

# PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI KOTA MEDAN MENGUNAKAN PETA KENDALI MULTIVARIAT $T^2$ HOTELLING

Adi Gunawan Harahap<sup>1</sup>, Albert Samuel Sinaga<sup>2</sup>, Christoffel Mario<sup>3</sup>

Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam <sup>1,2,3</sup>  
Universitas Negeri Medan<sup>1,2,3</sup>

Email: [gunawanhrp05@gmail.com](mailto:gunawanhrp05@gmail.com)<sup>1</sup>, [albertsamuels02@gmail.com](mailto:albertsamuels02@gmail.com)<sup>2</sup>,  
[christoffelmario5@gmail.com](mailto:christoffelmario5@gmail.com)<sup>3</sup>

**Corresponding Author:** Christoffel Mario email: [christoffelmario5@gmail.com](mailto:christoffelmario5@gmail.com)

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk memantau dan menganalisis kualitas udara di Kota Medan dengan menggunakan pendekatan peta kendali multivariat  $T^2$  Hotelling. Data sekunder diperoleh dari AQI.in untuk periode 1 April hingga 29 Mei 2025, mencakup enam polutan utama: PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>. Analisis dilakukan melalui statistik deskriptif, normalisasi data menggunakan Z-score, penerapan peta kendali  $T^2$  Hotelling, serta dekomposisi Mason-Young-Tracy (MYT) untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing polutan terhadap fluktuasi kualitas udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tanggal 14 Mei dan 19 Mei 2025, terjadi lonjakan pencemaran yang melebihi batas kendali atas. Polutan dominan pada tanggal 14 Mei adalah NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>, sedangkan PM<sub>10</sub> dan O<sub>3</sub> menjadi penyumbang utama pada 19 Mei. Temuan ini menunjukkan bahwa peta kendali  $T^2$  Hotelling efektif dalam mendeteksi perubahan kualitas udara secara simultan, serta dekomposisi MYT mampu memberikan informasi diagnostik yang penting untuk pengambilan keputusan pengendalian polusi.

**Kata Kunci:** Pencemaran Udara, Peta Kendali,  $T^2$  Hotelling, Dekomposisi MYT, Statistik Multivariat.

**Abstract.** This study aims to monitor and analyze air quality in Medan City using a multivariate statistical approach, specifically the  $T^2$  Hotelling control chart. The research utilizes secondary data obtained from AQI.in for the period of April 1 to May 29, 2025, encompassing six major air pollutants: PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub>. The analysis involves descriptive statistics, data normalization using Z-scores, application of the  $T^2$  Hotelling control chart, and Mason-Young-Tracy (MYT) decomposition to determine the contribution of each pollutant to air quality fluctuations. The findings reveal that air pollution levels exceeded the upper control limit on May 14 and May 19, 2025. On May 14, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> were the primary contributors, while PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> were dominant on May 19. These results demonstrate that the  $T^2$  Hotelling control chart is effective in detecting simultaneous shifts in air quality, and the MYT decomposition provides valuable diagnostic insights for pollution control decision-making.

**Keywords:** Air Pollution, Control Chart,  $T^2$  Hotelling, MYT Decomposition, Multivariate Statistics.

## A. Pendahuluan

Udara merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan. Udara bersih merupakan udara yang tidak bercampur dengan zat-zat atau gas-gas yang merugikan seperti debu, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan gas lainnya (Syekh M A, Firdaus, and Primajaya 2021). Penyebab pencemaran udara terbagi menjadi dua adalah polutan berbentuk partikel dan gas. Partikel pencemar dapat berupa total *suspended particulate*/partikel tersuspensi total (TSP) dengan ukuran diameter partikel sampai dengan 100 $\mu$ m, partikel berdiameter kurang dari 10 $\mu$ m (PM<sub>10</sub>), dan partikel berdiameter kurang dari 2.5 $\mu$ m (PM<sub>2.5</sub>); sedangkan gas-gas pencemar dapat berupa sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), oksidan/ozon permukaan (O<sub>3</sub>), dan lainnya (Inaku and Novianus 2020). Udara yang



tercemar akan menimbulkan berbagai macam penyakit. Sehingga perlu dilakukan pengamatan tingkat pencemaran udara pada lingkungan masyarakat (Nurjanah, Siregar Amril, and Sulistya 2020).

Menurut Air Quality Live Index, kondisi kualitas udara di Indonesia tercatat terus memburuk sejak dua dekade terakhir, dan saat ini berada di peringkat ke-5 negara dengan kualitas udara terburuk di dunia. WHO menetapkan rata-rata konsentrasi per tahun dari polutan udara atau particulate matter (PM<sub>2,5</sub>) tidak boleh melebihi 10 mikron per meter kubik (Blackstone and Kristian 2022). Kota Medan merupakan kota terbesar ke 3 di Indonesia dengan pertumbuhan industri dan kendaraan bermotor yang semakin meningkatkan menyebabkan kualitas udara semakin kurang baik yang juga disebabkan ruang terbuka hijau yang mulai berkurang di kota Medan (Simanjuntak, Prayuda, and Yakub 2021). Sumber polusi udara di perkotaan bervariasi, termasuk emisi kendaraan bermotor, pabrik industri, pembakaran biomassa, dan aktivitas konstruksi. Kendaraan bermotor menjadi kontributor utama emisi polutan seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan partikel halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>) (Umah and Gusmira 2024).

Salah satu teknik statistik untuk menganalisis sejumlah besar variabel disebut analisis multivariat. Teknik statistik yang dikenal sebagai analisis statistik multivariat memungkinkan penelitian simultan pada lebih dari dua variabel (Sari et al. 2023). Peta kendali adalah suatu Teknik membuat grafik statistik yang nilainya diukur berdasarkan hasil plot karakteristik kualitas tertentu (Riyono, Pijuastuti, and Prayitno 2023). Peta kendali biasanya digunakan untuk memantau dan mengendalikan proses produksi secara statistik. Pada penelitian ini digunakan peta kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling sebagai alat statistik. Peta kontrol T<sup>2</sup> Hotelling adalah bagan kontrol yang menggunakan vektor rata-rata sampel dan matriks kovarians untuk menemukan pergeseran dalam rata-rata proses (Mehmood et al. 2021).

Penelitian terkait pemantauan kualitas udara selama ini sebagian besar menggunakan pendekatan univariat atau metode pemodelan prediktif seperti regresi dan machine learning. Namun, kajian yang secara spesifik menerapkan metode peta kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling dalam konteks pemantauan kualitas udara di lingkungan perkotaan masih sangat terbatas. Kota Medan dipilih sebagai lokasi studi karena merupakan kota metropolitan terbesar ketiga di Indonesia dengan aktivitas industri dan lalu lintas kendaraan yang tinggi, namun belum banyak penelitian yang mengkaji kualitas udaranya menggunakan pendekatan statistik multivariat yang dapat menangkap fluktuasi dari beberapa polutan secara simultan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memantau dan menganalisis tingkat pencemaran udara di Kota Medan dengan menggunakan peta kendali multivariat T<sup>2</sup> Hotelling sebagai alat statistik, guna mendeteksi adanya pergeseran atau perubahan dalam kualitas udara secara simultan berdasarkan beberapa variabel pencemar udara.

## B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis statistik multivariat untuk memahami dan memantau dinamika kualitas udara di Kota Medan. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data skunder yang diambil dari situs web resmi AQI.in, sebuah platform pemantauan kualitas udara global yang menyajikan data real-time dan historis dari berbagai kota di dunia. Data yang diperoleh meliputi 6 jenis polutan udara utama, yaitu PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub> untuk wilayah Kota Medan dengan total 59 observasi harian dari tanggal 1 April – 29 Mei 2025.



**Tabel 1. Data Kualitas Uara Kota Medan**

PM25	PM10	CO	SO2	NO2	O3
13	35	153	1	5	10
13	35	148	1	5	10
13	32	146	1	5	9
11	32	148	1	5	10
13	31	143	1	5	10
10	29	142	1	5	10
11	29	140	1	5	10
10	29	138	1	5	10
10	28	135	1	5	10
9	28	136	1	5	10
10	27	145	1	5	9

**Dst.**

Metode analisis data pada penelitian ini terdiri dari 4 metode yaitu :

1. Statistika deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti menggunakan data sampel atau populasi. Data yang disajikan dalam statistik deskriptif biasanya dalam bentuk ukuran pemusatan data (Mokhtar, Yusoff, and Liang 2021). Statistik Deskriptif digunakan untuk melihat sebaran data dan apakah data yang digunakan memiliki nilai ekstrim.
2. Transformasi data dengan Z-Score Normalization. Proses normalisasi data melibatkan pengubahan skala nilai dalam dataset agar seragam, mempermudah analisis, dan meminimalkan efek outlier. Metode normalisasi umum termasuk Min-Max Scaling yang mengubah nilai ke rentang 0-1, Z-Score Normalization yang mengubah nilai menjadi distribusi normal dengan rata-rata 0 dan simpangan baku 1 (Setiawan, Cahyani, and Sadadi 2023). Metode ini digunakan supaya setiap variabel memiliki distribusi yang sebanding. Dengan rumus :

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Dimana:

$X$  : nilai asli

$\mu$  : rata-rata dari variabel

$\sigma$  : simpangan baku dari variabel

3. Peta Kendali  $T^2$  Hotelling merupakan salah satu teknik analisis multivariat yang digunakan untuk membandingkan dua kelompok sampel menggunakan vektor rata-rata, di mana masing-masing kelompok terdiri dari dua atau lebih variabel. Hotelling  $T^2$  digunakan untuk melihat perbedaan antara dua kelompok eksperimen yang masing-masing terdiri dari dua atau lebih variabel, dan analisis statistik dilakukan secara simultan terhadap variabel-variabel tersebut (Sari and Widyasari 2024). Metode ini digunakan untuk memantau kualitas udara. Dengan rumus:

$$T^2 = (X - \bar{X})^T S^{-1} (X - \bar{X})$$

Dimana:

$X$  : vektor observasi ke-  $i$

$\bar{X}$  : vektor rata-rata dari semua observasi

$S^{-1}$  : invers dari matriks kovarians variabel

$T$  : transpose vektor

Kemudian dibandingkan dengan batas kendali atas (UCL) dengan rumus:

$$UCL = \frac{p(n+1)(n-1)}{n(n-p)} \times F_{\alpha, p, n-p}$$



Dimana:

$p$  : jumlah variabel

$n$  : jumlah observasi

$F_{\alpha, p, n-p}$  : nilai F kritis dari distribusi F untuk taraf signifikan  $\alpha$

4. Metode Dekomposisi Mason, Young dan Tracy (MYT) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi variabel (peubah) yang dapat menyebabkan proses berada di luar batas kendali. Bentuk statistik  $T^2$  untuk sampel ke- $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . (Mokhtar et al. 2021). Metode ini sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi polutan mana yang paling berpengaruh saat kualitas udara memburuk. Secara sederhana, jika nilai  $T^2$  menunjukkan adanya pencemaran udara di luar batas normal pada suatu hari, maka dekomposisi MYT membantu menjawab pertanyaan: “*Polutan mana yang paling bertanggung jawab terhadap kondisi ini?*” Metode ini digunakan untuk menguraikan nilai-nilai  $T^2$  yang telah diperoleh menjadi kontribusi dari tiap variabel. Langkah-langkah Dekomposisi MYT:
  1. Hitung nilai  $T^2$  Hotelling untuk setiap hari pengamatan. Ini menunjukkan kondisi umum kualitas udara secara keseluruhan.
  2. Tentukan hari yang nilainya melebihi batas kendali atas (UCL).
  3. Gunakan rumus dekomposisi MYT untuk membagi nilai  $T^2$  menjadi kontribusi masing-masing polutan. Berikut rumus dekomposisi MYT:

$$T^2 = \sum_{i=1}^p C_i$$

Dimana :

$C_i$  : kontribusi variabel ke-  $i$

$p$  : jumlah variabel

## C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 1. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif merupakan tahap awal yang penting dalam analisis statistik. Dengan melakukan statistika deskriptif kita dapat melihat gambaran awal dari data yang akan digunakan dalam penelitian. Statistika deskriptif dari data yang akan diteliti dapat dilihat pada tabel berikut.

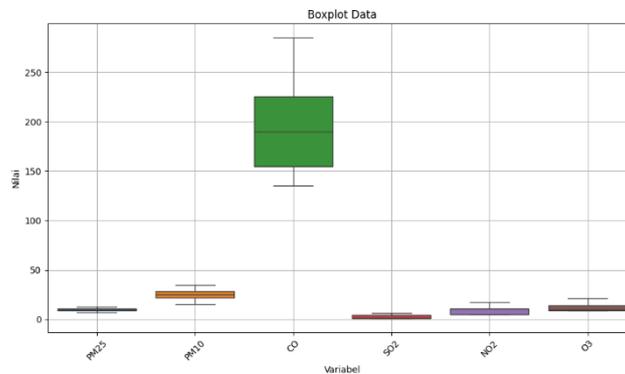
**Tabel 2. Statistik Deskriptif**

Statistik	PM 2.5	PM 10	CO	SO2	NO2	O3
N	59	59	59	59	59	59
Mean	10,271	24,644	193,677	2,441	8,136	11,593
Std dev	1,495	4,74	41,204	1,755	3,748	2,835
Min	7	15	135	1	5	9
Q1	9	21.5	155	1	5	9
Q2	10	25	190	1	5	10
Q3	11	28	225,5	4	11	14
Max	13	35	285	6	17	21

Dengan melihat hasil statistik deskriptif tersebut kita dapat melihat bagaimana sebaran dari data yang akan dianalisis mulai dari range, rata-rata, dan simpangan baku dari tiap-tiap variabel. Untuk lebih melihat sebaran datanya dengan baik, dapat digunakan visualisasi data



dengan boxplot. Keuntungan menggunakan boxplot adalah dapat melihat apakah data yang digunakan memiliki nilai ekstrim (*outlier*). Nilai ekstrim tersebut tentunya akan memengaruhi nilai rata-rata yang nantinya digunakan dalam pembentukan peta kendali sehingga harus segera diatasi. Hasil visualisasi tiap variabel dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

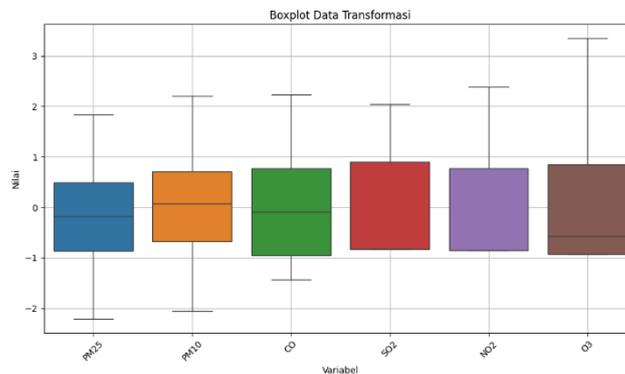


**Gambar 1** Visualisasi Data pada Boxplot

Dari visualisasi data pada gambar 1, terlihat bahwa data pada setiap data tidak memiliki nilai ekstrim (*outlier*). Maka data dapat dikatakan baik dan dapat diteliti lebih lanjut.

## 2. Transformasi Data

Transformasi data merupakan proses mengubah distribusi nilai-nilai pada data agar mengikuti distribusi tertentu. Tujuannya agar algoritma yang digunakan dapat bekerja dengan optimal sebab semua variabel memiliki distribusi yang identik. Metode transformasi data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan Z-Score Normalization. Keuntungan menggunakan transformasi Z-Score adalah mean data akan bernilai 0 dan simpangan baku bernilai 1. Selain itu hasil distribusi data dengan transformasi ini akan mendekati normal. Hasil transformasi data dan uji normalisasi data setelah transformasi data adalah sebagai berikut.



**Gambar 2** Visualisasi Data pada Boxplot setelah Transformasi

Variabel	Statistik Shapiro-Wilk	Kesimpulan
PM25	0.9204	Normal
PM10	0.9755	Normal
CO	0.9469	Normal
SO2	0.7680	Normal
NO2	0.7911	Normal
O3	0.8393	Normal

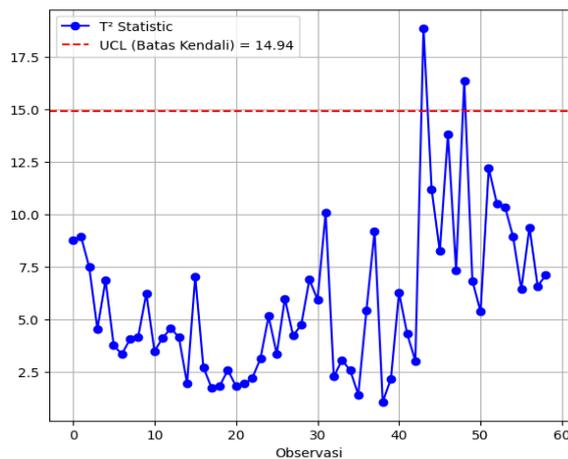
**Gambar 3** Hasil Uji Normalitas

### 3. Peta Kendali $T^2$ Hotelling

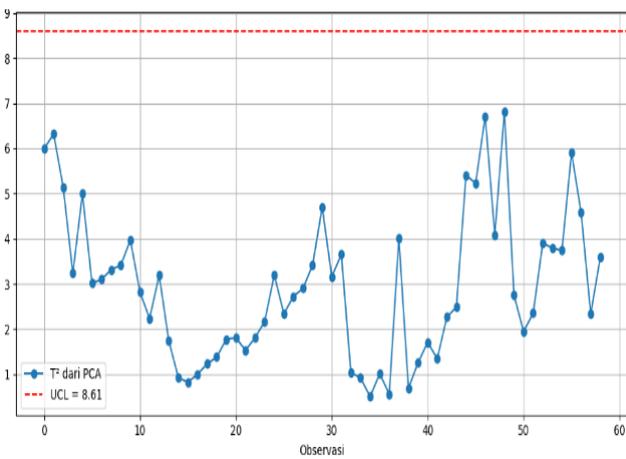
Peta kendali  $T^2$  Hotelling merupakan alat statistik multivariat yang dapat digunakan untuk melihat/memantau kualitas apabila terdapat lebih dari satu variabel pengukuran. Kualitas udara ditentukan dengan menghitung 6 variabel penting yang paling memengaruhi kualitas udara di daerah tertentu, sehingga peta kendali ini sangat cocok digunakan untuk melihat apakah kualitas udara di Kota Medan itu stabil sesuai rata-ratanya dalam 2 bulan terakhir. Sebagai perbandingan hasil, data juga akan diuji dengan metode PCA untuk melihat apakah ada perbedaan hasil dari peta kendali  $T^2$  Hotelling klasik dengan peta kendali  $T^2$  Hotelling dengan metode PCA. Perhitungan akan dilakukan dengan bahasa pemrograman Python pada Google collaboratory. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.

**Tabel 3. Hasil Perhitungan  $T^2$  Hotelling klasik**

Observasi	$T^2$	UCL
1	8.77	14.94
2	8.94	14.94
3	7.48	14.94
4	4.54	14.94
5	6.86	14.94
...	...	...
57	9.39	14.94
58	6.59	14.94
59	7.11	14.94



**Gambar 4** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling klasik



**Gambar 5** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling (PCA)

Dari peta kendali  $T^2$  Hotelling klasik, terlihat bahwa data pada observasi ke-44 (14 Mei) dan ke-49 (19 Mei) berada di atas batas kendalinya. Hal ini menunjukkan bahwa pada hari-hari tersebut daerah Kota Medan memiliki tingkat polusi udara yang berada di atas rata-ratanya selama 2 bulan terakhir. Sementara pada peta kendali  $T^2$  Hotelling dengan analisis PCA, seluruh data berada pada batas kendali yang normal, namun tetap ada fluktuasi. Misalnya observasi ke-49 dengan peta kendali  $T^2$  Hotelling dengan analisis PCA juga menunjukkan nilai tertinggi namun masih pada batas kendali, sementara dengan  $T^2$  Hotelling klasik observasi ke-49 sudah berada diluar batas kendali. Sehingga kita dapat menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling klasik untuk mendapatkan hasil yang lebih sensitif.

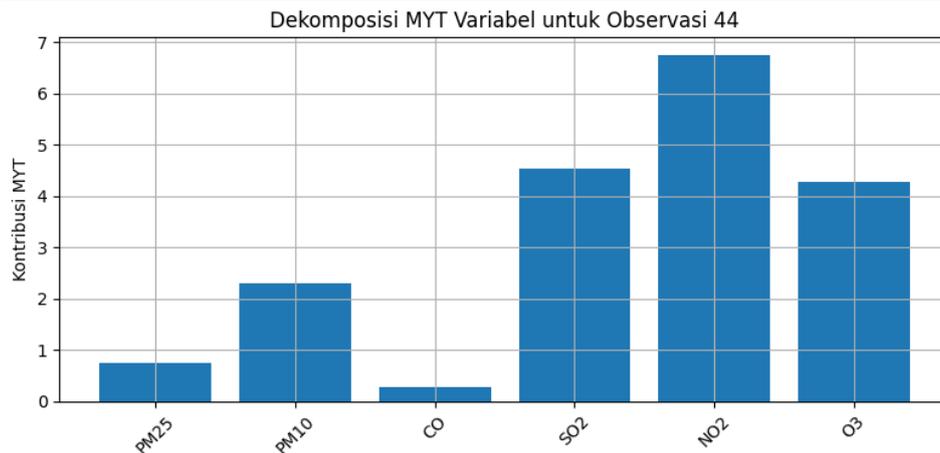


#### 4. Dekomposisi MYT

Dekomposisi MYT merupakan salah satu metode statistik yang dapat digunakan untuk menguraikan nilai multivariat. Dengan metode ini, kita dapat menguraikan nilai-nilai  $T^2$  yang telah diperoleh menjadi kontribusi dari tiap variabel. Dengan begitu kita dapat melihat kontribusi variabel mana yang paling mempengaruhi pada saat kualitas udara memburuk. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

**Tabel 4. Hasil Dekomposisi MYT pada 14 Mei**

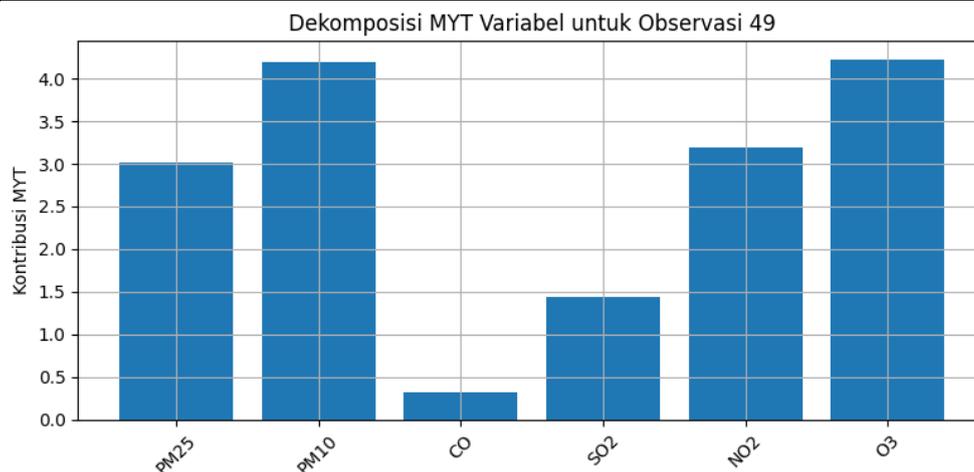
14 Mei	PM 2.5	PM 10	CO	SO2	NO2	O3
Kontribusi	0,74	2,31	0,27	4,54	6,75	4,27
Persentase	3,94%	12,21%	1,44%	24,04%	35,76%	22,62%



**Gambar 6** Visualisasi hasil Dekomposisi MYT pada 14 Mei

**Tabel 5. Hasil Dekomposisi MYT pada 19 Mei**

19 Mei	PM 2.5	PM 10	CO	SO2	NO2	O3
Kontribusi	3.41	4.19	0.31	1.44	3.19	4.23
Persentase	18.39%	25.59%	1.91%	8,82%	19.46%	25.84%



**Gambar 7** Visualisasi hasil Dekomposisi MYT pada 19 Mei

Pada tanggal 14 Mei, dapat diketahui bahwa penyumbang terbesar dalam polusi udara di Kota medan adalah polutan NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>. Sementara pada tanggal 19 Mei penyumbang terbesar dalam polusi udara di Kota medan adalah polutan O<sub>3</sub> dan PM 10.



#### D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, peta kendali multivariat  $T^2$  Hotelling terbukti efektif dalam memantau kualitas suatu objek yang terdiri dari banyak variabel penting secara simultan. Seperti pada kasus ini, penggunaan peta kendali  $T^2$  Hotelling berguna untuk memantau kualitas udara secara simultan dengan mempertimbangkan enam jenis polutan utama (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>). Selama periode pengamatan di Kota Medan (1 April - 29 Mei 2025), ditemukan dua hari yakni 14 Mei dan 19 Mei yang menunjukkan tingkat pencemaran udara melebihi batas kendali atas. Analisis lanjutan dengan Dekomposisi MYT juga efektif dalam menentukan kontribusi tiap variabel terhadap nilai multivariat. Hasil analisis dengan Dekomposisi MYT menunjukkan bahwa NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub> menjadi kontributor dominan pada 14 Mei, sedangkan PM<sub>10</sub> dan O<sub>3</sub> mendominasi pada 19 Mei.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar Pemerintah Kota Medan menerapkan kebijakan spesifik untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor dan sektor industri. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan frekuensi dan cakupan uji emisi kendaraan secara berkala, serta memberlakukan pembatasan operasional kendaraan berbahan bakar fosil yang berusia di atas 10 tahun. Untuk sektor industri, perlu dilakukan audit emisi secara rutin, khususnya pada pabrik yang berlokasi dekat kawasan pemukiman, guna menekan kadar NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>. Pengendalian senyawa organik volatil (VOC) sebagai prekursor O<sub>3</sub> dapat dilakukan melalui pengawasan ketat terhadap penggunaan pelarut kimia dan limbah industri cair yang mengandung senyawa organik. Sementara itu, untuk menurunkan PM<sub>10</sub>, disarankan melarang aktivitas pembakaran sampah terbuka di lingkungan padat penduduk, serta mewajibkan dan menutup material proyek yang berpotensi menghasilkan debu pada konstruksi terbuka. Sebagai upaya jangka panjang, perluasan dan pemeliharaan ruang terbuka hijau harus ditingkatkan, seperti pembuatan taman kota dan penanaman pohon di tepi jalan, guna menyerap polutan dan memperbaiki kualitas udara secara alami.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blackstone, Abri Montgomery, and Rudi Kristian. 2022. "Implementasi Proyek Uji Berkala Kendaraan Angkutan Umum Dalam Meningkatkan Kualitas Udara Kota Medan." *Jurnal Professional* 9(2):277–84. doi: <https://doi.org/10.37676/professional.v9i2.3197>.
- Inaku, Awaluddin Hidayat Ramli, and Cornelis Novianus. 2020. "Pengaruh Pencemaran Udara PM 2,5 Dan PM 10 Terhadap Keluhan Pernapasan Anak Di Ruang Terbuka Anak Di DKI Jakarta." *ARKESMAS (Arsip Kesehatan Masyarakat)* 5(2):9–16. doi: <https://doi.org/10.22236/arkesmas.v5i2.4990>.
- Mehmood, Rashid, Muhammad Riaz, Iftikhar Ali, and Muhammad Hisyam Lee. 2021. "Generalized Hotelling T2 Control Chart Based on Bivariate Ranked Set Techniques with Runs Rules." *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 43(10):2180–95. doi: <https://doi.org/10.1177/0142331221992670>.
- Mokhtar, Mohd Azizah Ahlam Mohamad, Nur Syahidah Yusoff, and Chuan Zun Liang. 2021. "Robust Hotelling's T2 Statistic Based on M-Estimator." *Journal of Physics: Conference Series*. doi: [doi:10.1088/1742-6596/1988/1/012116](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1988/1/012116).
- Nurjanah, Siti, Mutoi Siregar Amril, and Kusumaningrum Dwi Sulistya. 2020. "Penerapan Algoritma K – Nearest Neighbor (KNN) Untuk Klasifikasi Pencemaran Udara Di Kota Jakarta." *Scientific Student Journal for Information, Technology and Science* 1(2):71–76.



- Riyono, Joko, Christina Eni Pijuastuti, and Dodi Prayitno. 2023. "PELATIHAN PEMBUATAN DIAGRAM PETA KENDALI ATRIBUT PADA PROSES KONTROL PRODUK DENGAN MINITABDI BEKASI." *Kocenin Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3(1):1–8.
- Sari, E., and R. Widyasari. 2024. "Application of Hotelling  $T^2$  Control Diagram to Analyze Drinking Water Quality Control at Perumda Tirtauli Pematang Siantar City." *Mathline: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika* 9(1):273–84.
- Sari, Elviana, Sophia Salsalina, Muhammad Afif Fauzi Hasibuan, and Sajaratud Dur. 2023. "ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS AIR BERSIH DENGAN MENGGUNAKAN PETA KENDALI MULTIVARIAT PADA PDAM TIRTANADI (Studi Kasus: PDAM Tirtanadi Kecamatan Sibolangit Kabupaten Deli Serdang)." *AMONG Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Setiawan, Ismail, Renata Fika Antika Cahyani, and Irfan Sadadi. 2023. "EXPLORING COMPLEX DECISION TREES: UNVEILING DATA PATTERNS AND OPTIMAL PREDICTIVE POWER." *Journal of Innovation and Future Technology (IFTECH)* 5(2):112–23. doi: <https://doi.org/10.47080/iftech.v5i2.2829>.
- Simanjuntak, Sugianto, Jaka Prayuda, and Suardi Yakub. 2021. "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK SISTEM PENDETEKSIAN KUALITAS UDARA DI KOTA MEDAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY BERBASIS NODE MCU." *Jurnal CyberTech* 4(2):1–9. doi: <https://doi.org/10.53513/jct.v4i2.2500>.
- Syekh M A, Umri, S. Muhammad Firdaus, and Aji Primajaya. 2021. "ANALISIS DAN KOMPARASI ALGORITMA KLASIFIKASI DALAM INDEKS PENCEMARAN UDARA DI DKI JAKARTA." *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)* 4(2):98–104. doi: <https://dx.doi.org/10.33387/jiko.v4i2.2871>.
- Umah, Rosatul, and Eva Gusmira. 2024. "Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Perkotaan." *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi* 3(3):103–12. doi: <https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>.

