

**ANALISIS PREDIKSI POLUTAN PM2.5 DENGAN  
ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* DAN *XGBOOST***

**TUGAS AKHIR**



Muhamad Nur Amin

NIM. 2201020032

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI KEMARITIMAN  
UNIVERSITAS MARITIM RAJA ALI HAJI  
TANJUNGPINANG  
2026**

# **ANALISIS PREDIKSI POLUTAN PM2.5 DENGAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* DAN *XGBOOST***

Tugas Akhir

Skema Skripsi

*Tugas Akhir diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana  
Teknik pada Program Studi Teknik Informatika*



Muhamad Nur Amin

NIM. 2201020032

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI KEMARITIMAN  
UNIVERSITAS MARITIM RAJA ALI HAJI  
TANJUNGPINANG  
2026**

## **PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

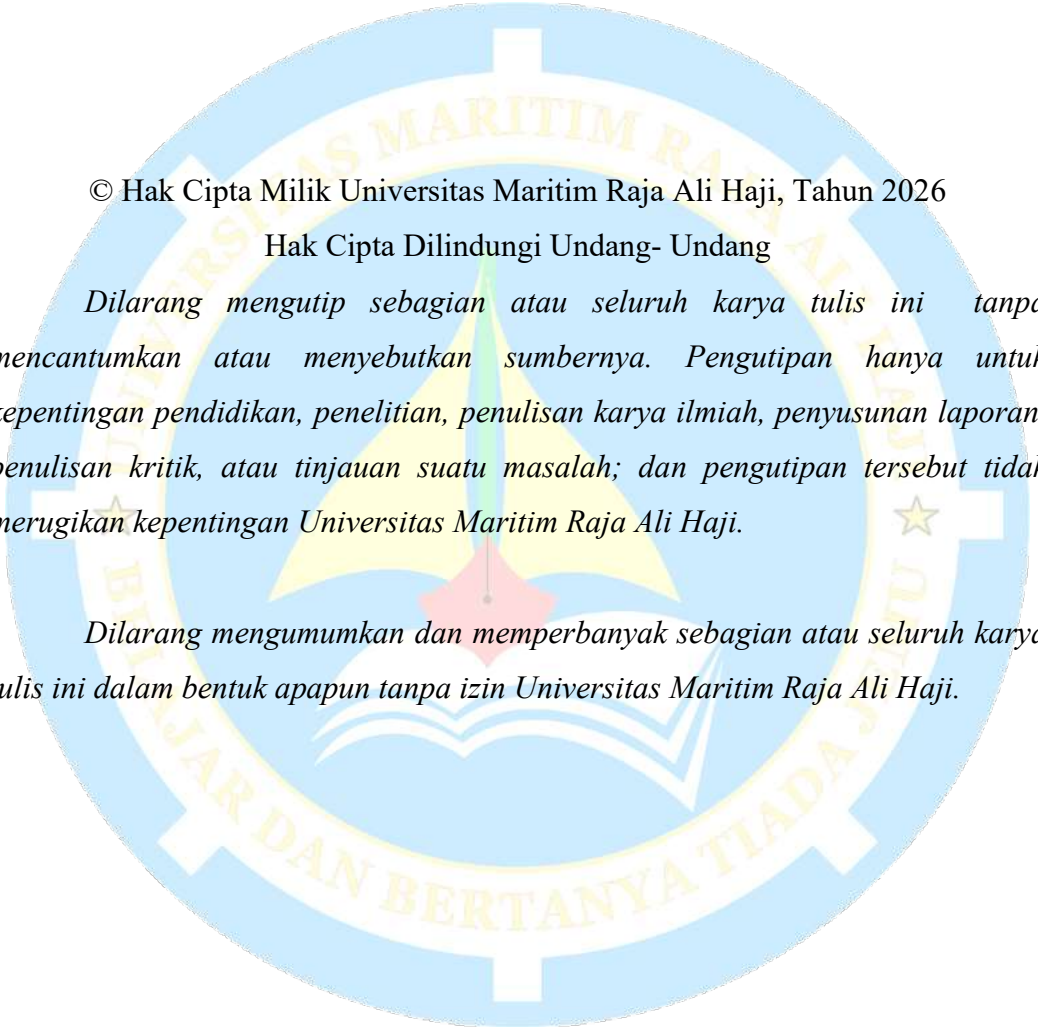
Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “Analisis Prediksi Polutan PM2.5 dengan Algoritma *XGBoost* dan *Differential Evolution*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar dan melanggar peraturan yang berlaku dalam karya tulis dan hak intelektual, maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Maritim Raja Ali Haji dan menerima sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Maritim Raja Ali Haji.

Tanjungpinang, 01 Juli 2026



*Muhamad Nur Amin*  
NIM 2201020032



© Hak Cipta Milik Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tahun 2026

Hak Cipta Dilindungi Undang- Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan Universitas Maritim Raja Ali Haji.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Maritim Raja Ali Haji.*

## HALAMAN PERSETUJUAN

Judul : Analisis Prediksi Polutan PM2.5 Dengan Algoritma  
*Differential Evolution* Dan *XGBoost*  
Nama : Muhamad Nur Amin  
NIM : 2201020032  
Program Studi : Teknik Informatika  
Tanggal Persetujuan : 29 Juni 2026

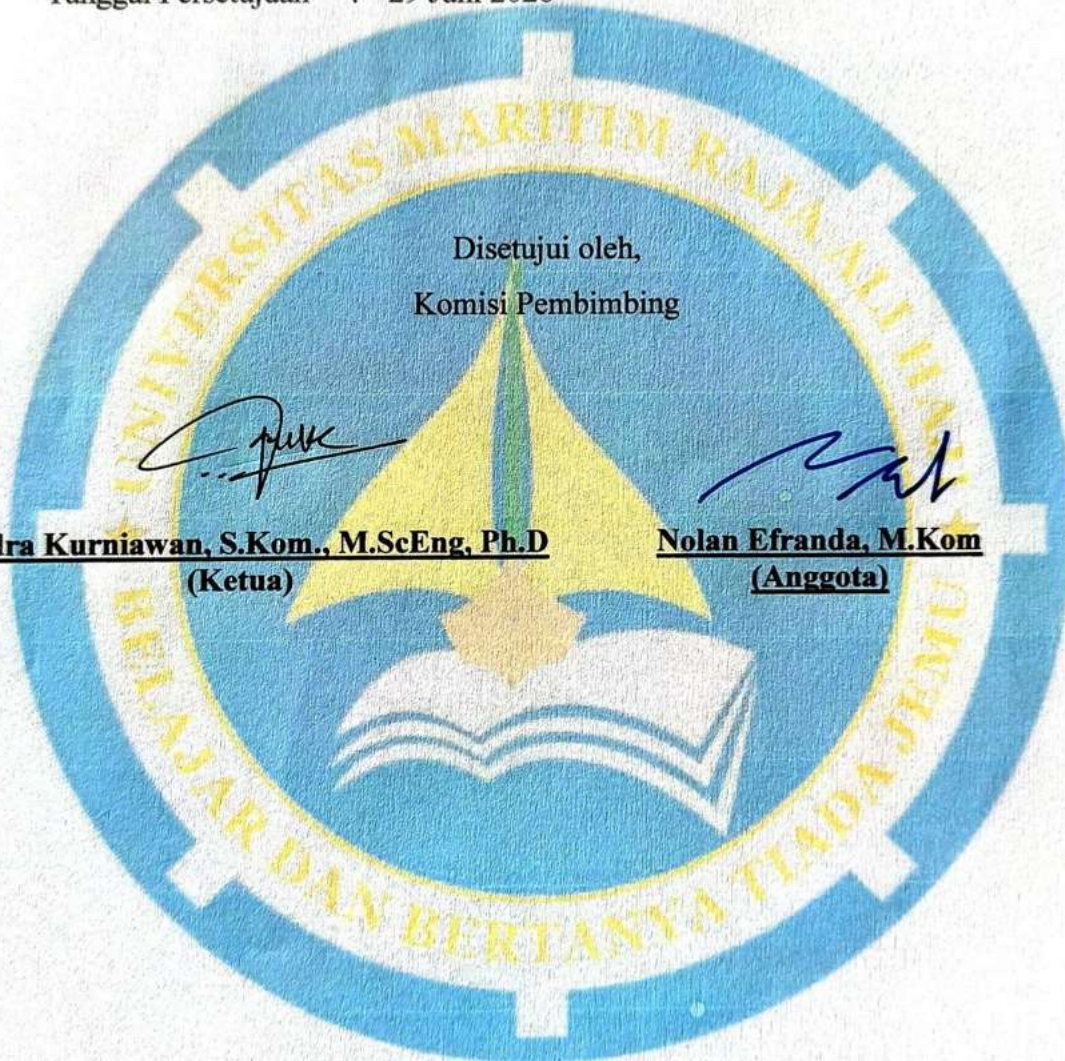
Disetujui oleh,  
Komisi Pembimbing



**Hendra Kurniawan, S.Kom., M.ScEng, Ph.D**  
(Ketua)



**Nolan Efranda, M.Kom**  
(Anggota)



## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Prediksi Polutan PM2.5 dengan  
Algoritma *XGBoost* dan *Differential Evolution*  
Nama : Muhamad Nur Amin  
NIM : 2201020032

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Komisi Penguji sebagai bagian persyaratan yang diperlukan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji.

### KOMISI PENGUJI

|             |                                               |         |
|-------------|-----------------------------------------------|---------|
| Ketua       | : Nola Ritha, S.T., M.Cs                      | (.....) |
| Anggota I   | : Fortia Magfira, M.Kom                       | (.....) |
| Anggota II  | : Ir. Muhamad Fadli, M.Kom                    | (.....) |
| Anggota III | : Hendra Kurniawan, S.Kom., M.Sc.Eng,<br>Ph.D | (.....) |
| Anggota IV  | : Nolan Efranda, M.Kom                        | (.....) |

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Informatika



Hollandia Arif Kusuma, S.IK., M.Si  
NIP. 198904012019031016

Tanggal Ujian: 8 Juli 2026

Tanggal Lulus:

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam pelaksanaan tugas akhir pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman, Universitas Maritim Raja Ali Haji. Penelitian ini direncanakan berlangsung pada bulan Desember 2025 hingga April 2026 dengan judul **Analisis Prediksi Polutan PM2.5 dengan Algoritma *Differential Evolution* dan *XGBoost***, yang bertujuan untuk mengembangkan model prediksi konsentrasi PM2.5 berbasis data deret waktu melalui optimasi global dan pendekatan *machine learning* guna meningkatkan akurasi prediksi kualitas udara.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Hendra Kurniawan, S.Kom., M.Sc.Eng., Ph.D. selaku Pembimbing I dan Bapak Nolan Efranda, M.Kom. selaku Pembimbing II atas bimbingan, arahan, serta masukan yang diberikan selama penyusunan laporan ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada orang tua, keluarga, dan rekan-rekan atas dukungan, doa, dan motivasi yang diberikan. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian ini.

Tanjungpinang, 1 Juli 2026



Muhamad Nur Amin

## DAFTAR ISI

|                                                  |       |
|--------------------------------------------------|-------|
| HALAMAN PERSETUJUAN.....                         | iv    |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                          | v     |
| ABSTRAK .....                                    | vi    |
| <i>ABSTRACT</i> .....                            | vii   |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                        | viii  |
| HALAMAN MOTTO .....                              | x     |
| PRAKATA.....                                     | xi    |
| DAFTAR ISI.....                                  | xii   |
| DAFTAR TABEL.....                                | xvi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                              | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN.....                           | 1     |
| A. Latar Belakang .....                          | 1     |
| B. Perumusan Masalah .....                       | 4     |
| C. Batasan Penelitian .....                      | 5     |
| D. Tujuan Penelitian .....                       | 6     |
| E. Manfaat Penelitian .....                      | 6     |
| F. Keaslian Penelitian.....                      | 7     |
| BAB II KAJIAN LITERATUR .....                    | 9     |
| A. Tinjauan Pustaka .....                        | 9     |
| B. Landasan Teori.....                           | 16    |
| 1. <i>Particulate Matter 2.5</i> .....           | 16    |
| 2. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) .....  | 17    |
| 3. Data Deret Waktu ( <i>Time Series</i> ) ..... | 18    |
| 4. Prediksi ( <i>forecasting</i> ).....          | 19    |

|                                |                                                                             |    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.                             | Penanganan Nilai Kosong Pada <i>Dataset</i> .....                           | 20 |
| 6.                             | Normalisasi Data.....                                                       | 22 |
| 7.                             | Denormalisasi.....                                                          | 23 |
| 8.                             | <i>Extreme Gradient Boosting (XGBoost)</i> .....                            | 23 |
| 9.                             | <i>Differential Evolution (DE)</i> .....                                    | 26 |
| 10.                            | Rekayasa Fitur ( <i>Feature Engineering</i> ) dengan <i>Fitur lag</i> ..... | 28 |
| 11.                            | Evaluasi Model.....                                                         | 29 |
| 12.                            | Uji Signifikansi Statistik.....                                             | 31 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... |                                                                             | 34 |
| A.                             | Waktu dan Tempat Penelitian.....                                            | 34 |
| B.                             | Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....                                        | 34 |
| 1.                             | Studi Literatur .....                                                       | 35 |
| 2.                             | Pra-pemrosesan dan <i>Feature Engineering</i> .....                         | 35 |
| 3.                             | Pembagian <i>Dataset</i> .....                                              | 35 |
| 4.                             | Optimasi Pemilihan Fitur .....                                              | 35 |
| 5.                             | Pelatihan Model .....                                                       | 36 |
| 6.                             | Evaluasi dan Analisis Hasil.....                                            | 36 |
| 7.                             | Penyusunan Laporan .....                                                    | 36 |
| C.                             | Perancangan Sistem .....                                                    | 37 |
| 1.                             | <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....                                    | 37 |
| 2.                             | <i>Wireframe</i> Perencanaan Pembangunan Sistem sebagai demo sistem... 41   |    |
| D.                             | Analisis Data .....                                                         | 43 |
| 1.                             | Pembuatan <i>Fitur lag</i> dan Normalisasi Data .....                       | 44 |
| 2.                             | Perhitungan Manual DE .....                                                 | 52 |
| 3.                             | Perhitungan Manual <i>XGBoost</i> .....                                     | 59 |
| E.                             | Jadwal Penelitian.....                                                      | 66 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                           | 68 |
| A. Hasil Implementasi.....                                                  | 68 |
| 1. Lingkungan Pengembangan .....                                            | 68 |
| 2. Feature Engineering Pembentukan <i>Fitur lag</i> .....                   | 68 |
| 3. Pembagian Data Latih dan Data Uji .....                                  | 69 |
| 4. Normalisasi Data.....                                                    | 70 |
| B. Proses Optimasi <i>Differential Evolution</i> .....                      | 71 |
| 1. Fungsi Tujuan .....                                                      | 71 |
| 2. Ruang Pencarian dan Batas Optimasi .....                                 | 71 |
| 3. Hasil Optimasi DE .....                                                  | 73 |
| C. Pelatihan Model Final .....                                              | 73 |
| D. Hasil <i>Feature importance</i> Model DE- <i>XGBoost</i> .....           | 75 |
| E. Hasil Evaluasi Performa Model .....                                      | 76 |
| F. Hasil Evaluasi Performa per Kategori ISPU.....                           | 77 |
| G. Hasil Analisis Distribusi <i>Error</i> .....                             | 78 |
| H. Perbandingan Waktu Pelatihan Model.....                                  | 79 |
| I. Uji Signifikansi Statistik .....                                         | 80 |
| J. Implementasi Antarmuka Aplikasi Web.....                                 | 81 |
| 1. Tab Prediksi Utama.....                                                  | 82 |
| 2. Tab Tentang Sistem & Model.....                                          | 85 |
| 3. Tab Data Historis & Perbandingan .....                                   | 86 |
| K. Pembahasan.....                                                          | 88 |
| 1. Efektivitas Optimasi DE dalam Meningkatkan Performa <i>XGBoost</i> ..... | 88 |
| 2. Dominasi <i>Fitur lag</i> Temporal dan Implikasinya.....                 | 88 |
| 3. Keunggulan pada Kategori Polusi Tinggi .....                             | 89 |
| 4. Keterbatasan dan Arah Pengembangan.....                                  | 89 |

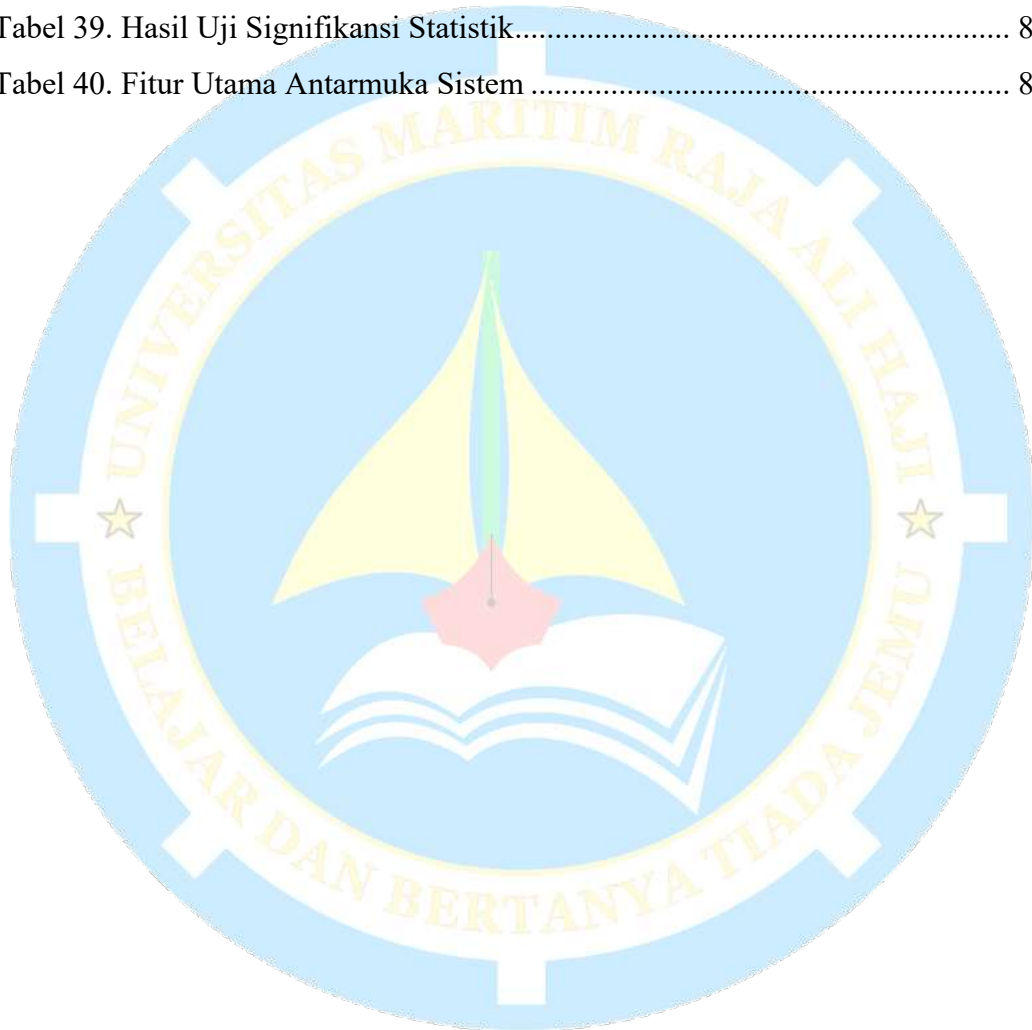
|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 90 |
| A. Kesimpulan .....             | 90 |
| B. Saran.....                   | 91 |
| DAFTAR PUSTAKA .....            | 92 |



## DAFTAR TABEL

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Keaslian Penelitian.....                                           | 7  |
| Tabel 2. Tinjauan Pustaka.....                                              | 9  |
| Tabel 3. Kategori Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) .....              | 18 |
| Tabel 4. Konfigurasi Eksperimen Aktual DE- <i>XGBoost</i> .....             | 35 |
| Tabel 5. 50 <i>Dataset</i> Sampel .....                                     | 44 |
| Tabel 6. Nilai <i>Fitur lag</i> .....                                       | 45 |
| Tabel 7. <i>Dataset</i> Setelah Penambahan <i>Fitur lag</i> .....           | 46 |
| Tabel 8. Data Latih.....                                                    | 48 |
| Tabel 9. Data Uji.....                                                      | 49 |
| Tabel 10. Data Latih Setelah Normalisasi.....                               | 51 |
| Tabel 11. Data Uji Setelah Normalisasi.....                                 | 51 |
| Tabel 12. Contoh Individu berukuran 5 .....                                 | 55 |
| Tabel 13. Komponen Seleksi <i>Fitur</i> (Dimensi 1-15).....                 | 55 |
| Tabel 14. Komponen <i>Hyperparameter</i> (Dimensi 16-20).....               | 56 |
| Tabel 15. Operasi <i>Crossover</i> .....                                    | 56 |
| Tabel 16. Konversi Nilai Kontinyu.....                                      | 57 |
| Tabel 17. Evaluasi dengan Validasi Silang 3-Lipat.....                      | 58 |
| Tabel 18. Hasil Optimasi DE .....                                           | 59 |
| Tabel 19. Perhitungan <i>Gradien</i> dan <i>Hessian</i> .....               | 61 |
| Tabel 20. Evaluasi <i>Split</i> Optimal untuk <i>y_lag_24</i> .....         | 62 |
| Tabel 21. Pembaruan Prediksi Setelah <i>Tree</i> 1 .....                    | 63 |
| Tabel 22. Pembaruan <i>Gradien</i> .....                                    | 64 |
| Tabel 23. Agregasi <i>Gradien</i> dan <i>Hessian Tree</i> 2.....            | 64 |
| Tabel 24. Prediksi Setelah 2 Pohon .....                                    | 64 |
| Tabel 25. Denormalisasi Hasil .....                                         | 65 |
| Tabel 26. Komponen Perhitungan Metrik Evaluasi.....                         | 65 |
| Tabel 27. Jadwal Penelitian.....                                            | 67 |
| Tabel 28. Spesifikasi Lingkungan Pengembangan .....                         | 68 |
| Tabel 29. Daftar <i>Fitur</i> Kandidat .....                                | 69 |
| Tabel 30. Pembagian Data Latih dan Uji .....                                | 70 |
| Tabel 31. Parameter Konfigurasi Optimal <i>Differential Evolution</i> ..... | 72 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 32. Batas Ruang Pencarian <i>Differential Evolution</i> .....      | 72 |
| Tabel 33. Hasil Optimasi <i>Differential Evolution</i> .....             | 73 |
| Tabel 34. <i>Feature importance</i> Model DE- <i>XGBoost</i> .....       | 75 |
| Tabel 35. Perbandingan Performa Model Pada Data Uji .....                | 76 |
| Tabel 36. Perbandingan MAE per Kategori ISPU .....                       | 78 |
| Tabel 37. Distribusi <i>Error Absolut</i> Model DE- <i>XGBoost</i> ..... | 78 |
| Tabel 38. Perbandingan Waktu Pelatihan Final Model .....                 | 79 |
| Tabel 39. Hasil Uji Signifikansi Statistik.....                          | 80 |
| Tabel 40. Fitur Utama Antarmuka Sistem .....                             | 81 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Ukuran PM2.5 .....                                                                                            | 16 |
| Gambar 2. Alur Pelaksanaan Penelitian.....                                                                              | 34 |
| Gambar 3. <i>Flowchart</i> Perancangan Sistem.....                                                                      | 38 |
| Gambar 4. <i>Use Case Diagram</i> .....                                                                                 | 39 |
| Gambar 5. Activity Diagram.....                                                                                         | 40 |
| Gambar 6. Sequence Diagram.....                                                                                         | 41 |
| Gambar 7. <i>Wireframe</i> Sistem.....                                                                                  | 42 |
| Gambar 8. Flowchart Algoritma <i>Differential Evolution</i> .....                                                       | 53 |
| Gambar 9. Flowchart Algoritma <i>XGBoost</i> .....                                                                      | 60 |
| Gambar 10. Grafik Prediksi vs Aktual PM <sub>2.5</sub> Model DE- <i>XGBoost</i> dan <i>Baseline</i> (Okt–Des 2023)..... | 77 |
| Gambar 11. Distribusi <i>Error</i> Absolut Model DE- <i>XGBoost</i> pada Data Uji (Okt–Des 2023) .....                  | 79 |
| Gambar 12. Halaman Utama Sistem.....                                                                                    | 83 |
| Gambar 13. Halaman Tentang dan Model .....                                                                              | 85 |
| Gambar 14. Halaman Data Historis dan Perbandingan .....                                                                 | 87 |