



## Analisis Supremum-Infimum dan Tren Konsentrasi PM2.5 Kota Medan Periode 20 Oktober-18 November 2025

### Analysis of Supremum-Infimum and Concentration Trends of PM2.5 in Medan City for the Period 20 October-18 November 2025

**Tika Irmala Sari<sup>1\*</sup>, Nadia Putri Nauli<sup>2</sup>, M. Aditya Yuda<sup>3</sup>, Hilmi Nur Akbar<sup>4</sup>, Mariani Rohanta Sibuea<sup>5</sup>, Tri Andri Hutapea<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

*\*Corresponding author. Study Program of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas*

*Negeri Medan, Medan 20221, Indonesia.*

[tikairmala.4231230009@mhs.unimed.ac.id](mailto:tikairmala.4231230009@mhs.unimed.ac.id)<sup>1</sup>

[Nadia.4233230031@mhs.unimed.ac.id](mailto:Nadia.4233230031@mhs.unimed.ac.id)<sup>2</sup>

[yuda37ay@gmail.com](mailto:yuda37ay@gmail.com)<sup>3</sup>

[hlmnurakbar.4233230003@mhs.unimed.ac.id](mailto:hlmnurakbar.4233230003@mhs.unimed.ac.id)<sup>4</sup>

[marianisibuea04@gmail.com](mailto:marianisibuea04@gmail.com)<sup>5</sup>

[triandrihutapea@unimed.ac.id](mailto:triandrihutapea@unimed.ac.id)<sup>6</sup>

---

**Kata Kunci :**

Supremum; Infimum; Tren Konsentrasi

**ABSTRAK**

Kualitas udara menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kondisi lingkungan suatu daerah, khususnya melalui kadar partikulat halus PM2.5 yang dapat berdampak serius terhadap kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai ekstrem konsentrasi PM2.5 berupa supremum dan infimum serta meninjau tren konsentrasi harian PM2.5 di Kota Medan pada periode 20 Oktober hingga 18 November 2025. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan Analisis Real. Data yang digunakan merupakan data PM2.5 harian sebanyak 30 titik pengamatan yang kemudian disusun sebagai himpunan bilangan real untuk dianalisis batas atas terkecil (supremum) dan batas bawah terbesar (infimum) berdasarkan definisi formal Analisis Real. Proses analisis dilengkapi dengan verifikasi komputasional menggunakan Python, yang digunakan untuk menghitung nilai ekstrem, memastikan kesesuaian dengan definisi matematis, serta menghasilkan visualisasi sederhana untuk melihat pola fluktuasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa infimum dari himpunan data adalah  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang sekaligus merupakan nilai minimum, sedangkan supremum adalah  $43,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yang juga merupakan nilai maksimum. Tren fluktuasi data memperlihatkan bahwa konsentrasi PM2.5 bervariasi dari hari ke hari dan mencapai puncaknya pada awal November, sedangkan nilai terendah terjadi pada akhir Oktober dan pertengahan November. Temuan ini menunjukkan bahwa konsep supremum dan infimum tidak hanya relevan dalam kajian teoritis Analisis Real, tetapi juga dapat diterapkan secara langsung dalam analisis data lingkungan. Selain itu, hasil penelitian memberikan gambaran mengenai kondisi kualitas udara ekstrem selama

---

periode pengamatan serta dapat menjadi referensi awal dalam pemantauan pencemaran udara di Kota Medan.

---

**Keywords :**  
*Supremum; Infimum;  
Concentration Trend*

**ABSTRACT**

*Air quality is a crucial indicator for assessing environmental conditions, particularly through the measurement of fine particulate matter PM2.5, which poses significant health risks. This study aims to analyze the extreme values of PM2.5 concentrations, specifically the supremum and infimum, and to observe the daily concentration trends in Medan City from 20 October to 18 November 2025. This research employs a quantitative descriptive method with a Real Analysis approach. The dataset, consisting of 30 daily PM2.5 observations, was organized into a set of real numbers to examine the presence of upper and lower bounds, followed by determining the supremum and infimum based on formal definitions of Real Analysis. The analytical process was enhanced using Python to verify the extreme values, validate conformity with mathematical definitions, and create simple visualizations to identify fluctuation patterns. The results reveal that the infimum of the dataset is  $12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , which also represents the minimum value, while the supremum is  $43.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corresponding to the maximum value. The overall trend indicates noticeable fluctuations in PM2.5 concentrations, with the highest levels recorded in early November and the lowest occurring in late October and mid-November. These findings demonstrate that the concepts of supremum and infimum are not merely theoretical constructs, but can be effectively applied to real-world environmental datasets. Furthermore, the use of Python supports more accurate calculations and provides visual evidence that strengthens the interpretation of extreme air quality conditions during the observation period.*

---

## PENDAHULUAN

Matematika merupakan disiplin dasar yang ditandai oleh objek kajian yang bersifat abstrak. Banyak konsep matematis, termasuk bilangan maupun entitas lainnya, tidak selalu memiliki representasi konkret atau definisi langsung, tetapi muncul sebagai hasil konstruksi teoretis. Karena sifat keabstrakannya, topik-topik utama dalam matematika sering menuntut kemampuan penalaran simbolik dan generalisasi, yang juga tercermin dalam praktik pembelajaran matematika. Salah satu fokus penting dalam pendidikan matematika adalah kajian mengenai nilai maksimum dan minimum dalam suatu himpunan data atau fungsi, karena konsep tersebut berperan sentral dalam analisis, optimisasi, serta pengambilan keputusan di berbagai bidang sains dan teknik (Hidayah & dkk, 2024)

Konsep supremum dan infimum merupakan dua elemen fundamental dalam analisis real yang berperan penting dalam memahami sifat himpunan bilangan riil. Supremum atau batas atas terkecil dan infimum atau batas bawah terbesar digunakan dalam berbagai kajian matematika, termasuk teori limit, integral, dan deret. Pemahaman yang kuat mengenai kedua konsep ini menjadi landasan bagi mahasiswa maupun peneliti dalam mengembangkan teori yang lebih kompleks dalam analisis real. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam tentang supremum dan infimum, baik secara teoritis maupun aplikatif (Supriadi, 2018)

Dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, pendekatan komputasi menjadi solusi yang lebih efisien dalam menyelesaikan permasalahan matematika, termasuk dalam penentuan supremum dan infimum suatu himpunan. Salah satu bahasa pemrograman yang populer untuk komputasi numerik adalah Python. Python dikenal sebagai bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan memiliki pustaka yang kuat untuk menyelesaikan berbagai permasalahan matematika, seperti NumPy dan SymPy (Sholihun, 2021).

Python memiliki berbagai keunggulan yang membuat banyak orang lebih memilihnya dibandingkan bahasa pemrograman lain. Salah satu kelebihan utama Python adalah desainnya yang sederhana dan berfokus pada kemudahan penggunaan. Bahasa ini dirancang agar kodenya lebih

mudah dibaca, dipelajari, digunakan kembali, serta dipelihara. Selain itu, Python mendukung berbagai paradigma pemrograman, termasuk pemrograman berorientasi objek dan pemrograman fungsional. Python juga mampu meningkatkan produktivitas dan menghemat waktu pengembang, karena kode yang ditulis dalam Python umumnya lebih ringkas dibandingkan dengan bahasa pemrograman lain seperti C, C++, C#, atau Java untuk menghasilkan output yang sama. Keunggulan lainnya adalah program yang ditulis menggunakan Python dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, termasuk Windows, Unix, dan Mac OS X, serta kompatibel dengan berbagai perangkat, termasuk perangkat seluler (Aprianis & dkk, 2025).

PM2.5 atau partikulat halus merupakan partikel udara dengan diameter aerodinamis  $\leq 2,5$  mikrometer yang mampu masuk hingga alveoli dan bahkan ke aliran darah, sehingga memiliki risiko kesehatan lebih tinggi dibandingkan partikulat berukuran lebih besar. Dalam konteks teori kualitas udara, PM2.5 didefinisikan sebagai fraksi partikulat yang sangat kecil, bersifat respirabel, dan menjadi indikator utama pencemaran udara karena kemampuannya bertahan lama di atmosfer. Keberadaan PM2.5 umumnya terkait proses pembakaran dan aktivitas yang menghasilkan aerosol halus. (Farhan, 2025)

Sumber-sumber PM2.5 di lingkungan perkotaan dan permukiman bersifat kombinatif, meliputi emisi kendaraan bermotor, industri, aktivitas pembakaran biomassa, kebakaran hutan, serta sumber domestik seperti asap rokok dan proses memasak. Faktor meteorologi seperti arah angin, kelembapan, dan suhu juga mempengaruhi konsentrasi PM2.5 di udara ambien. Teori mengenai sumber pencemar menyatakan bahwa daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan aktivitas transportasi intensif berpotensi memiliki konsentrasi PM2.5 lebih besar karena proses pembakaran bahan bakar fosil yang kontinu. (Zulaiha, 2025)

Variabilitas konsentrasi PM2.5 juga dipengaruhi faktor lingkungan seperti kondisi vegetasi dan lokasi permukiman. Vegetasi tertentu mampu berfungsi sebagai biofiltrasi alami yang menyerap atau memerangkap partikulat halus. Teori mitigasi berbasis vegetasi menyatakan bahwa pohon dengan tipe daun tertentu dapat menurunkan konsentrasi partikulat melalui mekanisme deposisi permukaan. Oleh karena itu, kawasan perumahan dapat mengurangi paparan PM2.5 melalui penataan ruang hijau yang sesuai. (Serlina, 2023)

Dalam perspektif penyebaran polutan, teori pemodelan dispersi menunjukkan bahwa PM2.5 bergerak dan terakumulasi tergantung sumber emisi, kondisi topografi, serta dinamika lalu lintas. Emisi kendaraan bermotor, khususnya pada jalur protokol yang padat, menjadi salah satu penyumbang utama peningkatan PM2.5. Model dispersi seperti AERMOD digunakan untuk memahami pola sebaran dan titik konsentrasi tertinggi sehingga dapat memprediksi daerah yang mengalami paparan melebihi baku mutu. (Iriani, 2023)

Secara regulasi, pemerintah Indonesia telah mengatur baku mutu PM2.5 dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021, yang menetapkan ambang batas harian PM2.5 sebesar  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sebagai standar kualitas udara ambien. Teori kebijakan lingkungan menyatakan bahwa penetapan baku mutu berfungsi sebagai batas acuan untuk menilai status pencemaran, mengevaluasi kinerja pengendalian polusi, serta melindungi kesehatan masyarakat. Banyak wilayah masih menunjukkan nilai yang melebihi standar ini, sehingga penerapan regulasi yang lebih kuat dan sistem monitoring yang memadai diperlukan. (Setyowati, 2023)

Dari sisi kesehatan, PM2.5 telah dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit pernapasan, kardiovaskular, serta efek toksik jangka panjang. Teori kesehatan lingkungan menjelaskan bahwa paparan PM2.5 dapat menyebabkan inflamasi saluran pernapasan, gangguan fungsi paru, dan stres oksidatif, terutama pada kelompok rentan seperti pekerja lapangan, anak-anak, dan lansia. Penilaian risiko kesehatan menegaskan bahwa apabila nilai Risk Quotient (RQ)  $\geq 1$ , maka paparan dianggap berpotensi menimbulkan dampak merugikan sehingga perlu dilakukan upaya proteksi diri dan pengendalian sumber emisi. (Pertiwi, 2024)

Tren harian (daily trend) merupakan pola perubahan nilai suatu variabel dari hari ke hari yang mengindikasikan arah pergerakan data baik dalam skala jangka pendek maupun jangka panjang. Tren ini biasanya terlihat dari pergeseran rata-rata nilai yang konsisten, seperti meningkat secara bertahap, menurun secara perlahan, atau tetap stabil pada rentang waktu tertentu. (Wu et al., 2025). Tren menunjukkan kecenderungan struktural dalam data, sehingga dapat digunakan untuk memahami arah perkembangan fenomena yang diamati. Dalam banyak kasus, keberadaan tren membantu menilai

apakah suatu variabel mengalami proses pertumbuhan, penurunan, atau stagnasi selama periode pengamatan. (Fauzan, 2024). Dalam konteks konsentrasi PM2.5, analisis tren harian sangat penting untuk melihat dinamika kualitas udara dan menentukan apakah kondisi lingkungan membaik atau justru memburuk dari hari ke hari. Melalui pola tren, periode-periode kritis yang menunjukkan peningkatan polusi secara signifikan dapat diidentifikasi secara lebih jelas. (Rahman et al., 2023).

#### Fluktuasi pada Time Series

Fluktuasi adalah variasi naik-turun nilai data yang muncul secara tidak beraturan akibat pengaruh faktor lingkungan, kondisi meteorologis seperti suhu, arah angin, dan kelembapan, serta aktivitas manusia yang bersifat dinamis. Fluktuasi sering kali terjadi secara tiba-tiba dan tidak mengikuti pola tertentu. (Karnati et al., 2025). Pada data time series, fluktuasi dapat terlihat sebagai perubahan cepat yang terjadi di sekitar nilai tren. Ketidakstabilan ini sering kali tidak memiliki pola berulang yang jelas sehingga dikategorikan sebagai bagian dari komponen acak dalam deret waktu. (Yunis et al., 2024). Dalam analisis polusi udara seperti PM2.5, fluktuasi mencerminkan variabilitas atmosfer yang dapat berubah secara drastis pada waktu singkat, misalnya akibat hujan mendadak, peningkatan aktivitas kendaraan, atau pembakaran lahan. Oleh karena itu, memahami fluktuasi sangat penting untuk menilai stabilitas kualitas udara harian. (Suresh et al., 2023).

Metode rata-rata bergerak (moving average) merupakan teknik penghalusan data sederhana yang digunakan untuk mereduksi variasi jangka pendek agar pola tren dapat terlihat lebih jelas. Dengan menghaluskan noise acak, visualisasi pergerakan data menjadi lebih stabil dan mudah dianalisis. (Wu et al., 2025). Moving average bekerja dengan merata-ratakan sejumlah nilai observasi sebelumnya, sehingga fluktuasi ekstrem yang bersifat sementara dapat dikurangi. Proses ini membantu menekankan pola umum yang mendasari data dan mengurangi distorsi akibat perubahan cepat yang tidak beraturan” anjirnya (Rahman et al., 2023). Dalam analisis konsentrasi PM2.5, moving average digunakan untuk menampilkan kecenderungan umum kualitas udara tanpa gangguan perubahan mendadak yang terjadi dari hari ke hari. Teknik ini juga membantu mengidentifikasi episode polusi tinggi secara lebih konsisten. (Fauzan, 2024).

## METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menerapkan jenis deskriptif kuantitatif dengan pendekatan Analisis Real untuk mengkaji kualitas udara secara mendalam. Fokus utamanya adalah menentukan nilai ekstrem, yakni supremum dan infimum, serta menganalisis tren fluktuasi harian dari data konsentrasi PM2.5. Studi ini dilaksanakan secara non-lapangan pada bulan November 2025, yang sepenuhnya berbasis komputasional dan dokumentatif. Subjek penelitian mencakup himpunan data konsentrasi PM2.5 harian di Kota Medan selama periode 20 Oktober hingga 18 November 2025, dengan total 30 titik data yang dijadikan populasi tanpa menggunakan teknik sampling. Data sekunder berupa angka konsentrasi dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  diperoleh dari dokumentasi pemantauan resmi. Sasaran strategis dari metode ini adalah menghasilkan gambaran matematis yang presisi mengenai batas ekstrem kualitas udara serta memetakan pola perubahan konsentrasi yang terjadi secara dinamis selama kurun waktu pengamatan tersebut berlangsung sebagai dasar evaluasi lingkungan yang akurat.

Prosedur penelitian dijalankan secara sistematis, dimulai dengan pengumpulan dan penyusunan data PM2.5 ke dalam himpunan bilangan real untuk diperiksa batas atas dan bawahnya. Penentuan nilai supremum dan infimum dilakukan menggunakan definisi formal Analisis Real, yang kemudian diverifikasi validitasnya melalui komputasi Python. Python berfungsi sebagai instrumen bantu vital untuk memastikan ketepatan nilai maksimum dan minimum, sekaligus memvisualisasikan data dalam bentuk grafik tren harian. Teknik analisis data mengintegrasikan perhitungan matematis ketat dengan validasi teknologi untuk menjamin akurasi hasil. Interpretasi akhir dilakukan secara deskriptif dengan menghubungkan hasil perhitungan numerik dan visualisasi grafik terhadap konsep Analisis Real. Hal ini bertujuan untuk menjelaskan dinamika kondisi kualitas udara di Kota Medan secara komprehensif, memberikan pemahaman yang jelas mengenai fluktuasi polutan yang terjadi sepanjang periode penelitian tanpa memerlukan pengambilan data lapangan tambahan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan dua temuan utama, yaitu nilai ekstrem konsentrasi PM2.5 berupa supremum dan infimum serta pola tren harian konsentrasi PM2.5 selama periode 20 Oktober–18 November 2025. Analisis dilakukan mengikuti enam prosedur penelitian, yaitu penyusunan data dalam bentuk himpunan bilangan real, pemeriksaan batas, penentuan supremum–infimum, verifikasi Python, visualisasi tren, dan interpretasi ilmiah.

### 1. Penyusunan Data PM2.5 sebagai Himpunan Bilangan Real

Data PM2.5 harian yang berjumlah 30 titik pengamatan disusun sebagai himpunan bilangan real, sehingga setiap elemen merepresentasikan nilai konsentrasi PM2.5 pada suatu hari tertentu. Himpunan tersebut memenuhi syarat untuk dianalisis menggunakan konsep batas dalam Analisis Real.

Data PM 2.5 disusun sebagai himpunan bilangan real:

$$S = \{24.1, 12.4, 19.6, 33.4, 25.2, 31.9, 22.5, 19.9, 19.7, 17.1, 20.5, 27.5, 43.3, 17.4, 17.8, 21.4, 30.8, 21, 14.2, 12.4, 13.8, 12.7, 13\}$$

Himpunan ini berada pada interval nilai  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hingga  $43,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 2. Pemeriksaan Batas Atas dan Batas Bawah Himpunan

Pemeriksaan dilakukan untuk menentukan apakah himpunan memiliki batas bawah dan batas atas. Dari data terlihat bahwa:

- Tidak ada nilai yang lebih kecil dari  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Tidak ada nilai yang lebih besar dari  $43,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Hal ini menunjukkan bahwa himpunan tersebut terbatas (bounded) dan memenuhi syarat untuk memiliki supremum dan infimum.

### 3. Penentuan Supremum dan Infimum Berdasarkan Definisi Analisis Real

- Infimum

Suatu bilangan  $m$  disebut infimum himpunan  $S$  jika:

- $m \leq x$  untuk semua  $x \in S$  ( $m$  adalah batas bawah)
- Jika  $b$  adalah batas bawah lain dari  $S$ , maka  $b \leq m$  ( $m$  adalah batas bawah terbesar)

#### Langkah Penentuan Infimum

- Cari semua nilai dalam himpunan  $\rightarrow$  lihat nilai yang paling kecil. Dari data:  
 $\min(S) = 12.4$
- Uji definisi formal:  
Batas bawah:  
Periksa apakah  $12.4 \leq$  setiap elemen  $x$  di  $S$ . Benar bahwa tidak ada nilai di bawah  $12.4$ .  
Batas bawah terbesar:  
Ambil batas bawah lain, misalnya  $12.3, 12, 11$ , dan seterusnya. Semuanya lebih kecil dari  $12.4$ . Tidak ada batas bawah yang lebih besar dari  $12.4$ .  
Maka sesuai teorema:  $\inf S = 12.4$   
Karena nilai  $12.4$  ada di dalam himpunan, maka:  $\inf S = \min S = 12.4$

- Supremum

Suatu bilangan  $M$  adalah supremum dari  $S$  jika:

- $x \leq M$  untuk semua  $x \in S$  ( $M$  adalah batas atas)
- Jika  $a$  batas atas lain, maka  $M \leq a$  ( $M$  batas atas terkecil)

#### Langkah Penentuan Supremum

- Cari nilai paling besar dalam data:  $\max(S) = 43.3$
- Uji definisi formal:  
Batas atas:  
 $43.3 \geq$  setiap elemen  $x \in S$ . Tidak ada nilai yang lebih besar dari  $43.3$ .  
Batas atas terkecil:  
Jika ada batas atas lain, misalnya  $44, 50, 100$ , semuanya lebih besar dari  $43.3$ .  
Tidak ada batas atas yang lebih kecil tanpa melanggar syarat.

Maka sesuai teorema:  $\sup S = 43.3$

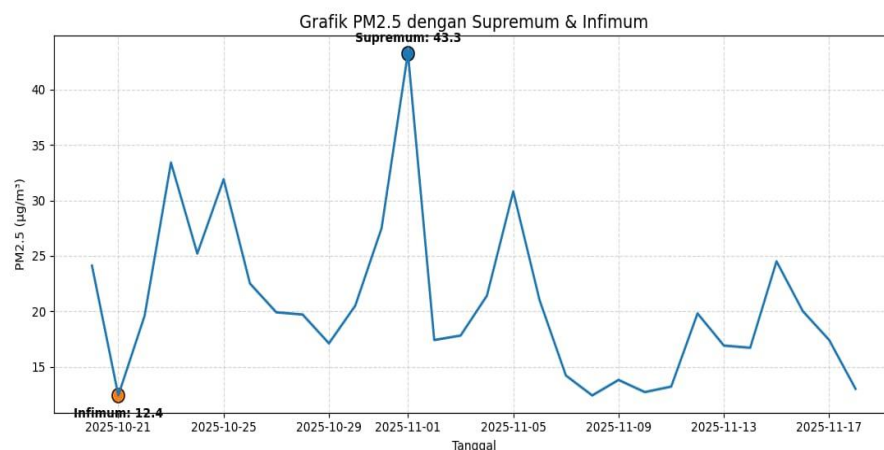
Karena 43.3 terdapat dalam himpunan, maka:  $\sup S = \max S = 43.3$

**Tabel 1.** Ringkasan Tabel Supremum dan Infimum

Konsep	Definisi Matematis	Hasil	Karena
Infimum ( $\inf S$ )	Batas bawah terbesar	<b>12.4</b>	$12 \leq$ semua elemen dan tidak ada batas bawah yang lebih besar.
Supremum ( $\sup S$ )	Batas atas terkecil	<b>43.3</b>	Semua elemen $\leq 43.3$ dan tidak ada batas atas yang lebih kecil.
Minimum	Elemen terkecil	<b>12.4</b>	Ada di himpunan
Maksimum	Elemen terbesar	<b>43.3</b>	Ada di himpunan

#### 4. Verifikasi Nilai Menggunakan Python

Untuk memastikan ketepatan hasil perhitungan supremum dan infimum berdasarkan definisi Analisis Real, dilakukan verifikasi menggunakan Python. Python digunakan sebagai alat bantu komputasional untuk menghitung nilai maksimum dan minimum secara otomatis dari himpunan data PM2.5, serta memvisualisasikan pola fluktuasi konsentrasinya. Penggunaan Python juga memberikan validasi bahwa nilai ekstrem yang diperoleh secara teoritis sesuai dengan hasil komputasional. Hasil perhitungan menggunakan Python menunjukkan bahwa nilai minimum (infimum) dari himpunan data adalah  $12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sedangkan nilai maksimum (supremum) adalah  $43,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nilai ini sepenuhnya konsisten dengan hasil perhitungan manual berdasarkan definisi batas bawah terbesar dan batas atas terkecil dalam Analisis Real, sehingga memperkuat akurasi analisis yang dilakukan. Python juga digunakan untuk menghasilkan grafik tren konsentrasi PM2.5 selama periode penelitian. Grafik tersebut menunjukkan pola fluktuasi harian yang tidak stabil, dengan satu puncak ekstrem pada tanggal 1 November 2025 yang menjadi nilai supremum. Sebaliknya, nilai terendah (infimum) tampak pada beberapa titik, seperti 21 Oktober dan 8 November 2025. Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Tampilan Data PM 2.5

```

--- DATA PM2.5 ---
PM25
Tanggal
2025-10-20 24.1
2025-10-21 12.4
2025-10-22 19.6
2025-10-23 33.4
2025-10-24 25.2
2025-10-25 31.9
2025-10-26 22.5
2025-10-27 19.9
2025-10-28 19.7
2025-10-29 17.1
2025-10-30 20.5
2025-10-31 27.5
2025-11-01 43.3
2025-11-02 17.4
2025-11-03 17.8
2025-11-04 21.4
2025-11-05 30.8
2025-11-06 21.0
2025-11-07 14.2
2025-11-08 12.4
2025-11-09 13.8
2025-11-10 12.7
2025-11-11 13.2
2025-11-12 19.8
2025-11-13 16.9
2025-11-14 16.7
2025-11-15 24.5
2025-11-16 20.0
2025-11-17 17.4
2025-11-18 13.0

```

**Gambar 2.** Output Supremum dan Infimum

```

=== SUPREMUM & INFIMUM ===
Supremum (nilai terbesar): 43.3
Infimum (nilai terkecil): 12.4

=== STATISTIK DESKRIPTIF ===
Rata-rata: 20.67
Median: 19.75
Standar Deviasi: 7.145635272547561
Persentil 95%: 32.724999999999994
Rentang (range): 30.9

```

**Gambar 3.** Grafik PM2.5 dengan Supremum & Infimum

Grafik menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 cenderung berfluktuasi dalam rentang 12–35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dengan satu lonjakan ekstrem yang menjadi nilai supremum. Titik-titik ekstrem yang ditandai pada grafik sesuai dengan perhitungan matematis, sehingga visualisasi ini berfungsi sebagai validasi tambahan bahwa konsep supremum dan infimum dapat diterapkan dengan baik pada data lingkungan nyata. Melalui verifikasi Python ini, dapat disimpulkan bahwa analisis matematis dan analisis komputasional memberikan hasil yang konsisten, sehingga memperkuat kesimpulan mengenai kondisi kualitas udara ekstrem selama periode pengamatan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa konsep supremum dan infimum dalam Analisis Real dapat diterapkan secara efektif pada data lingkungan nyata, khususnya pada konsentrasi PM2.5 di Kota Medan selama periode 20 Oktober–18 November 2025. Berdasarkan analisis teoretis dan verifikasi komputasional menggunakan Python, diperoleh bahwa nilai infimum data adalah 12,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan nilai supremum adalah 43,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yang masing-masing sekaligus merupakan nilai minimum dan maksimum dari himpunan data. Pola tren harian memperlihatkan adanya fluktuasi yang cukup signifikan dari hari ke hari, dengan puncak konsentrasi terjadi pada awal November dan nilai terendah muncul pada akhir Oktober serta pertengahan November. Temuan ini menegaskan bahwa nilai ekstrem kualitas udara berada dalam rentang yang masih berpotensi melampaui baku mutu harian PM2.5, sehingga memiliki implikasi lingkungan dan kesehatan yang penting. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan matematis berbasis Analisis Real yang dikombinasikan dengan komputasi Python dapat memberikan gambaran yang akurat, sistematis, dan informatif mengenai kondisi kualitas udara pada periode pengamatan.

### Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data dengan rentang waktu yang lebih panjang agar pola jangka panjang dapat terlihat dengan lebih jelas. Metode analisis yang lebih maju, seperti model statistik atau machine learning, juga dapat digunakan untuk memprediksi tren dan mengidentifikasi faktor yang memengaruhi fluktuasi PM2.5. Selain itu, integrasi data meteorologi dan sumber emisi akan memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai penyebab perubahan

konsentrasi PM2.5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah dan masyarakat dalam meningkatkan upaya pemantauan serta pengendalian kualitas udara di Kota Medan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aprianis, D. e., & dkk. (2025). MENYELESAIKAN PERMASALAHAN SUPREMUM DAN INFIMUM SUATU HIMPUNAN DENGAN MENGGUNAKAN PYTHON. *JURNAL MEDIA AKADEMIK (JMA)*, 2-14.
- Farhan, M. (2025). *Pengukuran kualitas udara partikulat (PM2.5) di lingkungan kerja PT. Rekind Daya Mamuju*. Jurnal MPC.  
<https://jurnal.poltekkesmamuju.ac.id/index.php/mpc/article/download/1744/393/7117>
- Fauzan, R. (2024). *Fundamentals of Environmental Time Series Analysis*. Green Atmosphere Press.
- Hidayah, A., & dkk. (2024). Penggunaan Python Dalam Menyelesaikan Permasalahan Supremum dan Infimum Suatu Himpunan. *Pentagon : Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 13-23.
- Iriani, L. (2023). *Analisis sebaran konsentrasi PM2.5 menggunakan model AERMOD pada jalur protokol Kota Bogor*. Jurnal Sumberdaya dan Lingkungan.  
<https://journal.ipb.ac.id/jsil/article/download/50907/27021>
- Karnati, S., Rao, A., & Prasad, V. (2025). Characterizing Fluctuations in Air Pollutant Time Series. *International Journal of Air Quality Research*.
- Pertiwi, K. D., Hapsari, D., & Prasetyo, M. (2024). *Analisis risiko kesehatan lingkungan pajanan debu PM10 dan PM2.5 pada relawan lalu lintas di Jalan Diponegoro Ungaran*. Prajurnal UNW.  
<https://jurnal.unw.ac.id/index.php/PJ/article/download/3351/2358/14687>
- Rahman, T., Widodo, B., & Hanafiah, M. (2023). Short-Term Dynamics of PM2.5 Concentrations in Urban Regions. *Atmospheric Science Reports*.
- Serlina, Y., Bachtiar, V. S., & Putra, I. (2023). *Analisis konsentrasi particulate matter 2.5 terhadap tumbuhan pereduksi polutan di Perumahan Blok B Kelurahan Ulu Gadut Kecamatan Pauh Kota Padang*. Jurnal Sains dan Energi.  
<https://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/download/6863/5038>
- Setyowati, I., Wambrau, H., & Yuliana, S. (2023). *Status mutu kualitas udara ambien pada beberapa kota besar di Papua berdasarkan referensi PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang baku mutu kualitas lingkungan*. Jurnal Biologi Papua, 15(2).  
<https://ejournal.uncen.ac.id/index.php/JBP/article/download/2701/2324/7393>
- Sholihun, & F. (2021). *Pemrograman dan Komputasi Numerik Menggunakan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Supriadi. (2018). Komposisi bahan ajar konsep analisis real "Supremum dan Infimum". *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 151-157.
- Suresh, P., Devi, K., & Kumar, L. (2023). Meteorological Influence on Short-Term Variability of PM2.5. *Environmental Monitoring Letters*.
- Yunis, A., Mustafa, I., & Idris, R. (2024). Noise and Irregular Patterns in Environmental Time Series. *Journal of Climate Variability*.
- Zulaiha, S. (2025). *Hubungan polusi udara PM2.5 terhadap jumlah pasien pneumonia di Bekasi tahun 2019–2023*. Environmental Occupational Health and Safety Journal.  
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/EOHSJ/article/download/23421/12175/73343>