

**PERAMALAN KECEPATAN ANGIN MAKSIMUM DENGAN
ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION DAN
TRANSFORMER NEURAL NETWORK
(Studi Kasus: Kota Tanjungpinang)**



Skripsi

Untuk memenuhi syarat memperoleh Derajat
Sarjana Teknik (S.T.)

Oleh:

Aditya Yudha Pratama

NIM 1901024001

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI KEMARITIMAN
UNIVERSITAS MARITIM RAJA ALI HAJI
TANJUNGPINANG**

2024

**PERAMALAN KECEPATAN ANGIN MAKSIMUM DENGAN
ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION DAN
TRANSFORMER NEURAL NETWORK
(Studi Kasus: Kota Tanjungpinang)**



Skripsi

Untuk memenuhi syarat memperoleh derajat
Sarjana Teknik (S.T.)

Oleh:

Aditya Yudha Pratama

NIM 1901024001

Telah mengetahui dan disetujui oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech.
NIP. 197308282021211006

Muhamad Radzi Rathomi, S. Kom., M.Cs.
NIP. 198903252019031014

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Peramalan Kecepatan Angin Maksimum Dengan Ensemble Empirical Mode Decomposition Dan Transformer Neural Network (Studi Kasus: Kota Tanjungpinang)
Nama : Aditya Yudha Pratama
NIM : 1901024001
Program Studi : Teknik Informatika

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 22 Januari 2024

Susunan Tim Pembimbing dan Penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing I	: Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech.
Pembimbing II	: Mohamad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs.
Ketua Penguji	: Martaleli Bettiza, S.Si., M.Cs.
Anggota	: 1. Nurul Hayaty, S.T., M.Cs. 2. Nurfalinda, S.T., M.Cs.

Tanjungpinang, 24 Januari 2024
Universitas Maritim Raja Ali Haji
Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman
Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman,

Ir. Sapta Nugraha, S.T., M.Eng.
NIP. 19890413 201504 1 005

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul adalah **Peramalan Kecepatan Angin Maksimum Dengan *Ensemble Empirical Mode Decomposition* Dan *Transformer Neural Network* (Studi Kasus: Kota Tanjungpinang)** benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari peneliti lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Jika kemudian hari ternyata terbukti pernyataan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Maritim Raja Ali Haji.

Tanjungpinang, 11 Januari 2024

Yang menyatakan

Materai Rp. 10000,-

Aditya Yudha Pratama

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT, peneliti menyelesaikan skripsi ini dan mengabdikannya kepada:

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan tanpa henti dalam mewujudkan impian dan cita-cita.
2. Bapak Muhamad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs, sebagai Kepala Program Studi Teknik Informatika UMRAH sekaligus menjadi pembimbing kedua.
3. Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech., yang telah membimbing sebagai pembimbing pertama.
4. Dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, dan saran untuk penelitian ini.
5. Dosen dan staf Program Studi Teknik Informatika yang telah berkontribusi dalam penyebaran ilmu dan membantu dalam menyelesaikan semua urusan selama masa studi.
6. Ariana Kirani Azzahra yang sudah menemani saya dan menyemangati saya dalam pengerjaan Skripsi ini.
7. Teman-teman dari kos Griya Bestari Blok I, (Yazhid, Thaariq, Dijo, Manahan, Bang Can, Bang Dimas, Faalih) yang sudah menemani saya sampai selesai kuliah.
8. Teman-teman yang selalu bersama-sama dalam perjuangan dan saling mendukung untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga penyelesaian skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi banyak orang.

HALAMAN MOTO

“Dan katakanlah: ‘Bekerjalah kamu, maka Allah dan Rasul-Nya dan orang-orang mukmin akan melihat pekerjaanmu, dan kamu akan dikembalikan kepada (Allah) Yang Mengetahui yang gaib dan yang nyata, lalu diberitakan-Nya kepada kamu apa yang telah kamu kerjakan.’”

(At-Taubah: 105)

“Kawan-kawan pergi S2, namun tujuanku belum tiba. Tak ada yang tahu kapan kau mencapai tuju, dan percayalah bukan urusanmu untuk menjawab itu.

Bersandar pada waktu.”

Hindia, "Besok Mungkin Kita Sampai" (01:03)

“Langit tak seharusnya biru. Putih tak seharusnya cahaya. Ramalan dan mesin waktu. Seratus kata aku percaya, aku percaya.”

The Jansen, “Langit Tak Seharusnya Biru” (03:22)

"Hari ini tidak berjalan dengan baik bukan berarti kamu harus menyerah."

Ryo Yamada, Bocchi The Rock, Episode 3 (12:45)

KATA PENGANTAR

Dengan Menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan rahmatnya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul “**Peramalan Kecepatan Angin Maksimum dengan *Ensemble Empirical Mode Decomposition* dan *Transformer Neural Network***”. Peneliti ingin berterima kasih juga dengan,

1. Allah SWT., Yang Maha Kuasa, Yang Maha Pemberi Rezeki, Yang Maha Kuat, Yang Maha Mendahulukan dan Yang Maha Mengetahui, atas izin-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi penelitian ini tanpa ada kendala dan penuh kelancaran.
2. Orang Tua, keluarga, saudara, dan teman-teman yang selalu memberikan doa dan dukungan yang terbaik untuk peneliti.
3. Bapak Muhammad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs., selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika dan Pembimbing Kedua yang telah membantu peneliti dalam memberikan saran selama menyusun skripsi dan penelitian ini.
4. Bapak Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom, M.InfoTech., sebagai Pembimbing Satu yang telah membantu peneliti dalam memberikan saran selama menyusun skripsi dan penelitian ini.
5. Serta semua teman-teman dan pihak kampus yang tidak dapat peneliti menuliskan satu persatu yang telah membantu saya dalam tahun perkuliahan ini.

Dengan penuh rasa tanggung jawab dan profesionalisme, peneliti menyusun skripsi penelitian ini.

Tanjungpinang, 22 Januari 2023

Peneliti

Aditya Yudha Pratama

NIM. 1901024001

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
GLOSARIUM	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Literatur	6
2.2 Landasan Teori	13
2.2.1 Data deret waktu	13
2.2.2 Data Stasioner	13
2.2.3 Kecepatan Angin	15
2.2.4 Peramalan	15
2.2.5 Min-Max Scaling	16
2.2.6 Gaussian Noise	16
2.2.7 Empirical Mode Decomposition	17
2.2.8 Ensemble Empirical Mode Decomposition	18
2.2.9 Transformer	19
2.2.10 Self-attention	20
2.2.11 Scaled Dot-product Attention	21
2.2.12 Multi-head Attention	22
2.2.13 Lapisan Normalisasi Encoder dan Decoder	23
2.2.14 Feed Forward Layer	24
2.2.15 <i>Positional Encoding</i> (Posisi Enkoding)	24
2.2.16 Overfitting dan Underfitting	25
2.2.17 Root Mean Square Error	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Informasi Data Penelitian	27
3.2 Perangkat Yang Digunakan	27
3.3 Alur Kerja Penelitian	27
3.4 Analisis dan Perancangan	29
3.4.1 Persiapan Data	29

3.4.2	Perancangan Ensemble Empirical Mode Decomposition	30
3.4.3	Perancangan Transformer Neural Network	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		94
4.1	Informasi Data	94
4.2	Proses Latih Model	95
4.3	Hasil Prediksi	98
4.4	Hasil Pengujian	99
BAB V PENUTUP		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		xvii
LAMPIRAN		xx

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perangkat Keras Yang Digunakan	27
Tabel 3.2 Perangkat Lunak Yang Digunakan.....	27
Tabel 3.3 Isi Data Periode Setahun	29
Tabel 3.4 Lanjutan dari Tabel 3.3	30
Tabel 3.5 Hasil Denormalisasi	30
Tabel 3.6 Data Normalisasi	34
Tabel 3.7 Lanjutan Dari Tabel 3.7	35
Tabel 3.8 Nilai Maksimal Pada Data Normalisasi	36
Tabel 3.9 Nilai Minimal Pada Data Normalisasi.....	37
Tabel 3.10 Hasil Dekomposisi IMF dan Residu dari EEMD.....	46
Tabel 3.11 Sampel Data Yang Akan Di-Framing.....	60
Tabel 3.12 Lanjutan Sampel Data Yang Akan Di-Framing.....	60
Tabel 3.13 Hasil Framing Data	60
Tabel 3.14 Lanjutan Hasil Framing Data 1	60
Tabel 3.15 Lanjutan dari tabel 3.14.....	61
Tabel 3.16 Lanjutan Hasil Framing Data 2	61
Tabel 3.17 Frame 1 Pada Framing Data.....	61
Tabel 3.18 Lanjutan Frame 1 Pada Framing Data 1	61
Tabel 3.19 Frame 2 Pada Framing Data.....	61
Tabel 3.20 Lanjutan dari Tabel 3.19	62
Tabel 3.21 Lanjutan Frame 2 Pada Framing Data 1	62
Tabel 3.22 Hasil Keseluruhan Framing Data	62
Tabel 3.23 Hasil Keseluruhan Transformasi Linier	63
Tabel 3.24 Lanjutan Tabel 3.25	63
Tabel 3.25 Hasil Positional Encoding pada Dimensi 1 dan 2	64
Tabel 3.26 Hasil digabungkan positional encoding dan transformasi linier	65
Tabel 3.27 Hasil Attention Output	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3.28 Hasil Penjumlahan hasil Transformasi Linier dan Attention Output .	67
Tabel 3.29 Hasil Rata-Rata sebanyak 1 kolom 360 baris.....	68
Tabel 3.30 Hasil Standar Deviasi sebanyak 1 kolom 360 baris	68

Tabel 3.31 Perhitungan Manual $ROE1$ dengan $xROE1$	69
Tabel 3.32 Perhitungan Manual $\sigma ROE1$ dengan $\varepsilon ROE1$	69
Tabel 3.33 Perhitungan Manual dari hasil Tabel 3.29. dan Tabel 3.30.....	69
Tabel 3.34 Hasil Normalisasi Output Encoder 1 sementara.....	70
Tabel 3.35 Hasil Normalisasi Output Encoder 1 Akhir	70
Tabel 3.36 Perkalian nilai <i>weight</i> pertama dikalikan dengan hasil $NOE1ij$	72
Tabel 3.37 Penjumlahan hasil perkalian Tabel 3.35 dengan nilai <i>bias</i> 1	72
Tabel 3.38 Hasil Intermediate Output	73
Tabel 3.39 Perhitungan manual mencari nilai <i>FFN Output</i>	73
Tabel 3.40 Penjumlahan Tabel 3.38 dengan nilai <i>bias</i> 2.....	73
Tabel 3.41 Hasil <i>FFN Output</i>	74
Tabel 3.42 Hasil Rata-rata sebanyak 1 kolom 360 baris.....	75
Tabel 3.43 Hasil Standar Deviasi sebanyak 1 kolom 360 baris	75
Tabel 3.44 Perhitungan Manual $ROE2$ dengan $xROE2$	76
Tabel 3.45 Perhitungan Manual $\sigma ROE2$ dengan $\varepsilon ROE2$	76
Tabel 3.46 Perhitungan Manual dari hasil Tabel 3.40. dan Tabel 3.41.....	77
Tabel 3.47 Hasil Normalisasi Output Encoder 2 sementara.....	77
Tabel 3.48 Hasil Normalisasi Output Encoder 2 Akhir	78
Tabel 3.49 Contoh filter dari Masked Multi-head Attention.....	79
Tabel 3.50 Hasil jika <i>Attention Weight</i> di dalam Masked Multi-head Attention .	79
Tabel 3.51 Hasil Attention Output	81
Tabel 3.52 Hasil Penjumlahan hasil Transformasi Linier dan <i>Attention Output</i> .	82
Tabel 3.53 Hasil Rata-Rata sebanyak 1 kolom 360 baris.....	82
Tabel 3.54 Hasil Standar Deviasi sebanyak 1 kolom 360 baris	83
Tabel 3.55 Perhitungan Manual $ROE1$ dengan $xROE1$	84
Tabel 3.56 Perhitungan Manual $\sigma ROE1$ dengan $\varepsilon ROE1$	84
Tabel 3.57 Perhitungan Manual dari hasil Tabel 3.29. dan Tabel 3.30.....	85
Tabel 3.58 Hasil Normalisasi Output Encoder 1 sementara.....	85
Tabel 3.59 Hasil Normalisasi Output Decoder 2 Akhir	86
Tabel 3.60 Perkalian nilai <i>weight</i> pertama dikalikan dengan hasil $NOE1ij$	87
Tabel 3.61 Hasil Intermediate Output	88

Tabel 3.62 Perhitungan manual mencari nilai <i>FFN Output</i>	88
Tabel 3.63 Hasil <i>FFN Output</i>	88
Tabel 3.64 Hasil Rata-rata sebanyak 1 kolom 360 baris	89
Tabel 3.65 Hasil Standar Deviasi sebanyak 1 kolom 360 baris	89
Tabel 3.66 Perhitungan Manual <i>ROE2</i> dengan $xROE2$	90
Tabel 3.67 Perhitungan Manual $\sigma ROD3$ dengan $\varepsilon ROD3$	90
Tabel 3.68 Perhitungan Manual dari hasil Tabel 3.40. dan Tabel 3.41	91
Tabel 3.69 Hasil Normalisasi Output Encoder 2 sementara	91
Tabel 3.70 Hasil Normalisasi Output Encoder 2 Akhir	92
Tabel 3.71 Validasi angka perhitungan	93
Tabel 3.72 Data Aktual baris pertama dekomposisi	93
Tabel 4.1 Tabel Data Kecepatan Angin Maksimum	94
Tabel 4.2 Hasil Nilai Prediksi vs. Aktual	99
Tabel 4.3 Nilai RMSE prediksi per fitur dari beberapa percobaan epoch	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Visualisasi Tren Data Non-Stasioner.....	14
Gambar 2.2 Contoh Visualisasi Tren Data Stasioner.....	14
Gambar 2.3 Arsitektur Scaled Dot-product Attention dan Multi-head Attention.....	21
Gambar 3.1 Alur Kerja Penelitian Yang Dikerjakan.....	28
Gambar 3.2 Alur Kerja Ensemble Empirical Mode Decomposition.....	31
Gambar 3.3 Diagram Alir Kerja Sistem EEMD.....	32
Gambar 3.4 Visualisasi Normalisasi Data Kecepatan Angin.....	34
Gambar 3.5 Visualisasi Titik Sinyal Maksimal.....	35
Gambar 3.6 Visualisasi Sinyal Minimal.....	38
Gambar 3.7 Diagram Alir Transformer Neural Network.....	48
Gambar 3.8 Alur Diagram sistem Transformer Neural Network.....	49
Gambar 3.9 Alur Diagram ketika masuk ke Multi-head Attention Encoder.....	50
Gambar 3.10 Perhitungan pada lapisan normalisasi 1 pada <i>encoder</i>	51
Gambar 3.11 Mencari nilai <i>FFN Output</i> pada <i>encoder</i>	52
Gambar 3.12 Hasil akhir nilai <i>Encoder</i>	53
Gambar 3.13 Alur diagram pada <i>Masked Multi-head Attention</i> di <i>Decoder</i>	54
Gambar 3.14 Alur Diagram Lapisan Normalisasi Pertama Pada <i>Decoder</i>	55
Gambar 3.15 Alur Diagram Multi-head Attention Kedua Pada <i>Decoder</i>	56
Gambar 3.16 Alur Diagram Lapisan Normalisasi Kedua Pada <i>Decoder</i>	57
Gambar 3.17 Alur Diagram Didalam Lapisan <i>Feed Forward Network</i>	58
Gambar 3.18 Alur Diagram Didalam Normalisasi Akhir Pada <i>Decoder</i>	59
Gambar 3.19 Potongan dari gambar diagram alir menunjukkan hasil lapisan normalisasi kedua <i>Encoder</i> menjadi nilai <i>Value</i> dan <i>Key</i> pada <i>Multi-head Attention</i> ke-2 di blok <i>Decoder</i>	79
Gambar 4.1 Visualisasi proses latih model 10 <i>epoch</i>	96
Gambar 4.2 Visualisasi proses latih model 20 <i>epoch</i>	97
Gambar 4.3 Visualisasi proses latih model 20 <i>epoch</i>	97
Gambar 4.4 Visualisasi proses latih model 100 <i>epoch</i>	98

GLOSARIUM

EEMD	Ensemble Empirical Mode Decomposition, sebuah teknik yang digunakan untuk mendekomposisi data kecepatan angin menjadi sejumlah intrinsic mode decomposition (IMF). Setiap IMF mewakili komponen frekuensi yang berbeda dalam data.
IMFs	Komponen frekuensi yang berbeda dalam data yang dihasilkan oleh EEMD. IMF ini digunakan sebagai <i>input</i> untuk Transformer Neural Network, atau bisa dipanggil dengan hasil dekomposisi.
Transformer	Sebuah model yang telah menunjukkan kinerja yang luar biasa dalam berbagai tugas pemrosesan bahasa alami dan sekarang diadaptasi untuk peramalan waktu.
Attention	Mekanisme dalam Transformer Neural Network yang memungkinkan model untuk fokus pada bagian-bagian tertentu dari data input saat membuat prediksi.
MCF	Meteorological and Climate Forecasting: Proses meramalkan kondisi cuaca dan iklim, yang merupakan area penelitian potensial lainnya untuk teknik-teknik ini.

ABSTRAK

Pratama, Aditya Yudha. 2023. *Peramalan Kecepatan Angin Maksimum Dengan Ensemble Empirical Mode Decomposition Dan Transformer Neural Network*, Skripsi. Tanjungpinang: Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Univeristas Maritim Raja Ali Haji. Pembimbing I: Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech.. Pembimbing II: Muhamad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs.

Penelitian ini berfokus pada penggunaan teknik Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) dan model Transformer Neural Network untuk meramalkan kecepatan angin. EEMD digunakan untuk mendekomposisi data kecepatan angin menjadi sejumlah *intrinsic mode decomposition* (IMF). Setiap IMF (hasil dekomposisi) mewakili komponen frekuensi yang berbeda dalam data, yang memungkinkan dapat untuk menangkap pola dan tren yang mungkin tidak terlihat dalam data mentah. IMF ini kemudian digunakan sebagai *input* untuk Transformer Neural Network, sebuah model yang telah menunjukkan kinerja yang luar biasa dalam berbagai tugas pemrosesan bahasa alami dan sekarang diadaptasi untuk peramalan waktu. Transformer memanfaatkan *attention mechanism* yang memungkinkan model untuk fokus pada pola-pola tertentu dari data *input* saat membuat prediksi. Data yang digunakan ialah kecepatan angin maksimum periode setahun 2022, dengan 365 hari, data diubah dalam dekomposisi sebanyak 9 fitur (IMF 1 s/d IMF 8 dan Residu). Data di *framing* dengan *windows size* 4 hari dan *sliding size* 1 hari. Hasil prediksi menggunakan *input* 4 hari dengan prediksi 1 hari berikutnya. Dapat dikatakan bahwa penelitian ini menyatakan Transformer Neural Network ini kurang cocok jika menggunakan data deret waktu harian dalam periode setahun. Meskipun begitu, pengujian Root Mean Square Error (RMSE) pada epoch 50 menunjukkan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan iterasi lainnya. Nilai RMSE untuk setiap fitur, dari IMF 1 sampai Residu, adalah 0,169; 0,072; 0,067; 0,051; 0,028; 0,008; 0,014; 0,005; dan 0,006.

Kata kunci: *Ensemble Empirical Mode Decomposition, Transformer Neural Network, Root Mean Square Error, Intrinsic Mode Decomposition, Attention Mechanism, Framing Data, Kecepatan Angin*

ABSTRACT

Pratama, Aditya Yudha. 2023. *Forecasting Maximum Wind Speed with Ensemble Empirical Mode Decomposition and Transformer Neural Network (Case Study: Tanjungpinang City)*, Thesis. Tanjungpinang: Department of Informatics Engineering, Faculty of Maritime Engineering and Technology, Raja Ali Haji Maritime University. Supervisor I: Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech.. Advisor II: Muhamad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs.

This study focuses on employing the Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) technique and the Transformer Neural Network model for wind speed prediction. EEMD is utilized to decompose wind speed data into several intrinsic mode decompositions (IMF). Each IMF, representing a different frequency component in the data, allows for capturing patterns and trends that may not be evident in raw data. These IMFs are then used as inputs for the Transformer Neural Network, a model known for outstanding performance in various natural language processing tasks and adapted for time forecasting. The Transformer leverages an attention mechanism, enabling the model to focus on specific patterns in the input data when making predictions. The dataset comprises maximum wind speeds over a year in 2022, spanning 365 days, transformed into a decomposition with 9 features (IMF 1 to IMF 8 and Residue). The data is framed using a window size of 4 days and a sliding size of 1 day. Predictions are made based on a 4-day input, forecasting the subsequent day. It can be asserted that this research indicates the Transformer Neural Network is less suitable when dealing with daily time series data over a year. Nevertheless, the Root Mean Square Error (RMSE) test at epoch 50 demonstrates superior results compared to other iterations. The RMSE values for each feature, from IMF 1 to Residue, are 0.169, 0.072, 0.067, 0.051, 0.028, 0.008, 0.014, 0.005, and 0.006, respectively.

Keywords: *Ensemble Empirical Mode Decomposition, Transformer Neural Network, Root Mean Square Error, Intrinsic Mode Decomposition, Attention Mechanism, Framing Data, Wind Speed*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mahluk hidup selalu membutuhkan bantuan dari alam contohnya yaitu angin. Angin adalah gerakan udara yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara di suatu tempat (Munawaroh, 2013). Karakteristik gerakan udara dengan kecepatan tinggi yang dapat dicapai oleh angin di suatu tempat pada suatu waktu tertentu disebut dengan kecepatan angin maksimum. Kecepatan angin maksimum juga dapat dijadikan sebagai informasi penting dalam berbagai bidang.

Tanjungpinang, ibu kota Provinsi Kepulauan Riau di Indonesia, dikenal dengan karakteristik iklim dan cuaca yang unik, khususnya dalam hal kecepatan angin. Data dari BMKG Tanjungpinang menunjukkan bahwa kota ini sering kali mengalami angin dengan kecepatan maksimum yang tinggi.

Kecepatan angin memiliki peran penting dalam dunia maritim. Angin mempengaruhi berbagai aspek dari aktivitas maritim, termasuk navigasi, operasi kapal, dan keselamatan maritim. Misalnya, angin dapat mempengaruhi manuver kapal dan stabilitasnya di laut. Selain itu, angin juga mempengaruhi pembangkitan energi angin lepas pantai, yang merupakan bagian penting dari sektor energi terbarukan.

Dalam dunia navigasi, pengetahuan tentang kecepatan dan arah angin sangat penting. Angin sangat dipengaruhi oleh air dan karena kapal tidak memiliki jalur yang stabil di air, penggunaan indikator angin memberikan pengetahuan tentang arah angin yang bertiup. Oleh karena itu, memprediksi kecepatan angin dapat sangat membantu dalam navigasi maritim.

Untuk memprediksi kecepatan angin, peneliti dapat menggunakan model pembelajaran mesin atau algoritma jaringan syaraf tiruan seperti Transformer Neural Network. Model Transformer Neural Network adalah algoritma jaringan saraf diciptakan untuk menangani *sequence-to-sequence* dengan efektif sambil mengatasi dependensi jangka panjang dengan mudah. Model ini pertama kali diperkenalkan oleh Vaswani, dkk (2017) berjudul "Attention Is All You Need"

dan saat ini menjadi metode unggulan dalam bidang *Natural Language Processing* (NLP).

Model Transformer Neural Network memiliki dua komponen utama, yaitu *encoder* dan *decoder*. *Encoder* membaca dan memahami informasi dari *data input*, dalam hal ini data deret waktu kecepatan angin. *Decoder* kemudian menggunakan informasi ini untuk menghasilkan prediksi untuk langkah waktu di masa depan. Setiap komponen ini memiliki peran penting dalam memastikan bahwa model Transformer dapat menangani tugas *sequence-to-sequence* sambil mengatasi *dependensi* jangka panjang dengan mudah. Salah satu keuntungan utama dari Transformer Neural Network dibandingkan dengan model jaringan syaraf tiruan lainnya adalah kemampuannya untuk memahami *dependensi* jangka panjang dalam data.

Pada penelitian ini, peneliti mengusulkan algoritma Transformer Neural Networks dalam meramalkan kecepatan angin pada kota Tanjung Pinang yang akan menggunakan hasil dekomposisi teknik Ensemble Empirical Mode Decomposition, hasil dekomposisi didapatkan dari data deret waktu yang dinormalisasikan menggunakan Min-Max Scaling. Data perlu dilakukan dekomposisi agar menghasilkan nilai yang dipecah-pecah sehingga menghasilkan representasi dimensi pada data deret waktu.

Penelitian peramalan kecepatan angin sebelumnya yang menggunakan Transformer Neural Network dilakukan oleh Nascimento, dkk. (2023), pada penelitiannya menggunakan data dari tiga lokasi (Mucuge, Espanada, dan Mucuri) dengan lima label (kecepatan angin, arah angin, temperatur udara, kelembaban udara, dan tekanan udara) serta menggunakan model kombinasi Transformer Neural Networks dan Wavelet Transform yang berfungsi untuk meningkatkan jumlah fitur dalam data dengan menambahkan informasi yang lebih relevan dari data yang sudah ada, dengan tujuan menambah dan mendukung lebih banyak kemampuan pembelajaran, pada penelitian ini meramal energi angin dan kecepatan angin menggunakan analisis komparatif statistika dengan algoritma Long Short-Term Memory dengan hasil menggunakan indeks Root Mean Square Error (RMSE), LSTM mendapatkan nilai rata-rata 1,7864 sedangkan model yang

diusulkan (Transformer-Wavelet Transform) mendapatkan 1,5871, dengan nilai ini, model yang diusulkan lebih unggul.

Adapun penelitian sebelumnya yang menggunakan Teknik EEMD, yang dilakukan oleh Yan, dkk. (2022) penelitian ini meramal kecepatan angin dengan tiga skala waktu 15 menit, 30 menit dan 60 menit, dengan menggunakan algoritma Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA), LSTM dan EEMD untuk mendekomposisi urutan residu nonlinier untuk mendapatkan urutan sub-residu nonlinier dari setiap pita frekuensi. Pada hasil akhir Mean Absolute Error (MAE), pada skala waktu 15 menit, model yang diusulkan penelitian ini (SARIMA-EEMD-LSTM) dapat mengungguli dari model lain dengan nilai 0.3027.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Stasiun Meteorologi Raja Ali Haji Fisabillah, BMKG Tanjungpinang. Data tersebut mencakup periode satu tahun penuh, dari Januari 2022 hingga Desember 2022. Satuan data yang digunakan ialah *knot*. Hanya dua label yang digunakan dalam data ini, yaitu label waktu dan kecepatan angin maksimum.

Label waktu mencakup tanggal dan waktu pengukuran kecepatan angin. Ini penting karena memungkinkan peneliti untuk melacak perubahan kecepatan angin sepanjang waktu dan mengidentifikasi pola atau tren tertentu sedangkan label kecepatan angin maksimum mencakup nilai kecepatan angin maksimum yang diukur pada waktu tertentu. Ini adalah variabel target yang akan diprediksi oleh model Transformer Neural Network.

Dengan demikian, penelitian tentang prediksi kecepatan angin di Tanjungpinang menggunakan Transformer Neural Network dapat memiliki implikasi yang signifikan dalam konteks kemaritiman. Selain itu, penelitian ini juga dapat berkontribusi pada pengembangan strategi mitigasi risiko dan adaptasi terhadap perubahan iklim di wilayah pesisir dan maritim.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran yang sudah dipaparkan pada latar belakang, demikian penelitian ini mencari tahu sejauh mana model Transformer Neural

Network menangani dependensi jangka panjang pada data deret waktu kecepatan angin.

1.3 Batasan Masalah

Batasan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data harian kecepatan angin maksimum di Kota Tanjungpinang.
2. Data yang digunakan ialah data kecepatan angin harian pada bulan Januari s/d Desember tahun 2022.
3. Ada 356 data deret waktu yang digunakan untuk menguji peramalan.
4. Mengetahui hasil dari model Transformer Neural Network cocok/tidak cocoknya ketika menggunakan data harian periode setahun.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui apakah model pembelajaran mesin cocok untuk data harian sebanyak 365 hari, dan mengetahui hasil prediksi dari peramalan model kecepatan angin maksimum di kota Tanjungpinang menggunakan metode algoritma Transformer Neural Network dengan *input* 4 hari sebelumnya dan prediksi 1 hari berikutnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat baik bagi pembaca, masyarakat, dan pengembangan ilmu pengetahuan. Berikut adalah manfaat dari penelitian ini:

1. Bagi Pembaca

Hasil penelitian menjadi sumber pengetahuan algoritma Transformer Neural Network dan memahami pola cuaca dan iklim di Tanjungpinang, khususnya terkait dengan kecepatan angin.

2. Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini dapat mengembangkan pengetahuan baru di bidang pembelajaran mesin yang berkaitan dengan peramalan data *deret waktu*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi penelitian ini diatur dengan struktur kepenulisan yang sistematis. Berikut adalah struktur penulisan untuk skripsi penelitian ini:

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, dan struktur penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini memberikan penjelasan tentang penelitian-penelitian sebelumnya, konsep dan teori yang telah digunakan dalam studi kasus dan metode yang serupa.

Bab III Metode Penelitian

Bab ini juga menjelaskan tentang data dan perangkat yang digunakan saat melakukan penelitian, bahan atau materi penelitian, jenis data yang digunakan, alat untuk mengumpulkan data, alat atau instrumen penelitian, kerangka penelitian, pengumpulan data, serta analisis dan perancangan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang pengujian dan diskusi dari hasil penelitian.

Bab V Penutup

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Daftar Pustaka

Bab ini berisi sumber-sumber yang digunakan sebagai pendukung dalam tinjauan pustaka.