

# **IMPLEMENTASI META-ENSEMBLE UNTUK PREDIKSI INDEKS KUALITAS UDARA DI KOTA MEDAN**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**MUHAMMAD ILHAM SYAHPUTRA HARAHAHAP  
NIM. 221112045**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS INFORMATIKA  
UNIVERSITAS MIKROSKIL  
MEDAN  
2026**

# **META-ENSEMBLE IMPLEMENTATION FOR *AIR QUALITY INDEX* PREDICTION IN MEDAN CITY**

## **UNDERGRADUATE THESIS**

**By:**

**MUHAMMAD ILHAM SYAHPUTRA HARAHAP  
ID NUMBER. 221112045**



**UNDERGRADUATE PROGRAM OF COMPUTER SCIENCE  
FACULTY OF INFORMATICS  
UNIVERSITAS MIKROSKIL  
MEDAN  
2026**

**LEMBARAN PENGESAHAN**

**IMPLEMENTASI META-ENSEMBLE UNTUK PREDIKSI INDEKS  
KUALITAS UDARA DI KOTA MEDAN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Melengkapi Persyaratan Guna  
Mendapatkan Gelar Sarjana  
Program Studi S-1 Teknik Informatika

Oleh:

**MUHAMMAD ILHAM SYAHPUTRA HARAHAP**  
**NIM. 221112045**

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I,

  
Sunaryo Winardi, S.Kom., M.T.

Dosen Pembimbing II,

  
Apriyanto Halim, S.Kom., M.Kom.

Medan, 17 Juli 2026  
Diketahui dan Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi  
S-1 Teknik Informatika,

  
Carles Juliandy, S.Kom., M.Kom.

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Informatika Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Muhammad Ilham Syahputra Harahap  
NIM : 221112045

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Implementasi Meta-Ensemble Untuk Prediksi Indeks Kualitas Udara Di Kota Medan  
Tempat Penelitian : Duplex Garage Workstation  
Alamat Tempat Penelitian : Jl. Enggang No.64, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20371  
No. Telp. Tempat Penelitian : -

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 1 Juli 2026  
Saya yang membuat pernyataan,



Muhammad Ilham Syahputra Harahap

# IMPLEMENTASI META-ENSEMBLE UNTUK PREDIKSI INDEKS KUALITAS UDARA DI KOTA MEDAN

## Abstrak

*Kualitas udara di Kota Medan saat ini hanya dapat diakses dalam bentuk informasi real-time atau historis tanpa adanya model peringatan dini yang mampu memprediksi kondisi udara di masa depan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi meta-ensemble stacking yang menggabungkan Multiple Linear Regression sebagai base model dan Random Forest Regressor sebagai meta-model untuk memprediksi Indeks Kualitas Udara Kota Medan 1 hingga 7 hari ke depan. Data yang digunakan merupakan data kualitas udara dan meteorologi Kota Medan periode 2023–2025 dari OpenAQ dan BMKG dengan total 1.095 hari data harian. Model meta-ensemble dibangun melalui dua tahap: pelatihan MLR untuk menangkap hubungan linear, kemudian prediksi MLR digunakan sebagai fitur input untuk melatih RFR sebagai meta-model yang mengoreksi residu non-linear. Hasil evaluasi menunjukkan model stacking ensemble memperoleh MAE 3,6645, RMSE 4,6543, dan  $R^2$  0,8899 pada data testing, lebih baik dibandingkan MLR dan RFR. Sebagai bentuk implementasi, model diintegrasikan ke dalam prototipe website berbasis Django yang menyajikan prediksi AQI dalam bentuk nilai numerik, kategori dengan kode warna, rekomendasi kesehatan, serta data historis. Penelitian ini berhasil mengembangkan model meta-ensemble stacking yang akurat dan konsisten untuk prediksi AQI multi-hari.*

**Kata kunci:** Indeks Kualitas Udara, Meta-Ensemble, Multiple Linear Regression, Random Forest Regressor, Model Peringatan Dini

## Abstract

*Air quality in Medan City is currently only accessible in the form of real-time or historical information without an early warning model capable of predicting future conditions. This research aims to develop a meta-ensemble stacking prediction model that combines Multiple Linear Regression as a base model and Random Forest Regressor as a meta-model to forecast the Air Quality Index in Medan City 1 to 7 days ahead. The data used comprises air quality and meteorological data of Medan City for the period 2023–2025 obtained from OpenAQ and BMKG, totaling 1,095 daily records. The meta-ensemble model was built in two stages: training MLR to capture linear relationships, then using MLR predictions as input features to train RFR as a meta-model that corrects non-linear residuals. Evaluation results show that the stacking ensemble model achieved an MAE of 3.6645, RMSE of 4.6543, and  $R^2$  of 0.8899 on testing data, outperforming standalone MLR and RFR. As an implementation, the model was integrated into a Django-based website prototype that presents AQI predictions in numerical values, color-coded categories, health recommendations, and historical data. This research successfully developed an accurate and consistent meta-ensemble stacking model for multi-day AQI prediction.*

**Keywords:** Air Quality Index, Meta-Ensemble, Multiple Linear Regression, Random Forest Regressor, Early Warning Model

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan semesta alam, yang atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul "Implementasi Meta-Ensemble untuk Prediksi Indeks Kualitas Udara di Kota Medan" dengan baik dan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi wa Sallam, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.) pada Program Studi S-1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Mikroskil Medan.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan informasi kualitas udara di Kota Medan yang hanya tersedia dalam bentuk data real-time dan historis, tanpa adanya model peringatan dini yang dapat memprediksi kondisi udara di masa depan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membangun website model prediksi Indeks Kualitas Udara (AQI) serta mengimplementasikan model meta-ensemble stacking yang menggabungkan Multiple Linear Regression (MLR) dan Random Forest Regressor (RFR) untuk menghasilkan prediksi AQI 1 hingga 7 hari ke depan yang akurat dan informatif.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sunaryo Winardi, S.Kom., M.T., selaku Dosen Pembimbing I dan selaku Dekan Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi yang sangat berharga sejak awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak Apriyanto Halim, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing II, yang juga telah memberikan bimbingan, masukan, dan dukungan yang tak ternilai selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Hardy, S.Kom., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Mikroskil Medan, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas kepada penulis untuk menempuh pendidikan di institusi yang penulis banggakan ini.
4. Bapak Carles Juliandy, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Informatika Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan, yang telah memberikan

arahan akademik serta memfasilitasi berbagai kebutuhan administrasi selama proses studi.

5. Kedua orang tua penulis yang tercinta, Bapak Herman Harahap dan Ibu Tiurmasana Siregar, S.Kep., Ns., selaku penyokong utama dalam studi penulis, yang senantiasa memfasilitasi kebutuhan akademis dan materi, memberikan pendampingan emosional, serta memberikan doa dan pengorbanan tak terhingga.
6. Chantika Zeerha Khirania, yang telah memberikan dukungan moril, motivasi, serta perhatian yang tiada henti kepada penulis selama menjalani masa studi hingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Masih banyak kekurangan dan kelemahan yang terdapat dalam penelitian ini, baik dari segi metodologi, implementasi, maupun analisis hasil. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi perbaikan di masa yang akan datang. Kesempurnaan hanyalah milik Allah semata, dan segala kekurangan datang dari diri penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang prediksi kualitas udara dan implementasi sistem informasi, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga apa yang penulis kerjakan dapat menjadi amal ibadah dan ilmu yang bermanfaat bagi sesama. Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.

Medan, 1 Juli 2026

Penulis,

Muhammad Ilham Syahputra Harahap

## DAFTAR ISI

|                                                          |             |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Abstrak .....</b>                                     | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                              | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                  | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                               | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                             | <b>ix</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                           | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                 | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                | 3           |
| 1.3 Tujuan.....                                          | 3           |
| 1.4 Manfaat.....                                         | 4           |
| 1.5 Ruang Lingkup .....                                  | 4           |
| <b>BAB II KAJIAN LITERATUR.....</b>                      | <b>6</b>    |
| 2.1 Kualitas Udara dan Indeks Kualitas Udara (AQI).....  | 6           |
| 2.2 Data Mining dan Prediksi Time Series.....            | 8           |
| 2.3 Multiple linear regression (MLR) .....               | 9           |
| 2.4 Random forest regressor (RFR) .....                  | 13          |
| 2.5 Meta-Ensemble.....                                   | 15          |
| 2.6 Evaluasi Kinerja Model Regresi.....                  | 18          |
| 2.7 Sistem Informasi dan Visualisasi Prediksi .....      | 20          |
| 2.8 Penelitian Terkait ( <i>State of the art</i> ) ..... | 21          |
| <b>BAB III TAHAPAN PELAKSANAAN .....</b>                 | <b>25</b>   |
| 3.1 Analisis Kebutuhan .....                             | 32          |
| 3.1.1 Analisis Kebutuhan Fungsional .....                | 32          |
| 3.1.2 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional .....            | 34          |
| 3.2 Perancangan Sistem.....                              | 35          |
| 3.2.1 Perancangan Tampilan .....                         | 35          |
| 3.2.2 Perancangan Proses .....                           | 42          |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                  | <b>55</b>   |
| 4.1 Gambaran Umum Hasil Penelitian.....                  | 55          |
| 4.1.1 Dataset yang Digunakan.....                        | 55          |

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.2 Model Prediksi yang Dikembangkan .....                    | 55         |
| 4.1.3 Hasil Utama Penelitian.....                               | 55         |
| 4.1.4 <i>Prototipe Website sebagai Media Implementasi</i> ..... | 56         |
| 4.2 Implementasi Sistem .....                                   | 56         |
| 4.2.1 Implementasi Antarmuka <i>Website</i> .....               | 56         |
| 4.2.2 Implementasi Backend .....                                | 67         |
| 4.2.3 Implementasi Model Meta-Ensemble .....                    | 77         |
| 4.3 Pengujian Sistem .....                                      | 80         |
| 4.3.1 Pengujian Fungsional Sistem .....                         | 80         |
| 4.3.2 Pengujian Model Prediksi .....                            | 86         |
| 4.4 Pembahasan .....                                            | 91         |
| 4.4.1 Pembahasan terhadap Rumusan Masalah Pertama .....         | 91         |
| 4.4.2 Pembahasan terhadap Rumusan Masalah Kedua .....           | 92         |
| 4.4.3 Perbandingan Performa Model Prediksi.....                 | 93         |
| 4.4.4 Analisis Prediksi Multi-Hari .....                        | 95         |
| 4.4.5 Keterbatasan Penelitian .....                             | 96         |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>                                      | <b>99</b>  |
| 5.1 Kesimpulan.....                                             | 99         |
| 5.2 Saran.....                                                  | 100        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                     | <b>102</b> |
| <b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>                                | <b>117</b> |

## DAFTAR GAMBAR

**No table of figures entries found.**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian .....                         | 30 |
| Gambar 3.2 Use case diagram .....                              | 33 |
| Gambar 3.3 Rancangan Halaman Utama .....                       | 36 |
| Gambar 3.4 Rancangan Halaman Data Historis .....               | 39 |
| Gambar 3.5 Rancangan Halaman Data Historis (Lanjutan) .....    | 40 |
| Gambar 3.6 Flowchart Proses Sistem.....                        | 42 |
| Gambar 3.7 Pohon Keputusan 1 .....                             | 51 |
| Gambar 3.8 Pohon Keputusan 2 .....                             | 52 |
| Gambar 3.9 Pohon Keputusan 3 .....                             | 52 |
| Gambar 4.1 Halaman Prediksi AQI.....                           | 62 |
| Gambar 4.2 Halaman Data Historis.....                          | 64 |
| Gambar 4.3 Struktur Folder Proyek .....                        | 68 |
| Gambar 4.4 Hasil Eksekusi Pelatihan Model .....                | 79 |
| Gambar 4.5 Dokumentasi Pengujian Proses Prediksi AQI .....     | 81 |
| Gambar 4.6 Dokumentasi Pengujian Memilih Periode Prediksi..... | 82 |
| Gambar 4.7 Scatter plot Perbandingan Prediksi vs Aktual .....  | 88 |
| Gambar 4.8 Plot Residual Model Stacking Ensemble.....          | 89 |
| Gambar 4.9 Tren MAE Prediksi 1–7 Hari ke Depan .....           | 90 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Kategori Indeks Kualitas Udara (AQI) menurut US EPA [10], [11] .....           | 7  |
| Tabel 2.2 Transformasi Data Time Series ke Format Supervised [6], [24] .....             | 9  |
| Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik MLR dan RFR [13], [14], [15], [16].....             | 15 |
| Tabel 2.4 Perbandingan Ensemble Konvensional dengan Stacking [14], [16], [17], [18] ..   | 17 |
| Tabel 2. 5 Interpretasi Metrik Evaluasi dalam Konteks Prediksi AQI [9], [30], [31] ..... | 19 |
| Tabel 2. 6 Rangkuman Penelitian Terkait Prediksi Kualitas Udara.....                     | 22 |
| Tabel 3.1 Definisi Aktor .....                                                           | 32 |
| Tabel 3.2 Skenario Use case: Melakukan Prediksi AQI.....                                 | 33 |
| Tabel 3.3 Skenario Use case: Melihat Data Historis .....                                 | 34 |
| Tabel 3.4 Kebutuhan Non-fungsional Sistem.....                                           | 35 |
| Tabel 3.5 Sampel Data.....                                                               | 43 |
| Tabel 3.6 Implementasi Standarisasi Format Data .....                                    | 44 |
| Tabel 3.7 Implementasi Penanganan Outlier .....                                          | 45 |
| Tabel 3.8 Implementasi Rekayasa Fitur .....                                              | 45 |
| Tabel 3.9 Penjelasan Variabel Input Level-2 .....                                        | 50 |
| Tabel 4.1 Atribut Hasil Prediksi AQI.....                                                | 62 |
| Tabel 4.2 Ringkasan Implementasi Antarmuka Website .....                                 | 67 |
| Tabel 4.3 Ringkasan Implementasi Backend.....                                            | 77 |
| Tabel 4.4 Perbandingan Performa Model pada Data Testing .....                            | 79 |
| Tabel 4.5 Hasil Penyimpanan Model dalam Format .pkl .....                                | 80 |
| Tabel 4.6 Lingkungan Pengujian Sistem.....                                               | 81 |
| Tabel 4.7 Skenario Pengujian Proses Prediksi AQI.....                                    | 83 |
| Tabel 4.8 Skenario Pengujian Navigasi dan Tampilan Halaman.....                          | 84 |
| Tabel 4.9 Skenario Pengujian Data Historis dan Evaluasi Model.....                       | 85 |
| Tabel 4.10 Ringkasan Hasil Pengujian Fungsional .....                                    | 86 |
| Tabel 4.11 Hasil Hyperparameter tuning RFR .....                                         | 87 |
| Tabel 4.12 Perbandingan Performa Model pada Data Testing .....                           | 87 |
| Tabel 4.13 MAE per Horizon Prediksi (1–7 Hari) .....                                     | 89 |
| Tabel 4.14 Perbandingan Performa Model pada Data Testing .....                           | 93 |
| Tabel 4.15 Peningkatan MAE per Horizon Prediksi .....                                    | 95 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Lampiran Tabel..... | 105 |
|---------------------|-----|

