

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Angin merupakan pergerakan udara secara horizontal yang memiliki besaran fisis kecepatan dan arah diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan udara disuatu daerah [1]. Energi angin secara luas diterima sebagai sumber energi bersih dan terbarukan. Industri energi angin memainkan peran penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan memimpin transisi menuju sistem energi berkelanjutan [2]. Selain itu, energi angin dapat mengatasi masalah polusi di masyarakat modern secara memadai. Energi angin memiliki keandalan yang tinggi dan dapat dianggap sebagai sumber produksi energi berkelanjutan [3].

Dalam produksi energi berkelanjutan yang berasal dari angin terdapat parameter meteorologi dalam energi angin yaitu kecepatan angin. Kecepatan angin berubah seiring waktu, bulan, dan hari dalam setahun [4]. Untuk mengetahui besar dari kecepatan dan arah angin tersebut dibutuhkan suatu alat yang akurat dalam pengukurannya. *Anemometer* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan arah angin yang digunakan pada stasiun cuaca [5]. Jaringan anemometer sering mengalami kendala berupa kegagalan sistem termasuk kerusakan sensor. Penggantian sensor membutuhkan ketersediaan suku cadang serta durasi yang signifikan. Hal ini menyebabkan adanya gap data pada jeda waktu antara pelepasan dan pemasangan sensor [6]. Selain itu, tindakan perbaikan belum dilakukan secara langsung, sebab verifikasi peralatan melalui kalibrasi lapang dilakukan dalam periode berkala. Keterbatasan jumlah radar cuaca juga menjadi kendala dalam menyediakan *backup* data sensor kecepatan angin. Situasi tersebut dapat berdampak pada akurasi dan kontinuitas data kecepatan angin yang sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti prakiraan cuaca, manajemen energi angin, maupun mitigasi bencana alam. Kecepatan angin lebih banyak dan umum digunakan dalam berbagai aplikasi seperti mitigasi bencana alam untuk memprediksi adanya bencana alam yang lebih banyak di pesisir pantai, serta dapat membantu di bidang penerbangan, sedangkan untuk arah angin lebih ke bidang khusus seperti penerbangan tersebut [7] [8]. Selain itu, arah angin juga diperlukan untuk menentukan *baseline input* estimasi. Pengumpulan data arah angin secara *real-time*

membutuhkan integrasi sensor dengan sistem yang andal untuk memastikan keakuratan data. Dalam melakukan integrasi sensor diperlukan sebuah konsep *Internet of Things* (IoT). Konsep IoT merupakan kemampuan menghubungkan objek-objek cerdas yang memungkinkan untuk berinteraksi dengan objek lain melalui internet [9]. IoT bisa mencakup informasi mengenai lingkungan di sekitar objek yang diambil secara *realtime* atau berkala yang kemudian diubah menjadi data yang sesuai untuk ditransmisikan melalui jaringan internet dan dikirim ke pusat data, selain itu solusi ini dapat membantu mengurangi waktu *downtime* akibat penggantian sensor dan meningkatkan efisiensi operasional jaringan anemometer secara keseluruhan serta mengurangi ketergantungan pada sensor fisik dengan meminimalkan dampak kegagalan sistem [9].

Penelitian sebelumnya yang melakukan estimasi kecepatan angin dilakukan oleh Haryas Subyantara Wicaksana, Faqihza Mukhlis, Naufal Ananda, Irvan Budiawan, Arif Nur Khamdi, dan Abdul Hamid Al Habib (2024) [6] mengembangkan model estimasi kecepatan angin pada jaringan anemometer menggunakan algoritma *Temporal Convolutional Network* (TCN). TCN memproses sinyal domain waktu secara paralel, sehingga mempersingkat komputasi secara signifikan. Dataset kecepatan angin per menit diperoleh dari empat anemometer di Bandara Internasional Juanda Surabaya periode 1 Januari 2022 – 24 Desember 2023. Model estimasi TCN dibagi menjadi model timuran, baratan, peralihan dan semua arah. Model estimasi kecepatan angin timuran, peralihan dan semua arah memiliki korelasi kuat terhadap data aktual dengan nilai koefisien korelasi berturut-turut yaitu 0,70; 0,77 dan 0,87. Secara keseluruhan, akurasi model estimasi berbasis TCN sudah memenuhi persyaratan WMO untuk pengukuran kecepatan angin yaitu capaian RMSE.

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan estimasi kecepatan angin menggunakan data dari Anemometer yang diimplementasikan pada algoritma *Attention Layer Neural Network* dengan optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) berbasis IoT. Kebaruan penelitian terletak pada penggunaan algoritma estimasi kecepatan angin yaitu *Attention Layer Neural Network* dan PSO.

Penerapan PSO dilakukan karena PSO memiliki kelebihan utama yaitu memiliki lebih sedikit parameter untuk disetel [10], serta operasinya yang sederhana dan

kecepatan konvergensi yang cepat [11]. Selain itu, PSO sendiri juga mampu merepresentasikan solusi potensial dalam ruang solusi, tanpa batas area pencarian dan menyatukan solusi yang paling optimal dalam ruang tersebut. PSO mampu menyesuaikan kecepatan pencariannya berdasarkan pengalaman historis terbaik dan solusi terbaik dalam populasi [12]. Sedangkan, algoritma *Attention Layer Neural Network* digunakan karena *attention layer* merupakan teknik yang sering digunakan dalam penerjemahan teks secara neural. Mekanisme *attention* memungkinkan jaringan untuk secara selektif berfokus pada informasi tertentu dikarenakan dalam prosesnya algoritma *Attention Layer Neural Network* memperhatikan spesifik vektor *input* dari urutan masukan berdasarkan *attention weights* [13]. Oleh karena itu berdasarkan penerapan algoritma *Attention Layer Neural Network* dan PSO diharapkan mampu memberikan prediksi yang lebih akurat mengenai kecepatan angin pada lingkungan sekitar. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan IoT untuk membantu peneliti dalam melakukan estimasi kecepatan angin yang diharapkan dapat mendukung dalam pengambilan keputusan terkait kecepatan angin.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, maka dalam penelitian ini terdapat rumusan masalah yang diajukan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengembangkan model estimasi kecepatan angin menggunakan algoritma *Attention Layer Neural Networks* dan *Particle Swarm Optimization* pada *Internet of Things*?
2. Bagaimana hasil estimasi kecepatan angin dari penggunaan algoritma *Attention Layer Neural Networks* dengan optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat meminimalkan nilai *error* estimasi?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengembangkan model estimasi kecepatan angin menggunakan algoritma *Attention Layer Neural Networks* dan *Particle Swarm Optimization* pada *Internet of Things*.

2. Menganalisis hasil estimasi kecepatan angin dari penggunaan algoritma *Attention Layer Neural Networks* dengan optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat meminimalkan nilai *error* estimasi.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan fokus yang jelas dan terarah, maka penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Data hanya diperoleh dari sensor anemometer berbasis yang berasal dari sensor anemometer yang terpasang di stasiun pengamatan dengan koordinat 26°18'26"N, 50°08'29"E, yang berlokasi di lingkungan *King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Arab Saudi*.
2. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error*, Koefisien Determinasi (R^2). Metode lain seperti *Mean Bias Error* (MBE) kurang cocok karena bisa bermasalah saat nilai aktual mendekati nol.

1.5. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini yaitu penerapan *Attention Layer Neural Networks* yang secara selektif berfokus pada informasi tertentu dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan kinerja yang mampu menyatukan solusi paling optimal dan menyesuaikan kecepatan pencariannya berdasarkan pengalaman historis dapat meminimalkan nilai *error* estimasi kecepatan angin.

1.6. Metode Penelitian

Rencana kegiatan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan studi literatur terkait sebagai bahan referensi penelitian dari publikasi jurnal di internet.

2. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini akan dilakukan analisis kebutuhan. Analisis kebutuhan digunakan untuk mendefinisikan kebutuhan apa saja yang dibutuhkan dalam prediksi kecepatan angin pada anemometer menggunakan IoT, dan metode *Attention Layer Neural Network*, serta PSO. Analisis kebutuhan

terdiri dari kebutuhan fungsional, kebutuhan *hardware*, dan kebutuhan *software*. Kebutuhan fungsional digunakan untuk mendefinisikan fungsional yang ada pada sistem prediksi tersebut, sementara kebutuhan *hardware* dan *software* digunakan untuk mendefinisikan perangkat keras maupun perangkat lunak yang digunakan.

3. Perancangan Sistem IoT

Pada tahap perancangan sistem IoT dilakukan perancangan sistem IoT, yaitu dengan menggunakan blok diagram, *flowchart* yang terdiri dari *flowchart* IoT, dan *flowchart* untuk server dalam pengolahan datanya.

4. Implementasi Alat

Pada tahap ini dilakukan implementasi perangkat IoT untuk mengukur kecepatan angin, yang akan menghasilkan data yang dibutuhkan untuk estimasi kecepatan angin.

5. Pengujian Sistem

Pada tahap ini pengujian dilakukan dengan melakukan uji fungsi pada alat/sistem.

6. Pengumpulan Dataset

Pengumpulan dataset merupakan tahap untuk mengumpulkan data kecepatan angin melalui sensor anemometer untuk estimasi kecepatan angin.

7. Pemodelan

Pada tahap pemodelan dilakukan penerapan metode *Attention Layer Neural Networks* dan PSO dengan proses *preprocessing* data, *split data*, pembentukan model dan evaluasi model. *Preprocessing* data untuk penghapusan *outlier* dan imputasi terhadap *missing data*. *Split data* digunakan untuk melakukan pemisahan berdasarkan *data training* dan *data testing*. Sementara, pembentukan model untuk menerapkan metode yang digunakan untuk mengoptimalkan parameter model estimasi, sehingga mendapatkan hasil estimasi yang optimal dengan meminimalkan nilai *error* estimasi kecepatan angin.

8. Analisis Sistem

Analisis sistem dilakukan berdasarkan *Mean Absolute Error* (MAE), *Root*

Mean Square Error (RMSE) Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan Koefisien Determinasi (R^2).

9. Penyusunan Laporan dan Dokumentasi

Pada tahap penyusunan laporan dan dokumentasi disusun laporan hasil penelitian, mencakup proses, hasil, serta analisis dari keseluruhan kegiatan, dan mendokumentasikan sistem yang telah dikembangkan.

1.7. Jadwal Pelaksanaan

Jadwal pelaksanaan dibuat berdasarkan rencana kegiatan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. 1 .

Tabel 1. 1 Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
Studi Literatur						
Analisis Kebutuhan						
Perancangan Sistem IoT						
Implementasi Alat						
Pengujian sistem						
Pengumpulan Dataset						
Pemodelan						
Analisis Sistem						
Penyusunan Laporan dan Dokumentasi						