

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tingginya curah hujan dan variasi topografi di Kota Tanjungpinang memicu kerentanan hidrometeorologi yang signifikan, khususnya banjir di area permukiman [1]. Ketersediaan data presipitasi yang akurat dan berkesinambungan menjadi parameter krusial untuk mitigasi bencana dan tata air perkotaan [2]. Urgensi ini semakin spesifik akibat cuaca lokal yang fluktuatif dengan intensitas hujan yang sulit diprediksi [3]. Saat ini, penyediaan data resmi berpusat di Stasiun Meteorologi BMKG Tanjungpinang. Berdasarkan hasil observasi awal yang dilakukan diperoleh bahwa jaringan pengamatan di wilayah ini mencakup 18 titik pos manual dan otomatis. Optimalisasi keseluruhan pos manual menjadi stasiun otomatis standar (AWS) terkendala oleh tingginya biaya investasi dan pemeliharaan. Pengembangan instrumen penakar hujan tipe *tipping bucket* berkonsep biaya rendah (*low-cost*) sebagai alat pencatat data mandiri hadir sebagai solusi alternatif yang efisien untuk memperluas jaringan pemantauan tanpa membebani anggaran secara masif.

Instrumen *low-cost* tersebut mengakuisisi data curah hujan melalui prinsip keseimbangan fisis pada wadah penampung ganda yang akan menjungkit saat mencapai batas volume spesifik [4]. Pergerakan mekanis tersebut selanjutnya dideteksi oleh sensor magnetik untuk dikonversi menjadi sinyal pulsa elektrik dan direkam sebagai data digital [5]. Keandalan perekaman data digital ini sepenuhnya bergantung pada stabilitas pasokan daya, mengingat pemutusan arus listrik secara mendadak berpotensi memicu kondisi *restart* pada mikrokontroler yang berakibat pada hilangnya data (*data loss*). Penggunaan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis modul *relay* berfungsi sebagai solusi teknis untuk mendeteksi ketiadaan tegangan utama dan seketika mengalihkan jalur suplai ke baterai cadangan [6]. Implementasi mekanisme pengalihan otomatis ini krusial untuk menjaga kontinuitas operasional perangkat elektronika sensitif agar tetap bekerja tanpa jeda saat terjadi kegagalan sumber daya utama.

Terlepas dari efisiensi penyebaran jaringan dan keandalan dayanya, validitas data dari instrumen rakitan mandiri sering kali menjadi perdebatan saat

disandingkan dengan sensor kelas industri. Prosedur kalibrasi melalui perbandingan data lapangan merupakan langkah mutlak dalam pengembangan instrumen meteorologi. Berbagai penelitian terdahulu [7],[8],[9] menemukan adanya selisih hasil pengukuran di antara tiga alat standar BMKG sekalipun (AWS, Hellmann, dan Observatorium). Hal ini didukung oleh temuan Pratiwi [10] yang mencatat bahwa pengukuran menggunakan alat otomatis sering kali menghasilkan data yang tidak seragam (inhomogen) jika disandingkan dengan metode observasi manual, sehingga evaluasi akurasi instrumen *low-cost* melalui komparasi langsung menjadi sangat penting.

Penggunaan komponen elektronik yang murah pada alat rakitan semakin memunculkan keraguan mengenai keakuratan data yang dihasilkan. Kualitas informasi dari alat buatan sendiri tersebut tentu akan sulit dipercaya kebenarannya oleh pengguna tanpa adanya bukti perbandingan nilai secara nyata terhadap alat standar BMKG [11]. Keterbatasan teknis bawaan dari perangkat *low-cost* berpotensi menyebabkan data melenceng dari kondisi sebenarnya. Pemahaman mengenai seberapa besar selisih angka atau kesalahan alat menjadi syarat mutlak agar data curah hujan tersebut dapat diterima dan digunakan secara aman sebagai data pengamatan alternatif.

Kesetaraan spesifikasi resolusi teknis sebesar 0,2 mm per *tip* pada instrumen rakitan tidak serta-merta menjamin validitas data yang dihasilkan di lapangan [12]. Instrumen AWS BMKG beroperasi sebagai standar acuan (*gold standard*) yang telah terkalibrasi secara industri, berbeda dengan alat rancangan yang belum terverifikasi tingkat akurasinya dalam menangani variabilitas curah hujan. Potensi disparitas pengukuran akibat respons dinamis alat terhadap intensitas hujan yang fluktuatif menjadi tantangan utama yang dapat memicu kesalahan pembacaan (*measurement error*) [13]. Uji validasi komparatif secara langsung menjadi langkah krusial guna membuktikan korelasi linier data alat rancangan terhadap standar BMKG, serta memastikan nilai penyimpangan (*error*) tetap berada pada ambang batas toleransi (5%) tanpa deviasi yang signifikan.

B. Perumusan Masalah

Studi komparasi yang menyandingkan dan memvalidasi performa instrumen *tipping bucket* rakitan terhadap perangkat *Automatic Weather Station* (AWS) standar BMKG sebagai acuan resmi masih belum tersedia. Ketiadaan data perbandingan langsung pada lokasi yang sama (*co-located*) menyebabkan tingkat korelasi dan respons dinamis alat rakitan terhadap variabilitas intensitas hujan belum teruji secara ilmiah. Uji validasi data menjadi langkah untuk menjamin integritas data serta membuktikan keandalan sistem monitoring berbiaya rendah ini sesuai dengan standar operasional nasional.

C. Batasan Penelitian

Pembahasan penelitian ini lebih terarah dan mendalam, ruang lingkup masalah dibatasi secara spesifik pada pengembangan perangkat keras (*hardware*) penakar hujan tipe *tipping bucket* yang menggunakan komponen ekonomis (*low-cost*) berbasis mikrokontroler ESP32. Proses pengujian performa alat dilaksanakan secara berdampingan (*collocated*) di taman alat Stasiun Meteorologi BMKG Tanjungpinang dengan menjadikan data dari *Automatic Weather Station* (AWS) standar operasional sebagai acuan validasi utama (*reference*). Analisis dalam penelitian ini dititikberatkan sepenuhnya pada pemetaan karakteristik kesalahan (*error characteristics*) serta penentuan tingkat akurasi dan presisi data murni yang dihasilkan oleh alat rancangan. Penempatan alat *tipping bucket* berjarak 2-4 meter dengan jarak AWS yang terletak pada taman alat milik BMKG.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem penakar hujan tipe *tipping bucket* berbasis ESP32 yang ekonomis, serta melakukan validasi data secara langsung terhadap standar *Automatic Weather Station* (AWS) BMKG. Langkah ini dimaksudkan untuk memetakan karakteristik kesalahan (*error characteristics*) dan membuktikan tingkat akurasi serta konsistensi data murni alat tersebut sebagai instrumen alternatif yang layak di lapangan.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuktikan secara empiris karakteristik kesalahan (*error characteristics*) dan tingkat akurasi dari instrumen *low-cost* saat disandingkan secara langsung (*head-to-head*) dengan standar *Automatic Weather Station* (AWS) BMKG, sehingga dapat diketahui batas keandalan dan performa riil alat tersebut di kondisi lapangan.
2. Memberikan kontribusi praktis dan referensi teknis mengenai pengembangan instrumen meteorologi biaya rendah yang layak pakai, khususnya sebagai pendukung densifikasi (pemadatan) jaringan pengamatan cuaca untuk mitigasi bencana hidrometeorologi di wilayah dengan curah hujan tinggi.

