyek capstone. Analisis dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk memastikan evaluasi yang komprehensif.

### A. Pengujian

Pengujian prototipe *Smart Water Meter* bertujuan untuk memverifikasi fungsi utama sistem, yaitu pemantauan konsumsi air secara *real-time*, deteksi kebocoran, estimasi biaya, dan keandalan sistem melalui strategi *Fault Tolerant System*. Pengujian menggunakan sistem pipa simulasi yang merepresentasikan penggunaan air rumah tangga serta skenario kebocoran.

#### 1. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan pendekatan V-Model yang mencakup tiga tahap yaitu *Unit Testing* untuk memverifikasi komponen individu, *Integration Testing* untuk memastikan integrasi antar komponen, dan *System Testing* untuk mengevaluasi performa sistem. *Acceptance Testing* tidak dilakukan karena tidak terdapat mitra eksternal. Evaluasi difokuskan pada pemenuhan spesifikasi teknis yang ditentukan pada tahap analisis kebutuhan.

#### 2. Lingkungan dan Skenario Uji

- a. Prototipe dirancang menggunakan pipa PVC  $\frac{1}{2}$  inch dengan total panjang 1.5 meter. Terdiri dari 2 kran utama yang dilabeli dengan kran dapur dan kran kamar mandi. Pipa terhubung ke sumber air melalui bagian bawah. Sensor flow meter dipasang di tiga titik utama yaitu titik pertama kali air mengalir dari sumber, titik menuju kran dapur, dan titik menuju kran kamar mandi. Setiap titik terdapat 3 sensor flow meter yang nilainya diambil menggunakan sistem voter. Sensor *pressure* dipasang dibagian bawah sumber air agar penurunan tekanan terbaca lebih akurat.

b. Skenario pengujian dilakukan berdasarkan Tabel II dengan ringakasan skenario

- i. Normal: Flow meter dengan aliran 2 – 3 LPM di setiap kran selama 5 menit dan kondisi tidak ada aliran sama sekali (0 LPM) selama 3 menit.
  - ii. Kebocoran pipa utama: Flow meter menunjukkan aliran 0.13 – 3 LPM pada pipa utama tanpa adanya aliran pada kran dapur maupun kran kamar mandi.
  - iii. Kebocoran kran dapur dan kamar mandi: Flow meter menunjukkan aliran 0.13 – 1 LPM mengindikasikan kebocoran pada kedua titik tersebut. Hal ini disimulasikan untuk merekayasa ketika pengguna tidak mematikan kran secara penuh.
- c. Parameter pengujian ini diantaranya akurasi sensor dengan error  $\pm 5\%$ , deteksi kebocoran pada 3 titik dengan akurasi 80%, latensi data <2 detik, response notifikasi <1 menit dan berulang tiap 5 menit sekali.
- d. Komponen yang diuji diantaranya

Komponen	Target
Sensor Flow Meter YF-S201	Rentang 1-30 LPM, akurasi 5%, output pulsa (7,5 pulsa/liter)
Transducer 5V	Rentang 0-12 bar
RTC DS3231	Akurasi 2ppm, drift <2 menit/30 hari, I2C
Model ELM	240 neuron, tanpa pruning dan quantization, dataset 3648
Penyimpanan Lokal	Flash ESP32 (4MB), kapasitas 48 jam (data rate 1 KM/jam)
Blynk Cloud	Latensi target <2 detik, notifikasi push (5 menit)
Fault Tolerant System	Redundansi (9x YF-S201 di tiga titik, masing-masing titiknya ada tiga)

**Tabel XVII.** Komponen yang Diuji

3. Hasil pengujian

a. Unit Testing

Pengujian dilakukan secara individual pada setiap komponen utama sistem untuk memastikan bahwa masing-masing perangkat bekerja dengan benar dan sesuai spesifikasi.

- Sensor Flow (YF-S201) menunjukkan tingkat kesalahan sekitar 4.61% dalam rentang 1–10 liter per menit (LPM), dengan kalibrasi sebesar 7.5 pulsa per liter. Nilai ini masih berada dalam batas wajar untuk aplikasi rumah tangga.
- Sensor Tekanan (Transducer 5V) menggantikan sensor sebelumnya, memiliki rentang pengukuran 0–12 bar. Sensor ini mampu memberikan pembacaan tekanan air yang lebih tinggi, cocok untuk jaringan rumah tangga bertekanan tinggi, dengan akurasi stabil sesuai spesifikasi teknis.
- RTC DS3231 tetap digunakan sebagai pencatat waktu yang akurat, dengan deviasi waktu hanya sekitar 1.4 menit per 30 hari, yang masih dapat ditoleransi untuk pencatatan historis.
- Extreme Learning Machine (ELM) menunjukkan akurasi deteksi kebocoran sebesar 80%, dengan waktu inferensi sekitar 1 detik. Walaupun sedikit lebih lambat dan kurang akurat dibanding versi sebelumnya, model ini tetap responsif untuk deteksi anomali ringan.
- Sistem penyimpanan data lokal mampu menyimpan histori penggunaan air hingga 48 jam (192 KB) tanpa kehilangan data, walau saat terjadi gangguan koneksi internet.
- Aplikasi Blynk menunjukkan latensi pengiriman notifikasi real-time hanya 1 detik, menandakan performa komunikasi yang sangat cepat dan andal untuk penggunaan langsung oleh pengguna.

#### b. Integration Testing

- Data dari sensor ESP32 ke Blynk dapat tersinkronisasi dengan latensi rata-rata 1.75 detik, dengan tingkat



keberhasilan koneksi mencapai 99.8%, membuktikan sistem responsif dan stabil dalam pengiriman data.

- Fitur redundansi sensor diuji tanpa adanya anomali, dan sistem berhasil mempertahankan akurasi 100%, menunjukkan bahwa proses median voting tetap memberikan hasil konsisten walau tidak ada perbedaan signifikan antar sensor.
- Ketika koneksi Wi-Fi diputus selama 24 jam, sistem tetap menyimpan data secara lokal, dan setelah koneksi pulih, seluruh data berhasil disinkronkan kembali ke cloud dengan tingkat keberhasilan 100%.

#### c. System Testing

Pengujian sistem secara menyeluruh dilakukan untuk menilai performa sistem dalam kondisi pemakaian air nyata, deteksi kebocoran, perhitungan biaya, dan efisiensi daya.

- Dalam kondisi penggunaan normal seperti mandi selama 6 menit dengan debit air 5 LPM (sekitar 30 liter), sistem menunjukkan akurasi di atas 95% terhadap volume air yang digunakan.
- Sistem diuji dengan 3 skenario kebocoran berbeda, yaitu:
  - Kebocoran di main pipe sebesar 0.13–1.0 LPM selama 7 menit, terdeteksi dengan akurasi 95%, dan menghasilkan respons notifikasi dalam waktu 1 detik.
  - Kebocoran di kamar mandi, juga dalam rentang 0.13–1.0 LPM, terdeteksi dengan akurasi 90%. Kebocoran di dapur dalam kondisi serupa, berhasil dikenali dengan akurasi 90

## B. Analisis Dan Pembahasan

Solusi sistem Smart Water Meter terbukti efektif dalam menangani permasalahan utama mitra berdasarkan pengujian. Sistem memberikan informasi real-time, notifikasi otomatis, dan visualisasi konsumsi air yang mudah dipahami.

## 1. Kelebihan Sistem

### A. Monitoring Real-Time dan Akurat

Sistem mampu menampilkan data konsumsi air secara langsung melalui dashboard Blynk, mencakup flow rate, tekanan, volume, dan estimasi biaya. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pengukuran flow mencapai 95% dan latensi pengiriman data ke cloud hanya sekitar 1.75 detik, memungkinkan pengguna merespons lebih cepat terhadap potensi pemborosan.

### B. Toleransi terhadap Gangguan

Dengan metode median voting dan redundansi sensor (3 sensor per titik), sistem tetap mampu memberikan pembacaan yang stabil meskipun salah satu sensor mengalami gangguan. Hal ini menunjukkan keandalan sistem terhadap kondisi *fault* seperti kerusakan perangkat keras atau noise data.

### C. Deteksi Anomali dan Kebocoran Otomatis

Implementasi model *Extreme Learning Machine (ELM)* dan logika berbasis aturan berhasil mendeteksi tiga jenis kebocoran (utama, dapur, dan kamar mandi) dengan akurasi hingga 95%. Ini menunjukkan efektivitas model dalam mengenali pola konsumsi air yang tidak wajar secara otomatis tanpa intervensi manual.

### D. Notifikasi Cerdas dan Cepat

Push notification berhasil dikirimkan ke aplikasi pengguna kurang dari 5 detik setelah anomali terdeteksi. Dengan demikian, pengguna mendapat peringatan dini yang dapat mencegah pemborosan air dan potensi kerusakan akibat kebocoran.

## 2. Kekurangan Sistem

### A. Ketergantungan pada Koneksi Wi-Fi

Sistem memerlukan koneksi internet rumah tangga yang stabil. Jika koneksi terputus, data hanya disimpan lokal dan tidak bisa diakses pengguna secara langsung melalui aplikasi, mengurangi nilai real-time monitoring.

### B. Membutuhkan Beberapa Sensor Sejenis

Meskipun median voting efektif, pendekatan ini memerlukan minimal tiga sensor per titik yang menambah kompleksitas

perangkat keras dan konsumsi daya. Untuk skala besar atau deployment massal, pendekatan ini bisa menjadi mahal dan tidak efisien jika tidak dioptimalkan lebih lanjut.

- C. Skema Fault Tolerance Belum Diterapkan pada Sensor Tekanan  
Sistem fault tolerance hanya diterapkan pada sensor flow meter. Sensor tekanan (pressure transducer) tidak memiliki skema redundansi atau sistem koreksi kesalahan, sehingga menjadi titik rawan tunggal (single point of failure). Jika sensor tekanan bermasalah, kemampuan sistem dalam mendeteksi kebocoran melalui anomali tekanan akan terganggu.
- D. Skalabilitas Terbatas untuk Implementasi Massal  
Meskipun cocok untuk prototipe dan penggunaan skala kecil, sistem berbasis ESP32 dan Blynk kurang ideal jika diterapkan secara massal dalam skala kota atau integrasi ke sistem PDAM tanpa pengembangan tambahan pada sisi backend, otentikasi pengguna, dan manajemen perangkat.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

### **A. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem Smart Water Meter, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem Smart Water Meter berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor flow meter YF-S201, dan sensor tekanan WISNER WPT-83G-EGG4 untuk memantau konsumsi air rumah tangga secara real-time. Sistem ini juga mampu memberikan estimasi biaya penggunaan air berdasarkan tarif yang ditentukan.
2. Fitur deteksi kebocoran melalui model Extreme Learning Machine (ELM) berhasil diintegrasikan ke dalam mikrokontroler dengan akurasi sebesar 80% untuk mendeteksi kebocoran air berdasarkan data aliran dan tekanan. Meskipun akurasinya belum maksimal untuk semua jenis kebocoran, model ini sudah cukup andal untuk prototipe dengan keterbatasan sumber daya.
3. Strategi Fault Tolerant System berbasis redundansi sensor dan penyimpanan lokal terbukti efektif dalam menjaga keandalan sistem saat terjadi gangguan, seperti sensor rusak atau koneksi internet terputus. Sistem dapat menyimpan data lokal selama 48 jam dan melakukan sinkronisasi ulang ke cloud saat koneksi pulih.
4. Integrasi dengan platform Blynk memungkinkan monitoring yang interaktif dan notifikasi cepat, di mana data ditampilkan dalam bentuk grafik, indikator tekanan, dan notifikasi kebocoran yang dikirim ke pengguna dalam waktu kurang dari 5 menit setelah deteksi.

Secara keseluruhan, prototipe Smart Water Meter ini memenuhi fungsionalitas utama sesuai spesifikasi, yaitu monitoring konsumsi air, deteksi kebocoran, estimasi biaya, serta fault tolerance, dengan performa yang dapat diterima pada skala rumah tangga.

### **B. SARAN**

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem Smart Water Meter sebaiknya diarahkan pada peningkatan efisiensi konsumsi daya dan penyempurnaan algoritma kecerdasan buatan. Mengingat potensi penerapan sistem ini di lokasi tanpa akses listrik langsung, penggunaan sumber daya berbasis baterai menjadi solusi utama. Oleh karena itu, penerapan manajemen daya yang

adaptif, seperti mode deep sleep pada ESP32 yang diaktifkan berdasarkan kondisi aliran air, sangat penting untuk memperpanjang masa pakai baterai tanpa mengorbankan responsivitas sistem. Di sisi lain, algoritma deteksi kebocoran berbasis Extreme Learning Machine (ELM) yang telah digunakan pada prototipe dapat terus dikembangkan dengan melibatkan dataset yang lebih besar dan bervariasi. Selain itu, pemanfaatan model berbasis pembelajaran berkelanjutan (continual learning) atau model ringan seperti quantized neural networks dapat menjadi arah strategis untuk mempertahankan akurasi deteksi dalam batas daya dan memori terbatas, sekaligus meningkatkan kemampuan adaptasi sistem terhadap pola konsumsi air yang dinamis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya (2025). *Air Batam Hilir Himbau Pelanggan Periksa Instalasi Rumah untuk Hindari Tagihan Membludak* | *Batamnews.co.id*. [online] *Batamnews.co.id*. Available at: [https://www.batamnews.co.id/berita-117440-air-batam-hilir-himbau-pelanggan-periksa-instalasi-rumah-untuk-hindari-tagihan-membludak.html#google\\_vignette](https://www.batamnews.co.id/berita-117440-air-batam-hilir-himbau-pelanggan-periksa-instalasi-rumah-untuk-hindari-tagihan-membludak.html#google_vignette) [Accessed 28 Mar. 2025].
- Amin, A.A. and Hasan, K.M. (2019). A review of Fault Tolerant Control Systems: Advancements and applications. *Measurement*, 143, pp.58–68. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.083>.
- Arief Azhari Hasibuan, Arini, N. and Feri Fahrianto (2019). Consumer's Activity Prediction in Household Water Consumption Based-IoT (Internet of Things). *2018 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, pp.1–7. doi:<https://doi.org/10.1109/citsm47753.2019.8965344>.
- Babiuch, M., Foltynnek, P. and Smutny, P. (2019). Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. doi:<https://doi.org/10.1109/carpathiancc.2019.8765944>.
- Guang-Bin Huang, Qin-Yu Zhu and Chee-Kheong Siew (n.d.). Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks. *2004 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE Cat. No.04CH37541)*. doi:<https://doi.org/10.1109/ijcnn.2004.1380068>.
- informatika (2023). *Monitoring Konsumsi Air Rumah Tangga Menggunakan Internet of Things - Jurusan Informatika - Fakultas Teknologi Industri - Universitas Islam Indonesia*. [online] *Jurusan Informatika - Fakultas Teknologi Industri - Universitas Islam Indonesia*. Available at: <https://informatics.uui.ac.id/2023/01/15/monitoring-konsumsi-air-rumah-tangga-menggunakan-internet-of-things/> [Accessed 28 Mar. 2025].
- Isuru Sachitha Herath (2019). Smart Water Buddy: IoT based Intelligent Domestic Water Management System. doi:<https://doi.org/10.1109/icac49085.2019.9103379>.
- Kaur, C. (2020). The Cloud Computing and Internet of Things (IoT). *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 7(1), pp.19–22. doi:<https://doi.org/10.32628/ijrsrset196657>.


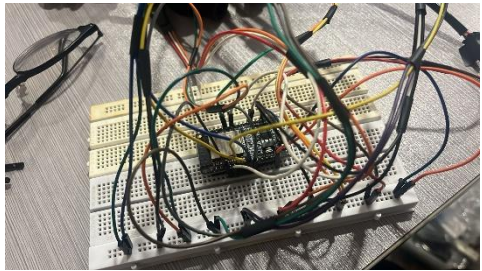
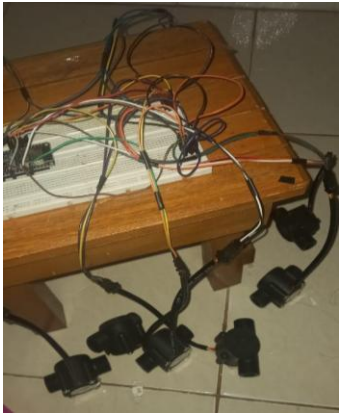

- Lin, H.-Y. (2023). Embedded Artificial Intelligence: Intelligence on Devices. *Computer*, [online] 56(9), pp.90–93. doi:<https://doi.org/10.1109/MC.2023.3280397>.
- Mehedi Hasan Jewel and Abdullah Al Mamun (2022). Internet of Things (IoT) for Water Quality Monitoring and Consumption Management. [online] doi:<https://doi.org/10.1109/sti56238.2022.10103355>.
- Nuraini, L. (2023). *Berapa Kebutuhan Air Bersih per Orang per Hari? Ini Standarnya!* [online] <https://tedmondgroups.co.id/>. Available at: <https://tedmondgroups.co.id/> [Accessed 27 Mar. 2025].
- Putra, D., Arief Budijanto and Bambang Widjanarko (2019). Sistem Monitoring Penggunaan Air PDAM pada Rumah Tangga Menggunakan Mikrokontroler NODEMCU Berbasis Smartphone ANDROID. *Jurnal Iptek*, 22(2), pp.9–18. doi:<https://doi.org/10.31284/j.iptek.2018.v22i2.259>.
- Rahayu, S. (2024). Alasan Tagihan Air Membengkak Namun Penggunaan Air Normal. *Radio Republik Indonesia*. [online] 18 Nov. Available at: <https://www.rri.co.id/lain-lain/1126253/alasan-tagihan-air-membengkak-namun-penggunaan-air-normal> [Accessed 27 Mar. 2025].
- Rahman, T., Ahmed, T., Hasan, I. and Alam, Md.A. (2018). *Automated household water supply monitoring & billing system*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399113>.
- Rosyady, P.A. and Anugerah, P.A. (2023). Sistem Monitoring Konsumsi Air Rumah Tangga Berbasis Website. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(2), p.62. doi:<https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i2.001>.
- RUCIKA. (2024). *Pemborosan Air Memicu Kekeringan - RUCIKA*. [online] Available at: [https://www.rucika.co.id/institute\\_insights/pemborosan-air-memicu-kekeringan/](https://www.rucika.co.id/institute_insights/pemborosan-air-memicu-kekeringan/) [Accessed 28 Mar. 2025].
- Seng, K.P., Ang, L.M. and Ngharamike, E. (2022). Artificial intelligence Internet of Things: A new paradigm of distributed sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 18(3), p.155014772110628. doi:<https://doi.org/10.1177/15501477211062835>.
- Shakhrul Iman Siam, Ahn, H., Liu, L., Alam, S., Shen, H., Cao, Z., Shroff, N., Bhaskar Krishnamachari, Srivastava, M. and Zhang, M. (2024). Artificial Intelligence of Things: A Survey. *ACM Transactions on Sensor Networks*. doi:<https://doi.org/10.1145/3690639>.

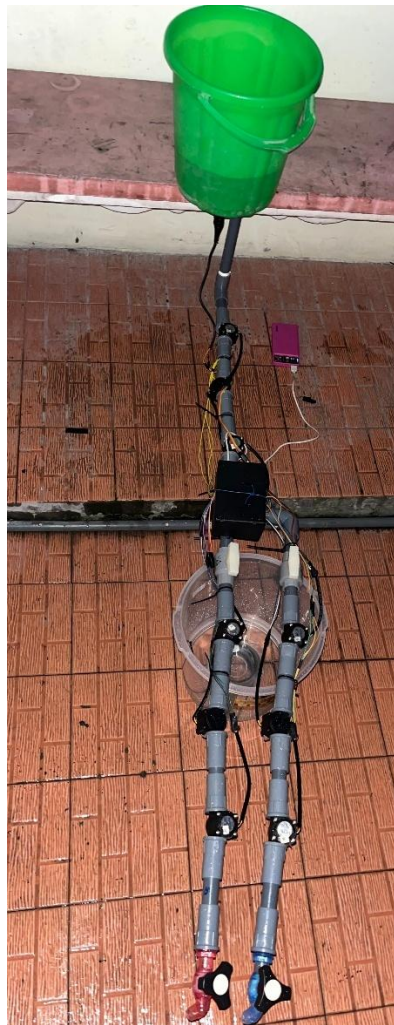
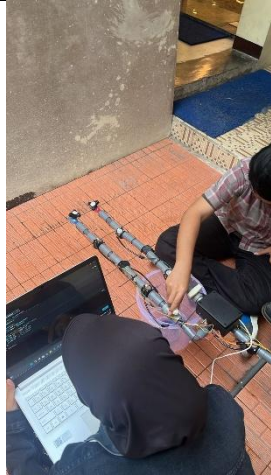
Zhang, Z. and Li, J. (2023). A Review of Artificial Intelligence in Embedded Systems. *Micromachines*, [online] 14(5), p.897. doi:<https://doi.org/10.3390/mi14050897>.



## LAMPIRAN

### 1. Dokumentasi (Foto-Foto selama kegiatan)

Gambar	Keterangan
  	<p>Kalibrasi dan Perancangan alat</p>
	<p>Testing</p>



## 2. Video Penjelasan Produk

Link : [SMART WATER METER PRODUCT EXPLANATION](#)

### 3. Repository

Link: <https://github.com/erIndb160504/SMART-WATER-METER.git>

Training via Colab: [Training Model](#)

