

**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. 198907252019031014

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Peramalan Kecepatan Angin Maksimum Dengan Metode Ensemble Empirical Mode Decomposition dan Transformer Neural Network  
Nama : Aditya Yudha Pratama  
NIM : 1901024001  
Jurusan : Teknik Informatika

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan dinyatakan lulus pada tanggal 11 Januari 2024

### Susunan Tim Pembimbing dan Penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing I	: Tekad Matulatan, S.Sos., S.Kom., M.Inf.Tech		25/01/2024
Pembimbing II	: Muhamad Radzi Rathomi, S.Kom., M.Cs.		24/01/2024
Ketua Penguji	: Martaleli Bettiza, S.Si., M.Cs.		24/01-2024
Anggota	: 1. Nurfalinda, S.T., M.Cs.		24/01-2024
	: 2. Nurul Hayaty, S.T., M.Cs		24/01-2024

Tanjungpinang, .....  
Universitas Maritim Raja Ali Haji  
Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman  
Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman

  
Ir. Sapt 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



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

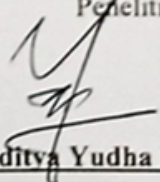
Dengan Menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan rahmatnya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul “Peramalan Kecepatan Angin Maksimum dengan *Ensemble Empirical Mode Decomposition* dan *Transformer Neural Network*”. Peneliti ingin berterima kasih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

  
Aditva Yudha Pratama

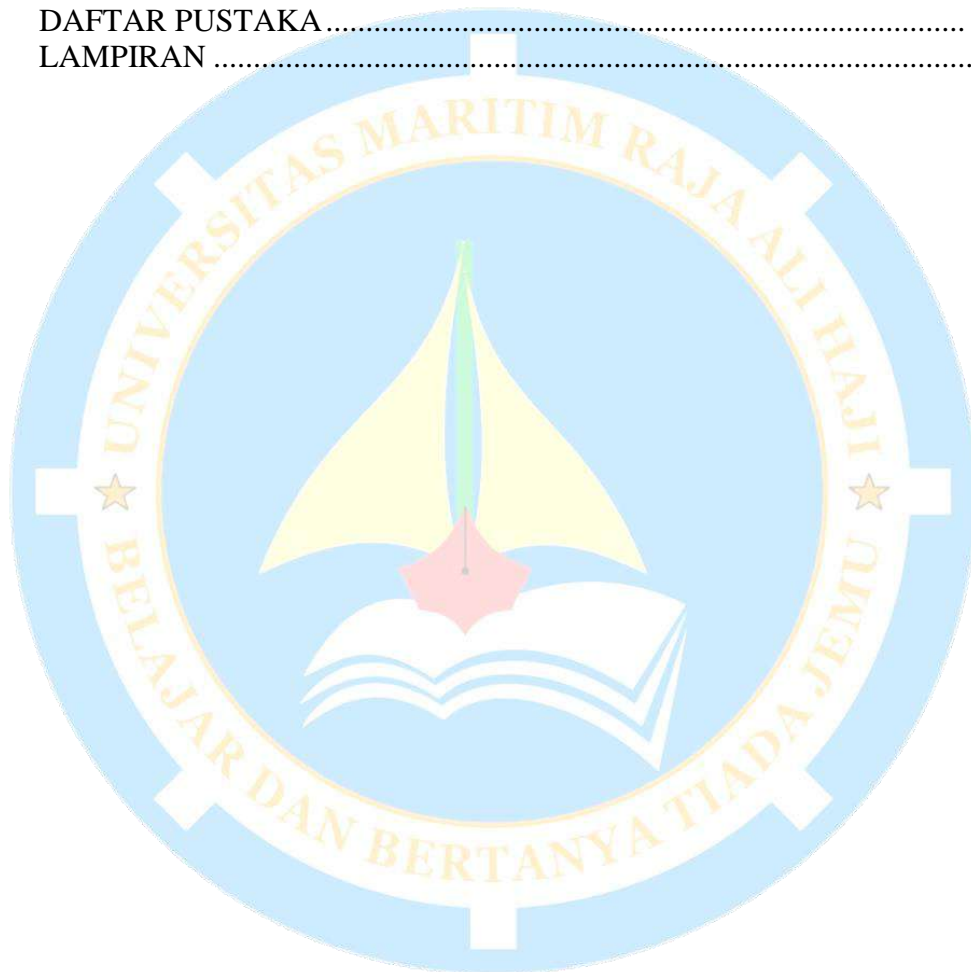
NIM. 1901024001

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
HALAMAN MOTO .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
GLOSARIUM .....	xv
ABSTRAK .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
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

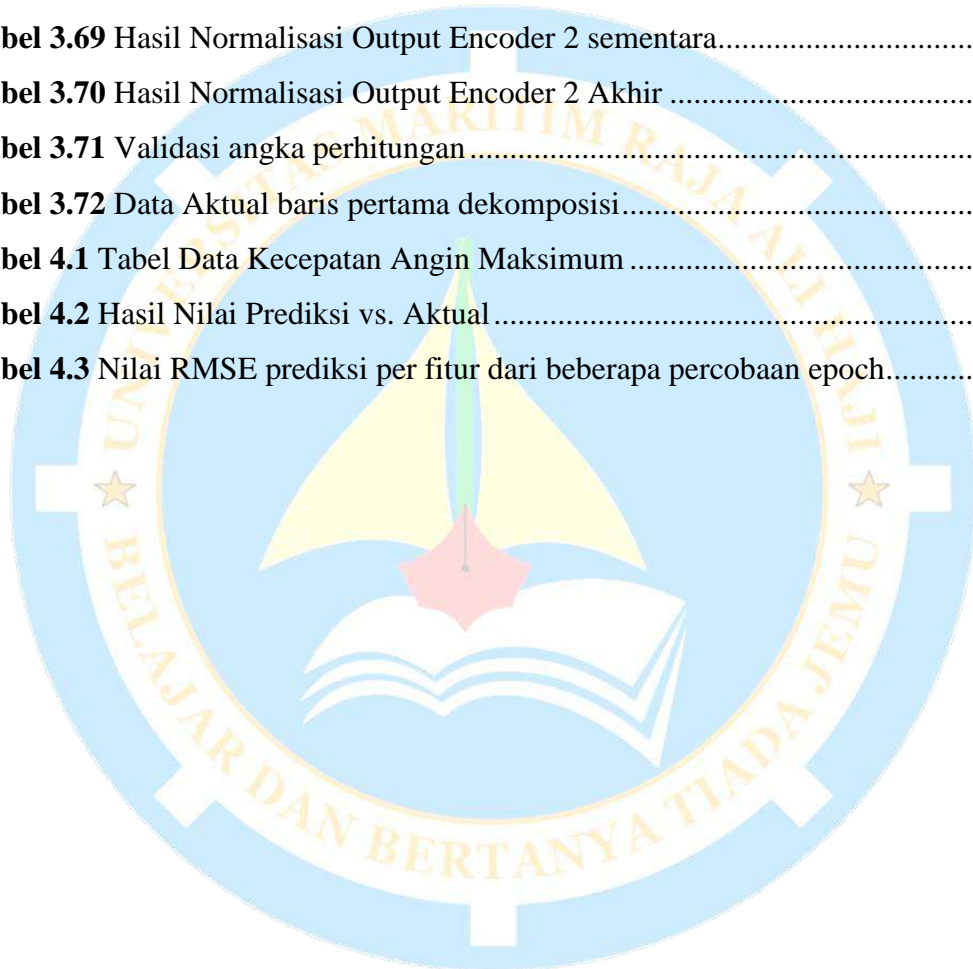


## DAFTAR TABEL

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

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

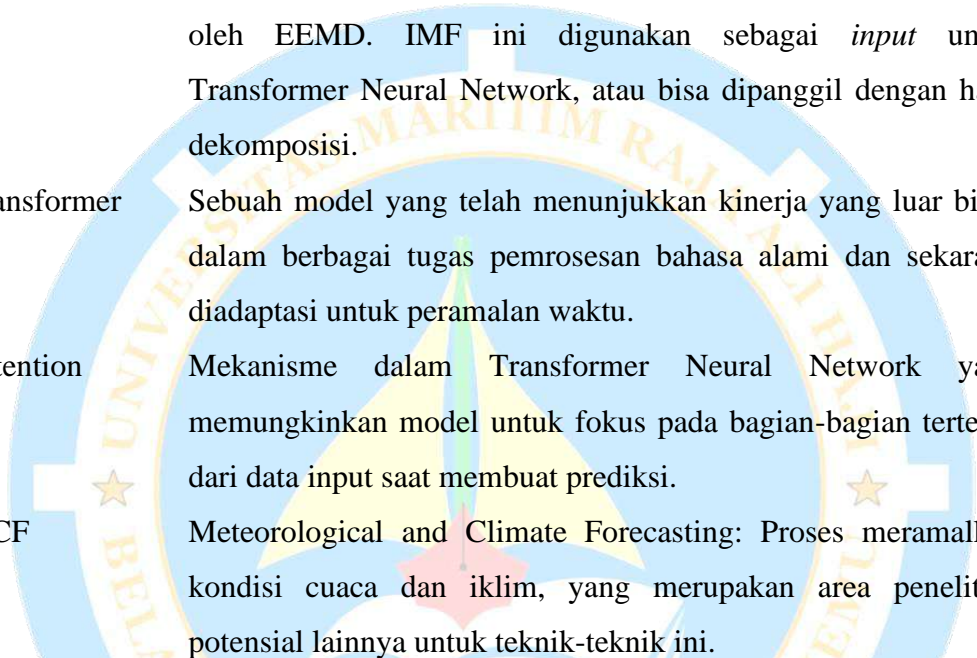
<b>Tabel 3.62</b> Perhitungan manual mencari nilai <i>FFN Output</i> .....	88
<b>Tabel 3.63</b> Hasil <i>FFN Output</i> .....	88
<b>Tabel 3.64</b> Hasil Rata-rata sebanyak 1 kolom 360 baris .....	89
<b>Tabel 3.65</b> Hasil Standar Deviasi sebanyak 1 kolom 360 baris .....	89
<b>Tabel 3.66</b> Perhitungan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



## DAFTAR GAMBAR

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