

**EVALUASI KUALITAS UDARA AMBIEN BERDASARKAN NILAI
INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA (ISPU) DI KOTA METRO,
LAMPUNG**

Skripsi

LAILA ELFANI MAHGFIROH

2057021012



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

EVALUASI KUALITAS UDARA AMBIEN BERDASARKAN NILAI INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA (ISPU) DI KOTA METRO, LAMPUNG

Oleh

LAILA ELFANI MAHGFIROH

Kualitas udara ambien di wilayah perkotaan dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik dan kondisi lingkungan sekitarnya. Evaluasi kualitas udara ambien di Kota Metro, Provinsi Lampung, dilakukan menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berdasarkan data pemantauan tahun 2023–2024 yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro pada beberapa lokasi representatif. Parameter yang dianalisis meliputi $PM_{2,5}$, PM_{10} , CO, SO_2 , NO_2 , dan hidrokarbon (HC) dengan metode perhitungan ISPU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh parameter pencemar udara berada di bawah baku mutu udara ambien nasional dengan kategori ISPU umumnya Baik hingga Sedang. Variasi nilai ISPU antar lokasi terutama dipengaruhi oleh konsentrasi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ serta keberadaan vegetasi perkotaan yang berperan dalam menurunkan pencemaran udara partikulat.

Kata kunci: kualitas udara ambien, ISPU, $PM_{2,5}$, PM_{10} , vegetasi perkotaan.

ABSTRACT

EVALUATION OF AMBIENT AIR QUALITY BASED ON THE AIR POLLUTION STANDARD INDEX (ISPU) IN METRO CITY, LAMPUNG

By

LAILA ELFANI MAHGFIROH

Ambient air quality in urban areas is influenced by anthropogenic activities and surrounding environmental conditions. This study evaluates ambient air quality in Metro City, Lampung Province, using the Air Pollution Standard Index (Indeks Standar Pencemar Udara/ISPU) based on monitoring data from 2023–2024 obtained from the Environmental Agency of Metro City at several representative locations. The analyzed parameters include PM_{2.5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂, and hydrocarbons (HC), with ISPU calculations referring to Regulation of the Minister of Environment and Forestry Number 14 of 2020. The results indicate that all air pollutant parameters were below the national ambient air quality standards, with ISPU categories generally ranging from Good to Moderate. Variations in ISPU values among locations were primarily influenced by PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations, as well as the presence of urban vegetation, which plays a role in reducing particulate air pollution.

Keywords: ambient air quality, ISPU, PM_{2.5}, PM₁₀, urban vegetation

**UDARA AMBIEN BERDASARKAN NILAI INDEKS STANDAR
PENCEMAR UDARA (ISPU) DI KOTA METRO, LAMPUNG**

Oleh

LAILA ELFANI MAHGFIROH

2057021012

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2026

Judul Penelitian : Evaluasi Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di Kota Metro, Lampung

Nama Mahasiswa : Laila Elfani Mahgfiroh

NPM : 2057021012

Program S-1 : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Drs. Tugiyono, M.Si. Ph.D.
NIP. 196411191990031001

Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 196406041990031002

II. Ketua Jurusan

Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.
NIP. 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Drs. Tugiyono, M.Si. Ph.D.



Sekretaris : Drs. Suratman, M.Sc.



Anggota : Dr. Jani Master, S.Si, M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si.

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 2 Februari 2026

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Laila Elfani Mahgfiroh
NPM : 2057021012
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul :

“Evaluasi Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di Kota Metro, Lampung” adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan.

Jika kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandarlampung, 2 Februari 2026

Menyatakan,



Laila Elfani Mahgfiroh

NPM. 2057021012

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Mesuji, pada tanggal 1 September 2001. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Raufi M dan Ibu Ma'rifah. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri 1 Gedung Boga pada tahun 2008 hingga 2014, SMP Negeri 2 Metro pada tahun 2014 hingga 2017, SMA Negeri 3 Metro pada tahun 2017 hingga 2020, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Selama menempuh perkuliahan penulis juga aktif dalam berorganisasi dan kepanitiaan di kampus terutama di Himpunan Jurusan. Penulis menjadi anggota aktif di bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) pada tahun 2020 hingga 2022 dan pernah diamanahkan menjadi Sekretaris Bidang SAINTEK pada periode 2022. Selain itu, penulis sempat menjadi anggota Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) FMIPA dan aktif menjadi anggota English Society (ESo) di Universitas Lampung. Penulis juga aktif dalam kegiatan Relawan dengan menjadi anggota relawan tetap di Dompot Dhuafa Volunteer Lampung.

Pada tanggal 4 Januari 2023 hingga 12 Februari 2023 penulis melaksanakan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Suri Tani Pemuka Lampung dengan judul **“Identifikasi Jenis dan Kepadatan Plankton pada Sampel Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Suri Tani Pemuka”** dan pada tanggal 26 Juli 2023 hingga 4 Agustus 2023, penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sri Waylangsep, Kecamatan

Kalirejo, Kabupaten Lampung Tengah. Pada September 2023 hingga Januari 2026, penulis menyusun skripsi dengan judul **“Evaluasi Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di Kota Metro, Lampung”**.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang.
Dengan mengucapkan rasa syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, ridho,
dan karunia-Nya yang senantiasa menyertai setiap langkah dalam hidupku, hingga
akhirnya karya kecil ini dapat terselesaikan.

Ku persembahkan karya sederhana ini kepada kedua orang tuaku tercinta, Bapak
dan Ibu

Terima kasih atas doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tulus, serta
pengorbanan dan kesabaran yang tiada ternilai. Dukungan, nasihat, dan
kepercayaan yang kalian berikan menjadi kekuatan terbesar bagiku dalam
menyelesaikan studi ini.

Untuk kakakku tersayang, terima kasih atas perhatian, bimbingan, dan dukungan
yang selalu menguatkan.

Dan untuk adikku tersayang, terima kasih telah menjadi penyemangat, penghibur,
dan sumber kebahagiaan dalam setiap proses perjuanganku.

Kalian semua adalah anugerah terindah yang Allah berikan untuk mengisi dan
memberi makna dalam hidupku.

MOTTO

"Katakanlah, "Wahai hamba-hamba-Ku yang melampaui batas terhadap diri mereka sendiri! Janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya Allah mengampuni dosa-dosa semuanya. Sungguh, Dialah Yang Maha Pengampun, Maha Penyayang."
(QS. Az-Zumar 39: Ayat 53)

Progress is measured by growth, not by comparison. The only comparison that matters is between who you are now and who you were before.

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan umatnya hingga akhir zaman.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis telah memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyadari bahwa tersusunnya skripsi ini tidak terlepas dari peran serta semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Skripsi dengan judul "Evaluasi Kualitas Udara Ambien Berdasarkan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di Kota Metro, Lampung" ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, sekaligus dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.

3. Ibu Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa studi.
4. Bapak Prof. Tugiyono, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah dengan sabar meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta nasihat kepada penulis selama proses perkuliahan, penelitian, hingga penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Suratman Umar, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, saran, masukan, serta arahan yang sangat berharga kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, arahan, serta pengalaman berharga kepada penulis selama menempuh pendidikan.
7. Seluruh Laboran dan Karyawan Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, yang telah membantu penulis dalam kelancaran kegiatan akademik, administrasi, serta pelaksanaan penelitian selama penyusunan skripsi.
8. Kedua orang tua tercinta yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi tanpa henti kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Serta kakak dan adik tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, perhatian, serta doa kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
9. Untuk sahabatku, Intan, Marisa, dan Diana, yang selalu ada bahkan di titik terendah penulis. Ku ucapkan banyak terima kasih.
10. Teman-teman seperjuangan semasa perkuliahan, yaitu Okta, Nadya, Andrabella, Mutia Ratu, Lulu, Iqbal, Fathiyah, dan teman seangkatan lainnya, yang telah berbagi pengalaman, bantuan, dukungan, dan kebersamaan sehingga menjadi kenangan berharga serta memberikan semangat kepada penulis selama menempuh pendidikan dan penyusunan skripsi.

11. Almamater tercinta, Universitas Lampung, khususnya Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, yang telah menjadi tempat penulis menimba ilmu, pengalaman, dan pembentukan karakter selama masa studi.
12. Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan karya ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pihak-pihak yang membutuhkan.

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Udara	6
2.1.1 Definisi Udara.....	6
2.1.2 Jenis-Jenis Udara	6
2.1.2.1 Udara Ambien	7
2.1.2.2 Udara Emisi.....	9
2.2 Pencemaran Udara.....	9
2.2.1 Definisi Pencemaran Udara	9
2.2.2 Proses Pencemaran Udara	9
2.2.3 Klasifikasi Bahan Pencemar Udara	10
2.2.3.1 Polutan Primer	10
2.2.3.2 Polutan Sekunder	11
2.2.4 Sumber Pencemaran Udara	11
2.2.4.1 Sumber Alamiah (Natural)	11

2.2.4.2 Sumber Kegiatan Manusia (Antropogenik)	12
2.2.5 Dampak Pencemaran Udara	12
2.2.5.1 Dampak Terhadap Kesehatan Manusia	13
2.2.5.2 Dampak Terhadap Flora	13
2.2.5.3 Dampak Terhadap Fauna	13
2.2.5.4 Dampak Terhadap Material.....	14
2.2.5.5 Dampak Terhadap Terjadinya Hujan Asam.....	14
2.3 Prinsip-Prinsip Pengelolaan Kualitas Udara	14
2.4 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).....	15
2.4.1 Definisi dan Tujuan ISPU	15
2.4.2 Cara Perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	16
2.4.3 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).....	17
2.4.4 Perbedaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan <i>Air Quality Index</i> (IQAIR)	18
2.5 Parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	20
2.5.1 Sulfur Dioksida (SO ₂)	20
2.5.1.1 Definisi dan Karakteristik Sulfur Dioksida (SO ₂).....	20
2.5.1.2 Sumber Utama Sulfur Dioksida (SO ₂).....	20
2.5.1.3 Dampak Sulfur Dioksida (SO ₂).....	21
2.5.2 Karbon Monoksida (CO).....	21
2.5.2.1 Definisi dan Karakteristik Karbon Monoksida (CO).....	21
2.5.2.2 Sumber Utama Karbon Monoksida (CO)	22
2.5.2.3 Dampak Karbon Monoksida (CO)	23
2.5.3 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	23
2.5.3.1 Definisi dan Karakteristik Nitrogen Dioksida (NO ₂)	23
2.5.3.2 Sumber Utama Nitrogen Dioksida (NO ₂)	23
2.5.3.3 Dampak Nitrogen Dioksida (NO ₂)	24
2.5.4 Ozon (O ₃)	24
2.5.4.1 Definisi dan Karakteristik Ozon (O ₃)	24

2.5.4.2 Sumber Utama Ozon (O ₃)	25
2.5.4.3 Dampak Ozon (O ₃)	25
2.5.5 Hidrokarbon (HC).....	27
2.5.5.1 Definisi dan Karakteristik Hidrokarbon (HC).....	27
2.5.5.2 Sumber Utama Hidrokarbon (HC)	28
2.5.5.3 Dampak Hidrokarbon (HC).....	28
2.5.6 Particulate Matter (PM).....	29
2.5.6.1 Definisi dan Karakteristik <i>Particulate Matter</i> (PM)	29
2.5.6.2 Sumber Utama <i>Particulate Matter</i> (PM)	29
2.5.6.3 Dampak <i>Particulate Matter</i> (PM)	30
III. METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	32
3.2 Jenis dan Sumber Data	32
3.2.1 Sumber Data	32
3.3 Analisis Data	33
3.4 Diagram Alir Penelitian	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.1.1 Hasil Analisis Kualitas Udara Ambien Tahun 2023.....	37
4.1.2 Hasil Analisis Kualitas Udara Ambien Tahun 2024.....	40
4.1.3 Analisis Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	43
4.1.4 Hasil Analisis ISPU	46
4.1.5 Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan....	47
4.2 Pembahasan.....	49
4.2.1 Pemilihan Waktu Pengambilan Data	49
4.2.2 Keterkaitan Antara Tutupan Vegetasi dengan Kualitas Udara.....	50
4.2.3 Upaya Pengendalian Pencemaran Udara Berbasis Vegetasi.....	52
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54

DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien.....	8
Tabel 2. Konversi nilai konsentrasi parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	16
Tabel 3. Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	17
Tabel 4. Perbedaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan Indeks Kualitas Udara (<i>Air Quality Index</i> (IQAir)).....	19
Tabel 5. Konversi nilai konsentrasi parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	34
Tabel 6. Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	35
Tabel 7. Hasil analisis kualitas udara ambien di Kota Metro, Maret 2023.....	37
Tabel 8. Hasil analisis kualitas udara ambien di Kota Metro, Agustus 2023.....	38
Tabel 9. Hasil analisis kualitas udara ambien di Kota Metro, Juni 2024.....	41
Tabel 10. Hasil analisis kualitas udara ambien di Kota Metro, November 2024 ..	42
Tabel 11. Rekapitulasi Rentang Nilai Parameter Kualitas Udara Bulan Maret 2023	44
Tabel 12. Rekapitulasi Rentang Nilai Parameter Kualitas Bulan Agustus 2023 ..	45
Tabel 13. Rekapitulasi Rentang Nilai Parameter Kualitas Bulan Juni 2024.....	45
Tabel 14. Rekapitulasi Rentang Nilai Parameter Kualitas Bulan November 2024	45
Tabel 15. Hasil Analisis ISPU Tahun 2023	46
Tabel 16. Hasil Analisis ISPU Tahun 2024	46
Tabel 17. Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan di PT. Sarana Cahaya Makmur.....	47
Tabel 18. Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan di Dinas Lingkungan Hidup (DLH).....	47
Tabel 19. Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan di Perumahan PNS	48

Tabel 20. Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan di Klinik Santa Maria Marino.....	48
Tabel 21. Rekapitulasi Data Vegetasi Pohon pada Setiap Lokasi Pengamatan di Depan Walikota Metro	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta administrasi Kota Metro	2
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian	36

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

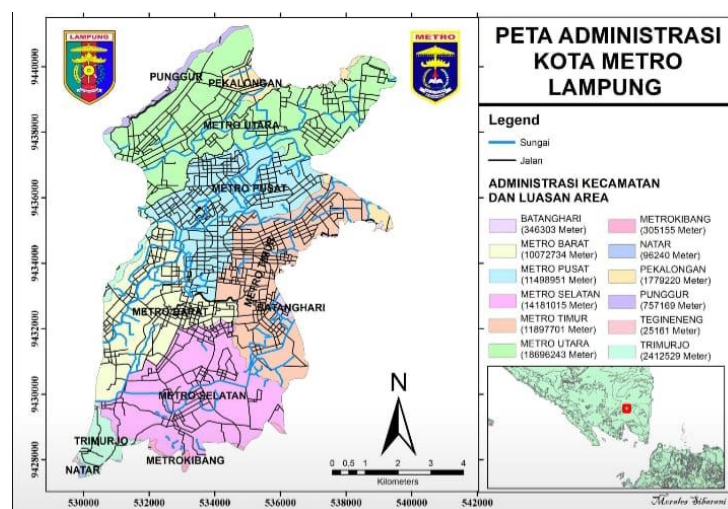
Atmosfer yang ada di sekeliling bumi adalah bentuk dari campuran gas-gas yang disebut udara. Udara memiliki fungsi yang sangat penting untuk kehidupan di muka bumi. Contohnya Oksigen (O_2) untuk bernapas, Karbon Dioksida (CO_2) yang digunakan saat proses fotosintesis pada tanaman, dan Ozon (O_3) yang berfungsi untuk menahan sinar ultraviolet dari matahari (Isramadhanti, 2021).

Unsur-unsur udara tersebut tidak akan mengganggu makhluk hidup dan benda-benda lain jika dalam keadaan normal dan tidak ada zat pencemar (Sulistiani, 2024). Namun ketika ada zat pencemar yang masuk ke unsur-unsur udara karena aktivitas manusia atau alam, mengubah tatanan udara dan membuat kualitas udara menjadi buruk pada titik tertentu sehingga tidak dapat lagi digunakan untuk tujuan awalnya, maka peristiwa ini disebut pencemaran udara (PP No. 22 Tahun 2021).

Selain pencemaran tanah dan air, pencemaran udara adalah kerusakan pada kualitas udara yang disebabkan oleh berbagai sumber, baik biologis maupun non-biologis. Sumber dari pencemaran udara termasuk asap kendaraan bermotor, limbah pabrik, limbah industri, sampah rumah tangga, dan sebagainya (Saleh *et al.*, 2023). Faktor utama yang menyebabkan pencemaran udara selalu terkait dengan manusia. Pencemaran udara disebabkan sebagian besar oleh manusia, dan yang

merasakan dampak pencemaran udara adalah manusia juga (Dwangga, 2018).

Pencemaran udara adalah masalah yang membahayakan kesehatan manusia dan iklim di seluruh dunia. Sekitar 7 juta orang di seluruh dunia meninggal karena polusi udara dalam dan luar ruangan pada tahun 2016, yang merupakan 18% dari semua kematian (WHO, 2018). Pada penelitian yang telah dilakukan tentang korelasi pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat, ditemukan bahwa polusi udara di daerah perkotaan berhubungan dengan penyakit pernapasan seperti asma, bronkitis, dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), serta penyakit kardiovaskular seperti *stroke* dan serangan jantung (Umah, 2024).



Gambar 1. Peta administrasi Kota Metro

Kota Metro secara geografis terletak pada 105° 170-105° 190 Bujur Timur dan 5° 60 - 5° 80 Lintang Selatan, berjarak 45 km dari Kota Bandar Lampung (Ibukota Provinsi Lampung). Wilayah Kota Metro relatif datar dengan ketinggian antara 30-60 m diatas permukaan air laut. Kota Metro memiliki Luas wilayah 73,21 km², dengan jumlah penduduk 174.216 jiwa yang tersebar dalam 5 wilayah kecamatan dan 22 kelurahan (metrokota.go.id, diakses pada 12/11/2024). Sebutan Kota Metro sebagai Kota Pendidikan menyebabkan banyaknya pendatang yang kebanyakan

berupa anak muda yang hendak menuntut ilmu. Akibat dari melonjaknya pertumbuhan penduduk ini kualitas udara sering menurun dan berubah karena aktivitas manusia.

Kondisi inilah yang mendorong dilakukannya penelitian ini, karena menurut data yang diambil dari Pemerintah Kota Metro pada tahun 2023 lalu, jumlah populasi balita untuk program P2 Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) Kota Metro tahun 2023 sebanyak 17.638 jiwa. Pada tahun yang sama juga terdapat kenaikan penderita pneumonia balita sebanyak 85 penderita (21,6% dari jumlah balita). Cakupan penderita pneumonia pada balita paling besar terdapat di Puskesmas Karangrejo yaitu 113% (Dinas Kesehatan Kota Metro, 2023).

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan metode Analisis Spasial Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kota Metro oleh Afifah Azzahraa (2022), ditemukan bahwa sebagian wilayah Metro, khususnya Kecamatan Metro Pusat, Metro Barat, dan Metro Timur, menunjukkan risiko kualitas udara yang sangat tinggi. Penelitian ini dilakukan karena pada penelitian sebelumnya di Kota Metro lebih banyak berfokus pada pemetaan spasial risiko mutu udara, namun belum mengintegrasikan hasil pengukuran kualitas udara ke dalam bentuk ISPU yang dapat memberikan informasi lebih praktis bagi masyarakat dan pembuat kebijakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah penelitiannya yaitu bagaimana kualitas udara ambien di Kota Metro berdasarkan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di sektor transportasi, perkantoran, perumahan, perindustrian, dan pelayanan kesehatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui kualitas udara ambien di Kota Metro berdasarkan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) di sektor transportasi, perkantoran, perumahan, perindustrian, dan pelayanan kesehatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan juga menjadi acuan dalam upaya peningkatan kualitas udara di Kota Metro.

1.5 Kerangka Pemikiran

Pencemaran udara di daerah perkotaan memiliki berbagai macam sumber, di antaranya emisi kendaraan bermotor, pabrik industri, pembakaran biomassa, dan aktivitas konstruksi. Kontributor utama dari emisi polutan seperti Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), *Particulate Matter* (PM_{2,5} dan PM₁₀) adalah kendaraan bermotor. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya urbanisasi di daerah perkotaan yang memperburuk kualitas udara di daerah perkotaan.

Sebutan Kota Metro sebagai Kota Pendidikan menyebabkan banyaknya pendatang yang kebanyakan berupa anak muda yang hendak menuntut ilmu. Akibat dari melonjaknya pertumbuhan penduduk ini kualitas udara sering menurun dan berubah karena aktivitas manusia. Perubahan kualitas udara ini dapat berupa perubahan sifat secara fisik maupun kimiawi. Perubahan kimiawi dapat mencakup pengurangan atau penambahan bahan kimia di udara yang dikenal sebagai pencemaran udara.

Pencemaran udara yang terjadi memang tidak dapat dihindari terutama jika dilihat dari kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor sebagai salah satu sarana mobilitas. Akan tetapi, tingkat pencemaran tersebut dapat dikendalikan dengan menekankan kepada pengaturan penggunaan

kendaraan bermotor. Bertambahnya penduduk di Kota Metro juga berpengaruh terhadap peningkatan jumlah kendaraan bermotor, khususnya kendaraan pribadi. Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu suatu kajian evaluasi yang dapat menjelaskan berapa tingkat pencemaran udara yang terjadi di Kota Metro yang disebabkan oleh banyaknya mobilitas kendaraan bermotor dan juga bagaimana pengaruh tingkat pencemaran udara tersebut kepada kesehatan masyarakat yang tinggal di Kota Metro.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

2.1.1 Definisi Udara

Salah satu komponen penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya adalah udara. Udara merupakan suatu campuran gas yang ada pada lapisan yang mengelilingi bumi yaitu atmosfer. Udara terdiri dari 78% nitrogen, 21,94% oksigen, 0,93% argon, 0,032% karbon dioksida dan gas-gas mulia lainnya di atmosfer (Ibrahim *et al.*, 2022). Udara adalah komponen lingkungan yang sangat penting bagi manusia dan makhluk hidup lainnya karena merupakan kebutuhan utama untuk kelangsungan hidup (Prabowo dan Muslim, 2018).

2.1.2 Jenis-Jenis Udara

Udara dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu udara emisi dan udara ambien. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, udara emisi adalah udara yang dikeluarkan oleh sumber emisi seperti cerobong gas buang industri dan knalpot kendaraan bermotor. Sedangkan udara ambien adalah udara yang dikeluarkan oleh sumber lain. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur Lingkungan Hidup lainnya.

2.1.2.1 Udara Ambien

Udara ambien menurut PP No.22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur Lingkungan Hidup lainnya.

Baku mutu udara ambien menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah nilai pencemar udara yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Udara yang melebihi baku mutu dapat merusak lingkungan sekitar dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat di sekitarnya.

Menurut PP No. 22 Tahun 2021, baku mutu udara ambien disusun dan ditetapkan dengan mempertimbangkan hasil inventarisasi udara dan aspek kesehatan, sosial, ekonomi, dan lingkungan. Baku mutu udara ambien meliputi jenis parameter dan nilai parameter.

Kualitas udara ambien adalah bagian awal dalam memahami dampak negatif dari cemaran udara terhadap lingkungan. Pengukuran kualitas udara ambien bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar yang ada di udara (Hamzah, 2023).

Untuk mengetahui ukuran batas atau kadar zat yang seharusnya ada di udara, maka dibuatlah baku mutu udara ambien sebagai acuan untuk menganalisis kualitas udara ambien. Berikut adalah tabel yang menunjukkan baku mutu udara ambien yang sudah ditetapkan berdasarkan PP No.22 Tahun 2021.

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu Aktif manual
		24 jam	75 µg/m ³	Aktif kontinu
		1 tahun	45 µg/m ³	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	10000 µg/m ³	Aktif kontinu
		8 jam	4000 µg/m ³	Aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 µg/m ³	Aktif kontinu Aktif manual
		24 jam	65 µg/m ³	Aktif kontinu
		1 tahun	50 µg/m ³	Aktif kontinu
4.	Oksidan Fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu Aktif manual*
		8 jam	100 µg/m ³	Aktif kontinu**
		1 tahun	35 µg/m ³	Aktif kontinu
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 µg/m ³	Aktif kontinu***
6.	Partikulat debu < 100 µm (TSP)	24 jam	230 µg/m ³	Aktif manual
	Partikulat debu < 10 µm (PM ₁₀)	24 jam	75 µg/m ³	Aktif kontinu Aktif manual
		1 tahun	40 µg/m ³	Aktif kontinu
	Partikulat debu < 2,5 µm (PM _{2,5})	24 jam	55 µg/m ³	Aktif kontinu Aktif manual
		1 tahun	15 µg/m ³	Aktif kontinu

Keterangan:

µg/m³ = konsentrasi dalam mikrogram per meter kubik, pada kondisi atmosfer normal, yaitu tekanan (P) 1 atm dan temperatur (T) 25°C.

* Konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 1 (satu) jam adalah konsentrasi hasil pengukuran yang dilakukan setiap 30 (tiga puluh) menit (dalam 1 jam dilakukan 2 kali pengukuran) dan dilakukan di antara pukul 11:00 – 14:00 waktu setempat.

** Konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 8 (delapan) jam adalah konsentrasi dari waktu pengukuran yang dilakukan di antara pukul 06:00 – 18:00 waktu setempat.

*** Konsentrasi yang dilaporkan untuk waktu pengukuran selama 3 (tiga) jam adalah konsentrasi dari waktu pengukuran yang dilakukan di antara pukul 06:00 – 10:00 waktu setempat.

2.1.2.2 Udara Emisi

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, udara emisi adalah zat, energi, dan atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien dan mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.

2.2 Pencemaran Udara

2.2.1 Definisi Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No.22 Tahun 2021, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Pencemaran udara adalah keadaan di mana lapisan udara bumi (atmosfer) terdiri dari substansi fisik, biologi, atau kimia dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Siburian, 2020).

2.2.2 Proses Pencemaran Udara

Proses pencemaran udara berlangsung dalam tiga tahap, yaitu gesekan (*attrition*), penguapan (*vaporization*), dan pembakaran (*combustion*). Berikut penjabaran dari masing-masing prosesnya.

- **Gesekan (*Attrition*)**

Gesekan udara sering dijumpai di kehidupan sehari-hari, dari yang sederhana seperti gesekan biola atau ban mobil hingga yang kompleks seperti pemecahan partikel (*sanding*), pemotongan (*grinding*), pengeboran (*drilling*), hingga penyemprotan (*spraying*) (Rohmawati dan Andriyani, 2018).

- **Penguapan (*Vaporization*)**

Penguapan udara yaitu pergeseran dari fase cair ke gas yang terjadi karena tekanan atau panas atau yang terjadi secara alami, seperti dalam kasus bahan *volatile* (Rohmawati dan Andriyani, 2018).

- **Pembakaran (*Combustion*)**

Pencemaran udara dapat terjadi akibat dari pembakaran, terutama pembakaran bahan bakar fosil (gas, minyak bumi, batu bara).

Pembakaran dapat terjadi secara sempurna maupun tidak sempurna yang akan menyebabkan kontaminasi (Rohmawati dan Andriyani, 2018).

2.2.3 Klasifikasi Bahan Pencemar Udara

Bahan pencemar udara adalah unsur-unsur berbahaya yang masuk ke dalam atmosfer. Bahan pencemar udara atau polutan dapat klasifikasikan menjadi dua, yaitu polutan primer dan polutan sekunder (Wardoyo, 2016).

2.2.3.1 Polutan Primer

Polutan primer dapat didefinisikan sebagai polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu. Polutan ini mewakili 90% dari semua polutan udara. Polutan primer dibagi menjadi dua, yaitu polutan gas dan partikulat atau partikel.

1. Polutan gas terdiri dari berbagai jenis gas, seperti Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), dan Nitrogen Dioksida (NO₂).
2. Partikulat primer dihasilkan melalui proses mekanik atau pembakaran. Partikulat di atmosfer memiliki karakteristik khusus dan dapat berupa zat padat, cairan, atau suspensi udara.

2.2.3.2 Polutan Sekunder

Polutan sekunder adalah substansi pencemar yang muncul sebagai hasil dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Reaksi ini biasanya terjadi antara dua atau lebih bahan kimia di udara, seperti reaksi fotokimia. Faktor-faktor berikut mempengaruhi kecepatan dan arah reaksi polutan sekunder.

1. Konsentrasi relatif dari bahan reaktan
2. Derajat fotoaktivasi
3. Kondisi iklim
4. Topografi lokal dan adanya embun

Sifat fisik dan kimia yang tidak stabil dimiliki oleh polutan sekunder.

Ozon, *Formaldehid*, dan *Peroxy Acyl Nitrat* (PAN) adalah beberapa dari polutan sekunder ini (Wardoyo, 2016).

2.2.4 Sumber Pencemaran Udara

Sumber pencemaran udara adalah polusi udara yang dapat bersumber dari berbagai macam sumber, baik yang terjadi secara alamiah maupun dari sumber aktifitas manusia (antropogenik). Sumber pencemaran udara digolongkan menjadi dua yaitu sumber alamiah (natural) dan sumber kegiatan manusia (antropogenik) (Cahyono, 2017).

2.2.4.1 Sumber Alamiah (Natural)

1. Letusan gunung berapi

SO_x adalah salah satu gas pencemar yang dapat mencemari udara yang berasal dari gunung berapi.

2. Kebakaran hutan

Sebagai sumber pencemar alami udara, kebakaran hutan menghasilkan Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO₂), Sulfur Oksida (SO_x), Nitrogen Oksida (NO), dan Nitrogen Dioksida (NO₂).

2.2.4.2 Sumber Kegiatan Manusia (Antropogenik)

1. Sumber bergerak

Sumber bergerak didefinisikan sebagai sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap di tempat, seperti kendaraan bermotor yang mengeluarkan polutan seperti Nitrogen Dioksida (NO_2), Hidrokarbon (HC), Sulfur Dioksida (SO_2), dan Karbon Monoksida (CO). Salah satu bentuk sumber bergerak yang dominan di wilayah perkotaan adalah kendaraan bermotor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung (2024), jumlah kendaraan bermotor di Kota Metro mencapai 152.510 unit, yang terdiri atas 19.650 mobil penumpang, 259 bus, 9.076 truk, dan 123.525 sepeda motor. Dominasi sepeda motor menunjukkan tingginya aktivitas transportasi harian masyarakat. Jumlah kendaraan yang besar tersebut berpotensi meningkatkan emisi gas buang seperti Nitrogen Dioksida (NO_2), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO_2), serta partikulat (PM), yang dapat memengaruhi kualitas udara ambien dan berkontribusi terhadap nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

2. Sumber tidak bergerak

Sumber emisi yang tetap ada di tempat tertentu disebut sumber tidak bergerak. Contohnya termasuk pabrik, tempat pembakaran sampah, pembangunan, dan pengaspalan jalan (Cahyono, 2017).

2.2.5 Dampak Pencemaran Udara

Apabila tingkat konsentrasi zat pencemar melampaui ambang batas toleransi yang diperkenankan, hal ini akan berdampak buruk pada lingkungan, termasuk manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan, dan kerusakan benda (material) serta kualitas air hujan (hujan asam), yang berdampak pada mata rantai berikutnya, yaitu ekosistem flora dan fauna.

2.2.5.1 Dampak Terhadap Kesehatan Manusia

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Putri *et al.*, 2019), seiring dengan meningkatnya konsentrasi $PM_{2.5}$ berhubungan dengan peningkatan kasus asma dan bronkitis pada anak-anak di Jakarta. Jika seseorang terpapar NO_2 dan $PM_{2.5}$ dalam jangka panjang, maka risiko penyakit jantung iskemik dan serangan jantung akan meningkat (Supriyadi *et al.*, 2020). Pada penelitian yang dilakukan di kota Bandung, menunjukkan bahwa pekerja industri yang terpapar SO_2 secara terus-menerus akan berisiko lebih tinggi untuk mengalami Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) (Umah, 2024).

2.2.5.2 Dampak Terhadap Flora

Di antara berbagai gas polutan udara, Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Oksida (NO_x), dan Ozon (O_3) adalah yang paling berbahaya bagi tanaman (Baciak *et al.*, 2015). Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa kandungan klorofil daun dipengaruhi oleh paparan Nitrogen Dioksida (NO_2) (Sheng *et al.*, 2019). Selain Nitrogen Dioksida (NO_2), biasanya gejala cedera seperti bintik-bintik putih yang berubah menjadi bintik-bintik nekrotik berwarna coklat muncul sebagai akibat paparan Ozon (O_3). Gejala daun yang disebabkan oleh Ozon (O_3) termasuk layu, penuaan dini, dan perkembangan warna atau pola yang tidak biasa pada daun, seperti pemutihan, kemerahan, warna keputihan atau hijau muda, atau pola perunggu di bercak-bercak interveinal, dll. (Han *et al.*, 2022).

2.2.5.3 Dampak Terhadap Fauna

Hewan dapat terkena dampak dari pencemaran udara secara langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung terjadi apabila interaksi terjadi melalui sistem pernapasan seperti yang terjadi pada manusia. Dampak tidak langsung dapat terjadi melalui perantara, makanan hewan pada tumbuhan atau air yang telah terkena polutan. (Yasir, 2021).

2.2.5.4 Dampak Terhadap Material

Dampak pencemaran udara terhadap material yaitu dampak pada bangunan, logam, batuan, kulit, dan lainnya. Sebagai contoh, pelapukan batuan kapur yang biasa digunakan untuk konstruksi dan pemahatan marmer, adalah hasil dari pencemaran udara terhadap batuan. Banyak bangunan yang telah terkena pencemaran udara, sehingga menyebabkan debu dan reaksi kimia yang menyebabkan pelapukan (Yasir, 2021).

2.2.5.5 Dampak Terhadap Terjadinya Hujan Asam

Salah satu dampak buruk pencemaran udara yang paling signifikan adalah hujan asam. Hujan asam merupakan salah satu dampak dari banyaknya jenis polutan yang ada di udara yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, emisi kendaraan bermotor, emisi pengolahan pertanian, dan emisi industri (Jayawardana *et al.*, 2023). Penyebab dari hujan asam adalah aktivitas alam dan manusia yang melepaskan gas-gas termasuk hidrogen, Karbon Dioksida (CO_2), Karbon Monoksida (CO), dan Sulfur Dioksida (SO_2) ke atmosfer.

2.3 Prinsip-Prinsip Pengelolaan Kualitas Udara

Udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir di wilayah yurisdiksi Republik Indonesia dikenal sebagai udara ambien. Udara ambien diperlukan dan berdampak pada kesehatan manusia, makhluk hidup, dan komponen lingkungan lainnya (Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021).

Mutu udara didefinisikan sebagai ukuran kondisi udara pada waktu dan tempat tertentu yang diukur dan/atau diuji dengan metode dan parameter tertentu yang diatur oleh PP No. 22 Tahun 2021 Pasal 1 ayat 44-46 sebagai berikut:

1. Ayat 44 berbunyi: Perlindungan Pengelolaan Mutu Udara adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk menjaga Mutu Udara.
2. Ayat 45 berbunyi: Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara yang selanjutnya disingkat RPPMU adalah perencanaan yang memuat potensi, masalah, dan upaya Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara dalam kurun waktu tertentu.
3. Ayat 46 berbunyi: Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara yang selanjutnya disingkat WPPMU adalah wilayah yang dibagi dalam beberapa area untuk perencanaan Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara.

2.4 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

2.4.1 Definisi dan Tujuan ISPU

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak memiliki satuan yang digunakan untuk menggambarkan kualitas udara di suatu tempat dengan mempertimbangkan dampak pada kesehatan manusia, nilai estetika, dan faktor ekosistem lainnya. Informasi ini dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar, terutama di wilayah yang rentan terhadap kebakaran hutan dan lahan. ISPU didirikan untuk memberikan masyarakat informasi yang konsisten tentang kualitas udara di suatu tempat dan pada waktu tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk membantu pemerintah pusat dan daerah mengendalikan pencemaran udara (Peraturan KLHK Tahun 2020). Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dibuat untuk membantu orang awam memahami tingkat kualitas udara yang bersih dan tercemar serta efeknya terhadap kesehatan. ISPU menentukan nilai untuk kualitas udara dengan mempertimbangkan kesehatan makhluk hidup dan nilai estetika bangunan (Hariyadi *et al.*, 2023).

2.4.2 Cara Perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Untuk menggantikan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 45 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara, KLHK mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Pada peraturan pengganti ini, perhitungan ISPU dilakukan pada 7 (tujuh) parameter, yaitu PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , dan HC. 2 (dua) parameter, HC dan $PM_{2.5}$ ditambahkan dari peraturan sebelumnya karena besarnya risiko HC dan $PM_{2.5}$ terhadap kesehatan manusia.

Selain penambahan parameter, terdapat peningkatan frekuensi penyampaian informasi ISPU kepada publik. Hasil perhitungan ISPU parameter $PM_{2.5}$ disampaikan kepada publik tiap jam selama 24 jam. Sedangkan hasil perhitungan ISPU parameter PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , dan HC disampaikan kepada publik paling sedikit 2 (dua) kali dalam 1 (satu) hari pada pukul 09.00 dan 15.00. Tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU dan cara perhitungannya, adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Konversi nilai konsentrasi parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

ISPU	24 Jam PM_{10} ($\mu g/m^3$)	24 Jam $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	24 Jam SO_2 ($\mu g/m^3$)	24 Jam CO ($\mu g/m^3$)	24 Jam O_3 ($\mu g/m^3$)	24 Jam NO_2 ($\mu g/m^3$)	24 Jam HC ($\mu g/m^3$)
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat ($PM_{2.5}$) disampaikan tiap jam selama 24 jam.

- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{10}), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Persamaan matematika perhitungan ISPU adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb}(Xx - Xb) + Ib$$

Keterangan:

I = ISPU terhitung

Ia = ISPU batas atas

Ib = ISPU batas bawah

Xa = konsentrasi ambien batas atas ($\mu g/m^3$)

Xb = konsentrasi ambien batas bawah ($\mu g/m^3$)

Xx = konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ($\mu g/m^3$)

2.4.3 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Setelah memperoleh nilai ISPU (I) dari hasil perhitungan, nilai tersebut akan dikelompokkan ke dalam beberapa rentang kategori seperti tabel:

Tabel 3. Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Rentang	Kategori	Penjelasan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan

Lanjutan **Tabel 3.** Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

101-200	Tidak sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan
201-300	Sangat tidak sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat

(Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020)

2.4.4 Perbedaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan *Air Quality Index (IQAir)*

IQAir adalah sebuah perusahaan teknologi asal Swiss yang berfokus pada mendorong orang, kelompok, dan pemerintah untuk bekerja sama untuk meningkatkan kualitas udara. IQAir adalah sumber informasi tentang kualitas udara di berbagai negara dan kota di seluruh dunia. Portal serupa di Indonesia bernama ISPU KLHK (Indeks Standar Pencemar Udara oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan) (Dinas Komunikasi & Informatika Provinsi Jawa Barat, 2023).

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara menentukan kualitas udara ISPU. Namun, pengukuran *Air Quality Index (AQI)* IQAir di *platform AirVisual* IQAir didasarkan pada *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* yang dikeluarkan oleh *United States Environmental Protection Agency (EPA)*. Tabel 4 menjelaskan perbedaan tambahan antara kedua portal tersebut (Dinas Komunikasi & Informatika Provinsi Jawa Barat, 2023).

Tabel 4. Perbedaan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan Indeks Kualitas Udara (*Air Quality Index* (IQAir))

Portal	Cakupan	Perhitungan	Periode Update	Fitur	Data yang bisa didapat
IQAir	Seluruh dunia	Menghitung berdasarkan <i>National Ambient Air Quality Standards</i> (NAAQS) yang dikeluarkan oleh <i>United States Environmental Protection Agency</i> (EPA) dengan memperhatikan 6 (enam) parameter yaitu PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO, SO ₂ , NO ₂ , dan O ₃ .	<i>Real-time</i>	<i>Real-time, Historical data, dan Forecast</i>	Kualitas udara, kecepatan angin, arah angin, titik kebakaran, kelembapan, suhu, suhu minimum, tekanan atmosfer, konsentrasi semua parameter.
ISPU	Hanya Indonesia	Menghitung berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dengan memperhatikan 7 (tujuh) parameter yaitu PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO, SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , dan HC.	1 jam sekali	<i>Real-time</i> (1 jam sekali)	Kualitas udara, arah angin, konsentrasi semua parameter.

(Dinas Komunikasi & Informatika Provinsi Jawa Barat, 2023).

Berdasarkan Tabel 4, bisa disimpulkan bahwa perbedaan yang terlihat jelas adalah bahwa IQAir memiliki cakupan lebih luas yaitu seluruh dunia sedangkan ISPU hanya digunakan di Indonesia saja. Selain itu parameter yang digunakan IQAir hanya 6 parameter tapi mampu mendapatkan data yang lebih banyak dari ISPU yang menggunakan 7 parameter untuk analisis datanya.

2.5 Parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Parameter yang digunakan dalam perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) hingga saat ini adalah Partikulat (PM₁₀ dan PM_{2,5}), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon (O₃), dan Hidrokarbon (HC).

2.5.1 Sulfur Dioksida (SO₂)

2.5.1.1 Definisi dan Karakteristik Sulfur Dioksida (SO₂)

Salah satu komponen pencemar udara adalah Sulfur Dioksida (SO₂), gas jernih yang tidak berwarna. 80% Sulfur Dioksida (SO₂) berasal dari oksidasi Hidrogen Sulfida (H₂S), dan 20% lagi berasal dari tindakan manusia, seperti pelelehan bahan bakar yang mengandung belerang, kilang minyak, dan letusan gunung (Takuloe, 2023).

Sulfur Dioksida (SO₂) adalah gas yang tidak mudah terbakar di udara dan memiliki bau yang sangat tajam. Sulfur Dioksida (SO₂) adalah zat non-karsinogenik dan memiliki efek langsung pada manusia karena dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan dan mengurangi fungsi paru-paru (Muziansyah *et al.*, 2015).

2.5.1.2 Sumber Utama Sulfur Dioksida (SO₂)

Sebagian besar Sulfur Dioksida (SO₂) yang dilepaskan ke lingkungan berasal dari utilitas listrik, terutama pembakaran batu bara. Sumber Sulfur Dioksida (SO₂) lainnya termasuk kilang minyak bumi, pabrik semen, pabrik bubur kertas, dan fasilitas peleburan dan pemrosesan logam. Saat ini, mobil, kapal besar, dan beberapa peralatan diesel non-jalan raya membakar bahan bakar bersulfur tinggi dan melepaskan Sulfur Dioksida (SO₂) ke udara. Letusan gunung berapi juga dapat melepaskan Sulfur Dioksida (SO₂) ke udara di alam (Wisconsin Department of Health Service, 2022).

2.5.1.3 Dampak Sulfur Dioksida (SO₂)

Dampak Sulfur Dioksida (SO₂) di lingkungan dapat berbahaya bagi lingkungan, apabila asam sulfat dapat terbentuk sebagai komponen utama hujan asam jika Sulfur Dioksida (SO₂) dan air bercampur dengan udara. Hujan asam akan menyebabkan:

- Penggundulan hutan
- Mengasamkan saluran air sehingga akan merusak kehidupan akuatik
- Merusak material, yaitu bahan bangunan dan cat

Dampak Sulfur Dioksida (SO₂) pada lini kesehatan manusia memiliki efek pada sistem pernapasan, terutama pada fungsi paru-paru, dan dapat menyebabkan iritasi pada mata. Sulfur Dioksida (SO₂) mengiritasi saluran pernapasan dan meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan karena batuk, sekresi lendir, dan kondisi yang memperburuk seperti asma, dan bronkitis kronis (*Queensland Government*, 2023).

2.5.2 Karbon Monoksida (CO)

2.5.2.1 Definisi dan Karakteristik Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang dapat berbahaya jika dihirup dalam jumlah besar. Mobil, truk, dan kendaraan atau mesin lain yang menggunakan bahan bakar fosil adalah penyebab utama emisi Karbon Monoksida (CO) di udara. Berbagai peralatan rumah tangga juga berperan besar dalam menyumbangkan emisi Karbon Monoksida (CO), contohnya pemanas ruangan yang menggunakan minyak tanah dan gas, cerobong asap dan tungku yang menyala, dan juga kompor gas yang melepaskan Karbon Monoksida (CO) (Rizaldi *et al.*, 2022).

2.5.2.2 Sumber Utama Karbon Monoksida (CO)

- **Kendaraan Bermotor**

Kendaraan bermotor menjadi sumber utama emisi Karbon Monoksida (CO) di udara. Dengan jumlah kendaraan, kecepatan kendaraan, dan emisi Karbon Monoksida (CO) pada kondisi kecepatan kendaraan yang tinggi dan rendah terdapat hubungan yang selaras. Hal ini juga bisa disebabkan oleh pengaruh kondisi penggunaan jalan (Sasmita *et al.*, 2022).

Dengan banyaknya angkutan umum maupun angkutan online yang berhenti di sembarang tempat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, menyebabkan lalu lintas terganggu yaitu terjadinya penumpukan kendaraan pada jalan tersebut, sehingga menyebabkan emisi Karbon Monoksida (CO) menumpuk di tempat tersebut. Selain itu faktor usia angkutan umum yang biasanya sudah terbilang lama dan tidak layak, sehingga menghasilkan lebih banyak gas Karbon Monoksida (CO). (Yuda *et al.*, 2020).

- **Rokok**

Kebiasaan merokok yang merupakan salah satu sumber terbesar penyebab gas Karbon Monoksida (CO), dapat menjadi salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan kadar Karboksihemoglobin (COHb) pada darah (Hazsya *et al.*, 2018). Sekitar 4000 bahan kimia ada di dalam rokok, dengan 200 bahan kimia di antaranya adalah bahan beracun, dengan Karbon Monoksida (CO) adalah salah satunya (Hidayahsti K *et al.*, 2016). Hal ini sejalan dengan temuan penelitian lain yang menunjukkan bahwa kebiasaan merokok memiliki kaitan dengan peningkatan kadar Karboksihemoglobin (COHb) pada darah pedagang kaki lima dan orang yang berisiko di sekitar jalan raya (Rizaldi *et al.*, 2022).

2.5.2.3 Dampak Karbon Monoksida (CO)

United States Environmental Protection Agency (US EPA) membagi dampak kadar Karbon Monoksida (CO) tinggi menjadi tiga kategori, yaitu rendah, moderat, dan tinggi. Menurut EPA kadar Karbon Monoksida (CO) yang tinggi dapat menyebabkan kematian. Penyakit jantung adalah salah satu dari banyak masalah kesehatan yang dapat disebabkan oleh peningkatan kadar Karbon Monoksida (CO) di udara.

Pedagang kaki lima di pinggir jalan dapat mengalami gejala gangguan kesehatan karena emisi Karbon Monoksida (CO) dari kendaraan bermotor, termasuk iritasi mata, sakit kepala ringan, dada berdebar, pusing, letih, penurunan konsentrasi, batuk-batuk, dan lainnya (Rizaldi, 2022).

2.5.3 Nitrogen Dioksida (NO₂)

2.5.3.1 Definisi dan Karakteristik Nitrogen Dioksida (NO₂)

Salah satu pemicu polusi udara yang dapat membahayakan kesehatan manusia adalah Nitrogen Dioksida (NO₂) (Rahmatika, 2017). Berdasarkan Pusat Informasi Bioteknologi Nasional (2024), Nitrogen Dioksida (NO₂) saat didinginkan atau dikompresi dapat muncul sebagai gas berwarna coklat kemerahan atau cairan coklat kekuningan. Dikirim sebagai gas cair karena tekanan uapnya sendiri. Nitrogen Dioksida (NO₂) banyak terdapat pada atmosfer sebagai bahan utama dalam pembentukan fotokimia kabut asap dan hujan asam. Nitrogen Dioksida (NO₂) adalah gas beracun yang terbentuk selama proses pembakaran.

2.5.3.2 Sumber Utama Nitrogen Dioksida (NO₂)

Gas ini berasal dari aktivitas manusia. Terutama disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (gas, minyak, batu bara, dsb.), pengelasan dan penggunaan bahan peledak, penyulingan bensin dan logam, produksi komersial, dan produksi makanan (*Ministry for the Environment New Zealand*, 2021).

Selain itu, gas Nitrogen Oksida (NO_x) yang berupa Nitrogen Monoksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak, dan gas. Nitrogen Dioksida (NO_2) dapat dibentuk dari aktivitas alami dan manusia. Sumber alami Nitrogen Dioksida (NO_2) meliputi petir, gunung berapi, lautan, dan pembusukan biologis (IQAir 2015).

2.5.3.3 Dampak Nitrogen Dioksida (NO_2)

Menghirup Nitrogen Dioksida (NO_2) oleh anak-anak meningkatkan risiko infeksi pernapasan dan dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru yang lebih buruk di kemudian hari. Nitrogen Dioksida (NO_2) dapat memperburuk asma dan menurunkan pertahanan paru-paru terhadap bakteri yang membuatnya lebih rentan terhadap infeksi (*Ministry for the Environment New Zealand*, 2021).

Dalam konsentrasi jangka pendek yaitu $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Nitrogen Dioksida (NO_2) berbahaya bagi tanaman karena dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Jika Ozon (O_3) dan Sulfur Dioksida (SO_2) juga ada, dampaknya terhadap tumbuhan lebih buruk. Seperti halnya Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2) juga dapat menyebabkan hujan asam. Dampaknya lainnya adalah jika Nitrogen Dioksida (NO_2) bertemu uap air, maka akan membentuk asam. Dan pada konsentrasi tinggi, Nitrogen Dioksida (NO_2) memiliki kemampuan untuk merusak bahan bangunan (*Ministry for the Environment New Zealand*, 2021).

2.5.4 Ozon (O_3)

2.5.4.1 Definisi dan Karakteristik Ozon (O_3)

Pada ketinggian 10 hingga 50 km di atas permukaan bumi yang berarti terletak pada lapisan stratosfer, Ozon (O_3) memiliki sifat melindungi bumi

dari sinar ultra violet. Namun pada lapisan troposfer, Ozon (O_3) berperan sebagai polutan (US EPA, 2024).

Ozon (O_3) memiliki bau menyengat yang sangat khas, kadang-kadang digambarkan seperti pemutih klorin, dan kadang-kadang dapat dideteksi setelah sambaran petir atau pelepasan listrik. Ozon (O_3) adalah gas berwarna biru pucat yang mengiritasi, megeksplorisif, dan beracun bahkan dalam jumlah rendah. Sebagian besar polutan udara terdiri dari Ozon (O_3) pada tingkat tanah. Ozon (O_3) memiliki kerapatan 1,5 kali lebih besar daripada oksigen (Wuebbles, D., 2024).

2.5.4.2 Sumber Utama Ozon (O_3)

Ozon (O_3) troposfer yang juga dikenal sebagai Ozon (O_3) permukaan tanah, terbentuk sebagian besar dari reaksi fotokimia antara dua jenis polutan udara utama yaitu, *Volatil Organic Compounds* (VOC) dan Nitrogen Oksida (NO_x) (US EPA, 2016).

Sebagian besar Ozon (O_3) yang ditemukan di permukaan tanah berasal dari reaksi antara VOC dan NO_x yang dilakukan oleh manusia. Pabrik kimia, pompa bensin, cat berbasis minyak, bengkel mobil, dan percetakan adalah sumber utama VOC. Pembakaran suhu tinggi adalah sumber utama Nitrogen Oksida (NO_x). Sumber utama lainnya adalah pembangkit listrik, tungku dan ketel industri, serta kendaraan bermotor (US EPA, 2016).

2.5.4.3 Dampak Ozon (O_3)

- **Dampak Terhadap Kesehatan Manusia**

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) merekomendasikan batas Ozon (O_3) sebagai salah satu polutan udara yang diatur di banyak negara. Hal ini dilakukan karena efek kesehatannya yang umum dikenal termasuk menyebabkan masalah pernapasan, serangan asma, penurunan fungsi paru-paru, dan peningkatan insiden penyakit pernapasan (*World Health Organization*, 2021).

Konsentrasi Ozon (O_3) yang lebih tinggi setiap hari, terkait dengan peningkatan serangan asma, rawat inap di rumah sakit, kematian harian, dan indikator morbiditas lainnya. Beberapa bukti menunjukkan bahwa Ozon (O_3) dapat memperburuk gejala asma dan meningkatkan sensitivitas terhadap pemicu asma (US EPA, 2024). Berdasarkan evaluasi ini, standar kualitas udara ambien nasional untuk Ozon (O_3) harian maksimum 8 jam direvisi pada tahun 2015 dari 75 menjadi 70 ppb. Bukti dampak kesehatan yang digunakan untuk mendukung perubahan ini terutama mencakup hal-hal berikut, yang telah ditunjukkan oleh tinjauan terbaru (Nuvolone D *et al.*, 2018 & Koman PD *et al.*, 2017).

- 1) Efek samping pernapasan seperti masalah pernapasan (sesak napas dan nyeri saat menarik napas dalam) dan radang saluran pernapasan umum dapat disebabkan oleh Ozon (O_3). Hal ini dapat memperburuk penyakit paru-paru seperti asma, emfisema, dan bronkitis kronis (PPOK).
- 2) Salah satu dari banyak penyebab asma adalah paparan Ozon (O_3) dalam jangka panjang
- 3) Kematian dini dapat disebabkan oleh paparan Ozon (O_3), dan ada lebih banyak bukti untuk kematian akibat penyakit pernapasan daripada penyakit lain
- 4) Karena dosis yang relatif lebih tinggi per massa tubuh mereka dan karena paru-paru mereka masih dalam tahap perkembangan, anak-anak lebih rentan terhadap paparan Ozon (O_3)

- **Dampak Terhadap Ekosistem dan Tumbuhan**

Ozon (O_3) dapat mengurangi fotosintesis, memperlambat pertumbuhan, dan meningkatkan penentangan tumbuhan terhadap penyakit dan hama. Kadar Ozon (O_3) di permukaan tanah yang tinggi

pada tingkat ekosistem dapat menyebabkan kehilangan keanekaragaman spesies dan perubahan pada struktur dan kualitas habitat ekosistem. (*European Environment Agency*, 2022).

Ketika Ozon (O_3) masuk ke daun tanaman yang sensitif, beberapa hal ini dapat terjadi, yaitu:

- 1) Mengurangi fotosintesis
- 2) Pertumbuhan tanaman menjadi lambat
- 3) Tanaman semakin sensitif terhadap penyakit, kerusakan akibat serangga, dampak pencemaran lainnya, dan bahaya akibat cuaca buruk

Dampak Ozon (O_3) pada tanaman tertentu dapat berdampak negatif pada ekosistem secara keseluruhan, termasuk (US EPA, 2024):

- 1) Transformasi pada spesies tanaman hutan tertentu
- 2) Transformasi dalam kualitas habitat
- 3) Transformasi dalam siklus nutrisi dan air

2.5.5 Hidrokarbon (HC)

2.5.5.1 Definisi dan Karakteristik Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) adalah bahan yang terbentuk secara alami yang menjadi dasar dari minyak mentah, gas yang dapat dibakar, batu bara, dan sumber energi lainnya. Ketika Hidrokarbon (HC) dibakar, maka akan menghasilkan Karbon Dioksida (CO_2), air (H_2O), dan panas (Matthew, 2022). Unsur Karbon (C) dan Hidrogen (H) adalah unsur yang membentuk senyawa Hidrokarbon (HC). Seluruh Hidrokarbon (HC) memiliki rantai karbon dan atom hidrogen yang terikat. Istilah ini juga digunakan untuk menggambarkan hidrokarbon alifatik (Rengga dan Putri, 2021).

Karakteristik senyawa Hidrokarbon (HC) dapat dianalisis berdasarkan jenis dan tipe senyawa Hidrokarbon (HC) pada material organik di batuan induk. Karakteristik Hidrokarbon (HC) adalah memiliki tekanan uap yang

rendah, kelarutan dalam air yang sangat rendah, titik leleh dan titik didih yang tinggi yang membuatnya berbentuk padat (Giovanyet *al.*, 2022).

2.5.5.2 Sumber Utama Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) terbentuk dari fosil tumbuhan dan hewan yang telah mengendap selama berabad-abad yang disebabkan oleh suhu dan massa. Hidrokarbon (HC) sebagian besar berada jauh di bawah tanah dan sebagian besar Hidrokarbon (HC) terjebak jauh di permukaan air. Hidrokarbon (HC) selain terbentuk secara alami, juga dapat ditemukan dalam minyak mentah, gas yang mudah terbakar, dan batu bara (Matthew, 2022).

Gas buang dari kendaraan atau alat pembakaran lainnya merupakan sumber utama dari Hidrokarbon (HC), dengan kendaraan bermotor menyumbang 57%, dan generator listrik dan penyulingan minyak menyumbang 4% (Razali, 2014).

2.5.5.3 Dampak Hidrokarbon (HC)

Salah satu efek gas Hidrokarbon (HC) adalah darah mengikat gas Hidrokarbon (HC), yang menyebabkan pengurangan penyerapan oksigen tubuh (Tan, 2014). Dijelaskan bahwa konsentrasi Hidrokarbon (HC) melebihi 10% dapat menyebabkan kehilangan kesadaran manusia (Putra dan Syafei, 2016).

- **Dampak Terhadap Kesehatan**

Studi epidemiologi telah menunjukkan hubungan positif antara Hidrokarbon (HC) sekitar dan kanker payudara, kanker anak-anak, dan kanker paru-paru. Hidrokarbon (HC) juga dikaitkan dengan eksaserbi asma, penurunan fungsi paru-paru, dan peningkatan tingkat penyakit paru obstruktif dan penyakit kardiovaskular. Selain itu, bukti epidemiologi yang terbatas menunjukkan dampak negatif pada fungsi kognitif atau perilaku anak-anak (WHO, 2021).

- **Dampak Terhadap Lingkungan**

Metabolisme dan fotooksidasi mempengaruhi toksisitas Hidrokarbon (HC) terhadap organisme akuatik. Efek berbahaya dari Hidrokarbon (HC) yang terjadi pada invertebrata darat adalah tumor, gangguan reproduksi, gangguan perkembangan dan kekebalan (Abdel-Shafy dan Mansour, 2016).

2.5.6 Particulate Matter (PM)

2.5.6.1 Definisi dan Karakteristik *Particulate Matter* (PM)

Particulate matter (PM) adalah campuran partikel padat dan cair yang ditemukan di udara. Komponen utamanya termasuk mineral debu, air, logam, sulfat, nitrat, amonia, sodium klorida, karbon, dan Hidrokarbon Polisiklik Aromatik (PAH) (WHO, 2016). PM_{2,5} memiliki diameter aerodinamis lebih kecil dari 2,5 µm dan merupakan komponen utama polutan atmosfer (Eskawiyanti, 2018).

2.5.6.2 Sumber Utama *Particulate Matter* (PM)

Particulate matter (PM) yang juga dikenal sebagai polusi partikel, adalah campuran kompleks partikel padat kecil dan tetesan cairan yang ada di udara. Polusi partikel berasal dari sumber primer dan sekunder. Sumber primer berasal dari pembakaran hutan, pembakaran kayu, lubang kerikil, aktivitas pertanian, lokasi konstruksi, dan jalan berdebu. Sumber sekunder berasal dari reaksi kimia yang kompleks yang terjadi di atmosfer (*Utah Department of Environmental Quality*, 2024).

Sumber buatan manusia yang paling umum dari polutan PM_{2,5} adalah proses industri, kompor, perapian, pembakaran kayu, kembang api, dan merokok. Sumber polutan alami termasuk debu, jelaga, kotoran, spora tanaman, serbuk sari, dan asap dari kebakaran hutan. Sumber dominan kualitas udara PM_{2,5} dapat berubah sesuai dengan musim, cuaca, iklim, tingkat urbanisasi, negara, dan wilayah (IQAir, 2022).

Sebagian besar sumber PM₁₀ berasal dari antropogenik atau buatan manusia, tetapi ada juga yang berasal dari sumber alami. PM₁₀ memiliki komponen primer yang dipancarkan langsung, dan sekunder yang terbentuk di atmosfer (Liu *et al.*, 2020). Konsentrasi PM₁₀ di atmosfer dipengaruhi oleh sumber lokal, penyebaran, transportasi, pola penggunaan lahan, topografi, dan kondisi meteorologi (Mukherjee dan Agrawal, 2017).

2.5.6.3 Dampak *Particulate Matter* (PM)

Partikel yang dihirup berukuran di bawah 2,5 µm (PM_{2,5}) tidak dapat disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan dapat menembus ke dalam paru-paru tanpa terhalang oleh rambut di dalam hidung. Partikel berukuran di antara 2,5 µm dan 10 µm dapat menembus ke dalam paru-paru tanpa terhalang oleh rambut hidung (Rixson *et al.*, 2015).

Efek jangka panjang akibat paparan PM₁₀ dapat muncul setelah beberapa hari, minggu, bulan, bahkan tahun setelah kontak. Banyak penelitian menemukan bahwa PM₁₀ berkorelasi dengan berbagai masalah kesehatan, termasuk penurunan fungsi paru, perburukan penyakit paru dan jantung, gangguan sistem syaraf dan pembuluh darah. Efek kronis yang paling berbahaya dari PM₁₀ adalah kematian dini pada penderita penyakit paru dan jantung (Wulandari *et al.*, 2016).

New South Wales Health (2020) menganggap bahwa paparan jangka pendek dan jangka panjang memiliki mekanisme pengaruh yang berbeda. Paparan jangka pendek tampaknya memperburuk penyakit sebelumnya, sedangkan paparan jangka panjang kemungkinan besar menyebabkan penyakit dan meningkatkan laju perkembangan.

Paparan jangka pendek, yaitu hanya beberapa jam atau hari, dapat menyebabkan:

- 1) Mata, hidung, dan tenggorokan teriritasi

- 2) Memburuknya asma dan penyakit paru-paru seperti bronkitis kronis (juga disebut penyakit paru obstruktif kronis atau PPOK)
- 3) Serangan jantung dan aritmia (detak jantung tidak teratur) pada orang dengan penyakit jantung
- 4) Peningkatan jumlah pasien rawat inap dan kematian dini akibat penyakit sistem pernapasan dan kardiovaskular

Paparan jangka panjang, yaitu butuh bertahun-tahun, dapat menyebabkan:

- 1) Fungsi paru-paru menurun
- 2) Perkembangan penyakit kardiovaskular dan pernapasan
- 3) Peningkatan tingkat perkembangan penyakit
- 4) Pengurangan harapan hidup

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Data dari penelitian ini diambil oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro, yang dilakukan pada bulan Maret dan Agustus pada tahun 2023, lalu pada tahun 2024 dilakukan pada bulan Juni dan November. Sehingga melalui data tersebut, penulis mengumpulkan data sekunder dari penelitian tersebut yang kemudian dianalisis berdasarkan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) untuk mengetahui kualitas udara ambien di Kota Metro. Data tersebut diambil oleh pihak Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro di Kantor DLH Kota Metro, di depan jalan masuk Kantor Walikota Metro, di depan PT. Sarana Cahaya Makmur, di Klinik Santa Maria, dan di Perumahan PNS Kota Metro. Masing-masing data tersebut mewakili keempat sektor yaitu sektor perkantoran, sektor transportasi, sektor industri, dan sektor perumahan.

3.2 Jenis dan Sumber Data

3.2.1 Sumber Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari instansi Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro. Data sekunder yang digunakan dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro terdiri dari publikasi dan laporan harian pada hari serta variabel yang terkait, yakni meliputi:

1. Data kualitas udara ambien berdasarkan lokasi yang mewakili sektor transportasi yang diambil di depan Kantor Walikota Kota Metro, di Jl. AH. Nasution No.3, Imopuro, Kec. Metro Pusat
2. Data kualitas udara ambien berdasarkan lokasi yang mewakili sektor perkantoran yang diambil di depan Kantor Dinas Lingkungan Hidup, di Jl. Tongkol No. 40, Yosorejo, Kec. Metro Timur
3. Data kualitas udara ambien berdasarkan lokasi yang mewakili sektor perumahan yang diambil di Perumahan PNS, Yosomulyo, Kec. Metro Pusat
4. Data kualitas udara ambien berdasarkan lokasi yang mewakili sektor pelayanan kesehatan yang diambil di Klinik Santa Maria, Imopuro, Kec. Metro Pusat
5. Data kualitas udara ambien berdasarkan lokasi yang mewakili sektor perindustrian yang diambil di Pabrik Spandeks PT. Sarana Cahaya Makmur di Jl. Jendral Sudirman No. 260, Ganjarsari, Kec. Metro Barat

3.3 Analisis Data

Untuk menggantikan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 45 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara, KLHK mengeluarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Pada peraturan pengganti ini, perhitungan ISPU dilakukan pada 7 (tujuh) parameter, yaitu PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , dan HC. 2 (dua) parameter, HC dan $PM_{2.5}$ ditambahkan dari peraturan sebelumnya karena besarnya risiko HC dan $PM_{2.5}$ terhadap kesehatan manusia (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020).

Selain penambahan parameter, terdapat peningkatan frekuensi penyampaian informasi ISPU kepada publik. Hasil perhitungan ISPU

parameter PM_{2.5} disampaikan kepada publik tiap jam selama 24 jam. Sedangkan hasil perhitungan ISPU parameter PM₁₀, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC disampaikan kepada publik paling sedikit 2 (dua) kali dalam 1 (satu) hari pada pukul 09.00 dan 15.00 (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020). Cara perhitungan dan tabel konversi nilai konsentrasi parameter ISPU, adalah sebagai berikut:

Perhitungan ISPU dilakukan berdasarkan nilai ISPU batas atas, ISPU batas bawah, ambien batas atas, ambien batas bawah, dan konsentrasi ambien hasil pengukuran. Persamaan matematika perhitungan ISPU serta konversi nilai konsentrasi parameternya, adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb}(Xx - Xb) + Ib$$

Keterangan:

I = ISPU terhitung

Ia = ISPU batas atas

Ib = ISPU batas bawah

Xa = konsentrasi ambien batas atas (µg/m³)

Xb = konsentrasi ambien batas bawah (µg/m³)

Xx = konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m³)

Tabel 5. Konversi nilai konsentrasi parameter Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

ISPU	24 Jam PM ₁₀ (µg/m ³)	24 Jam PM _{2.5} (µg/m ³)	24 Jam SO ₂ (µg/m ³)	24 Jam CO (µg/m ³)	24 Jam O ₃ (µg/m ³)	24 Jam NO ₂ (µg/m ³)	24 Jam HC (µg/m ³)
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat ($PM_{2.5}$) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM_{10}), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Setelah memperoleh nilai ISPU (I) dari hasil perhitungan, nilai tersebut akan dikelompokkan ke dalam beberapa rentang kategori seperti tabel:

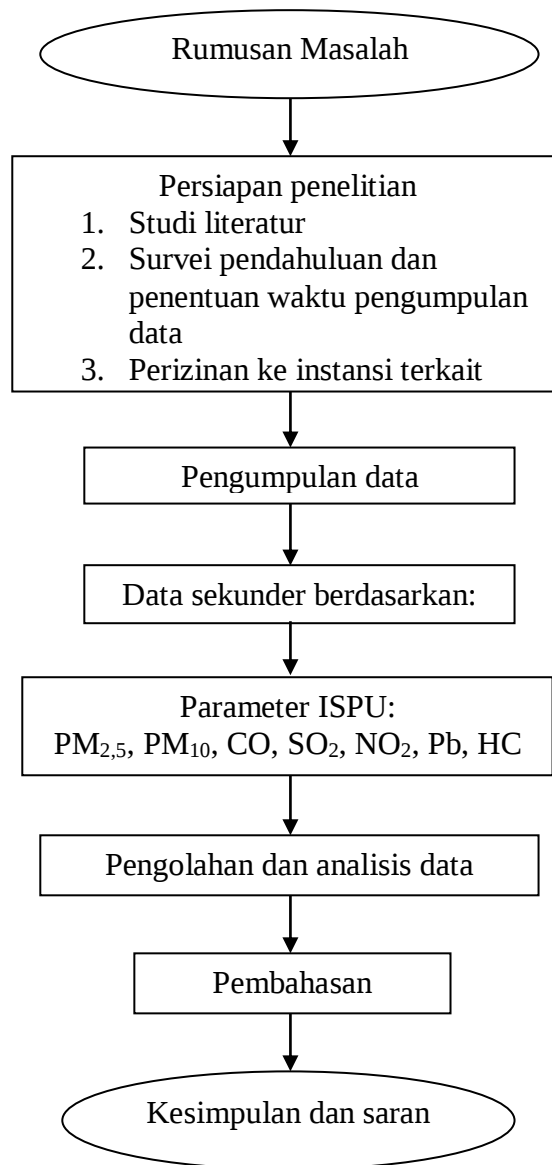
Tabel 6. Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Rentang	Kategori	Penjelasan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan
101-200	Tidak sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan
201-300	Sangat tidak sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan risiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat

(Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020)

3.4 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan teori yang telah dikemukakan, maka skema diagram alir penelitian ini, dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kualitas udara ambien dan kondisi vegetasi pada tahun 2023 dan 2024, dapat disimpulkan bahwa kualitas udara di lokasi penelitian secara umum masih berada pada kategori baik hingga sedang berdasarkan nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Variasi nilai ISPU antar lokasi dan periode pengamatan dipengaruhi oleh perbedaan aktivitas antropogenik serta kondisi tutupan vegetasi. Lokasi dengan jumlah pohon lebih banyak, diameter batang besar, dan tajuk yang berkembang menunjukkan kecenderungan nilai ISPU yang lebih rendah, khususnya pada parameter partikulat. Hal ini menunjukkan bahwa vegetasi berperan penting dalam mendukung perbaikan kualitas udara melalui fungsi ekologisnya sebagai penyerap dan penahan polutan udara.

5.2 Saran

Perlu dilakukan upaya peningkatan dan pengelolaan vegetasi perkotaan secara berkelanjutan, terutama pada lokasi dengan tutupan vegetasi rendah, melalui penambahan pohon peneduh dan diversifikasi jenis tanaman. Selain itu, pemantauan kualitas udara secara berkala pada periode yang konsisten disarankan agar dapat menggambarkan kondisi pencemaran udara secara lebih representatif serta mendukung perencanaan pengelolaan lingkungan yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2016). A Review On Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Source, Environmental Impact, Effect On Human Health and Remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1) :107-123.
- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments. *Atmospheric Environment*, 162, 71–86.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Alvey, A. A. (2015). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 373–379.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.01.003>
- Barwise, Y., & Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 3(12).
<https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
- Baciak, M., Warmiński, K., dan Bęś, A. (2015). The Effect of Selected Gaseous Air Pollutants on Woody Plants. *Forest Research Papers*, 76(4), 401–409.
- Cahyono, T. (2017). *Penyehatan Udara*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., & Zhang, Z. (2020). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matter in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, 198–208.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.006>
- Dinas Komunikasi dan Informatika Provinsi Jawa Barat. (2023). *Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*. Diakses pada 27 Agustus 2024 melalui <https://arccgis.jabarprov.go.id/portal/apps/storymaps/stories/5cbe0dd241cc4630bb2ce92eabf3772c>
- Dwangga, M. (2018). Intensitas Polusi Udara Untuk Penunjang Penataan Ruang Kota Pelabuhan Kabupaten Tanah Laut. *Metode Jurnal Teknik Industri*, 4(2), 69-77.

- Eskawiyanti, A. P. (2018). *Paparan Particulate Matter 1 (PM1) dan Particulate Matter 2,5 (PM2,5) pada Trotoar*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- European Environment Agency. 2022. *Impact of Air Pollution on Ecosystems*. Diakses pada 30 Juli 2024 melalui <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/impacts-of-air-pollution-on-ecosystems>
- Giovany, A. A., Sutadiwiria, Y., Syavitri, D., Cahyaningratri, P. R., dan Rendy. (2022). Studi Karakteristik Senyawa Hidrokarbon dengan Metode Ekstraksi Geokimia Biomarker pada Cekungan Jawa Barat Utara. *Jurnal Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi.*, 56(3), 181-123.
- Han, Y., Lee, J., Haiping, G., Kim, K.-H., Wanxi, P., Bhardwaj, N., dan Brown, R. J. (2022). Plant-based Remediation of Air Pollution: A Review. *Journal of Environmental Management*, 301, 113860.
- Hariyadi, D., Kusumaningrum, E., Sumarsono, Fazlurrahman, & Setyadi, B. (2023). Analisis Kualitas Udara Berbasis Dashboard Menggunakan ELK Stack. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 7(1), 46-51.
- Hazsya, M., Nurjazuli, dan Dangiran, H. L. (2018). Hubungan Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dan Faktor-Faktor Resiko Dengan Konsentrasi COhb Dalam Darah pada Masyarakat Beresiko di Sepanjang Jalan Setiabudi Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 241-250.
- Hidayahsti, K., Rahardjo, M., & Setiani., O. (2016). Faktor-Faktor Risiko Yang Berhubungan Dengan Konsentrasi COhb dalam Darah Pada Petugas Parkir Mall Di Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(4), 966-973.
- Hazsya, M., Nurjazuli, & Dangiran, H. L. (2018). Hubungan Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dan Faktor-Faktor Resiko Dengan Konsentrasi COhb Dalam Darah pada Masyarakat Beresiko di Sepanjang Jalan Setiabudi Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 241-250.
- Hidayahsti, K., Rahardjo, M., & Setiani., O. (2016). Faktor-Faktor Risiko Yang Berhubungan Dengan Konsentrasi COhb dalam Darah Pada Petugas Parkir Mall Di Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(4), 966-973.
- Ibrahim, Z., Boekoesoe, L., & Lalu, N. A. (2022). Identifikasi Kualitas Udara Ambien Disekitar Wilayah Kota Gorontalo. *Public Health and Surveillance Review*, 1(1), 25-33.
- IQAir . (2015). *Nitrogen Dioxide*. IQAir. Diakses pada 27 juli 2024 melalui <https://www.iqair.com/id/newsroom/nitrogen-dioxide>
- IQAir. (2022). *PM2,5*. IQAir, Diakses pada 19 Agustus 2024 melalui <https://www.iqair.com/id/newsroom/pm2-5>

- Isramadhanti, H. W. (2021). *Gambaran Kualitas Udara di Kota Yogyakarta Berdasarkan Pemantauan Air Quality Monitoring System Tahun 2019-2020*. Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.
- Jayawardana, H. B., Sarie, F., Agil, M., & Saputra, S. (2023). *Ilmu Lingkungan*. Malang: Madza Media.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., & Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, 75, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
- Koman, P. D., & Mancuso, P. (2017). Ozone Exposure, Cardiopulmonary Health, and Obesity: A Substantive Review. *Chemical Research in Toxicology*, 30(7) : 1384–1395.
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y., Guo, M., Liu, Y., Gali, N. K., & Lan, K. (2020). Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*, 582(7813), 557–560.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., & Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, 75, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Matthew, T. (2022). A Study on Hydrocarbons. *International Journal of Chemical Sciences*, 20(1) : 1-2.
- Ministry for the Environment New Zealand. (2021). *Nitrogen Dioxide*. Diakses pada 27 Juli 2024 melalui [tps://environment.govt.nz/facts-and-science/air/air-pollutants/nitrogen-dioxide-effects-health/](https://environment.govt.nz/facts-and-science/air/air-pollutants/nitrogen-dioxide-effects-health/)

- Mukherjee, A., dan Agrawal, M. (2017). A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 244, 5–51.
- Muziansyah, D., Sulistyorini, R., & Sebayang, S. (2015). Model Emisi Gas Buangan Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung). *JRSDD: Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(1), 57-70.
- New South Wales Health . (2020). *Particulate matter (PM10 and PM2.5)*. New South Wales Health Diakses pada 19 Agustus 2024 melalui <https://www.health.nsw.gov.au/environment/air/Pages/particulate-matter.aspx>
- Nuvolone, D., Petri, D., & Voller, F.(2018). The Effects of Ozone on Human Health. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(9), 8074–8088.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.0>
- Pemerintah Kota Metro.(2023). *Profil Kesehatan Kota Metro 2023*.Metro: Dinas Kesehatan Kota Metro.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/menlhk/setjen/kum.1/7/2020 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Portal Pemerintah Kota Metro. Metro Selayang Pandang. (2024). Metro Kota. Diakses pada 26 Juli 2024 melalui <https://metrokota.go.id/selayang-pandang/>.
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Penyehatan Udara*. Jakarta: BPPSDM Kesehatan RI.
- Pusat Informasi Bioteknologi Nasional. (2024). *Ringkasan Senyawa PubChem untuk CID 3032552, Nitrogen Dioksida*. Diakses pada 27 juli 2024 melalui <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nitrogen-Dioxide>
- Putra, M. R., & Syafei, A. D. (2016). Analisis Dispersi Emisi Hidrokarbon pada Onshore Receiving Facilities menggunakan ALOHA 5.4.5. *Jurnal Teknik*, 5(2), 1-5.
- Putri, A. (2019). Peningkatan Konsentrasi PM_{2,5} Berkorelasi dengan Peningkatan Kasus Asma dan Bronkitis pada Anak-anak di Jakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 10(2), 45-56.

- Queensland Government. (2023). *Sulfur Dioxide*. Queensland Government. Diakses pada 3 juli 2024 melalui <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants/sulfur-dioxide>
- Raharjo, P., Raharjo, M., & Setiani Onny. (2018). Analisis Risiko Kesehatan dan Kadar Timbal dalam Darah: (Studi Pada Masyarakat yang Mengonsumsi Tiram Bakau (*Crassostrea gigas*) di Sungai Tapak Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 9-15.
- Rahmatika, N. I. (2017). *Analisis Risiko Paparan Nitrogen Dioksida (NO₂) Dari Polutan Ambien Terhadap Kesehatan Masyarakat di Kabupaten Magelang Tahun 2015*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Razali, A., Maksum, H., & Daswarman. (2014). Perbandingan Gas Karbon Monoksida (CO) Dan Hidrokarbon (HC) Yang Menggunakan Catalyst Kuningan Dengan Catalyst Tembaga Pada Motor Empat Langkah. *Automotive Engineering Education Journals*, 3(4), 1-9.
- Rengga, W. D., & Putri, D. A. (2021). *Kimia Organik I: Gugus Fungsi dalam Monomer*. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI).
- Rixson, L., Riani, E., & Santoso, M. (2015). Karakterisasi Paparan Long Term Particulate Matter di Puspiptek Serpong-Kota Tangerang Selatan. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 11(1), 51-64.
- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., & Salindra, B. P. (2022). Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265.
- Rohmawati, N., & Adriyani, R. (2018). Perbedaan Kadar PM_{2,5} di Tempat Pembakaran Batu Bata Dan Kejadian Sindroma Mata Kering. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health.*, 7(1), 112-121.
- Saleh, R., Susilawaty, A., & Ibrahim, I. (2023). Analysis of the Level of CO Parameter Air Pollution on the Road of Makassar City. *Journal of Public Health Science and Religion*, 1(1), 1-7.
- Sasmita, A., Yohanes, & Reza, M. (2022). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Oli Bekas dan Biosolar Terhadap Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel Modifikasi. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, 2(2), 78-84.
- Sheng, Q., & Zhu, Z. (2019). Effects Of Nitrogen Dioxide on Biochemical Responses in 41 Garden Plants. *Plants* 8(2), 1-15.
- Siburian, S. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta: Penerbit Kreasi Cendekia Pustaka.

- Sulistiani, E. (2024). Fenomena Pencemaran Lingkungan: Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan. *Jurnal Manajemen dan Bisnis Ekonomi*, 2(2), 301-305.
- Supriyadi, B. (2020). Paparan Jangka Panjang terhadap NO₂ dan PM_{2,5} Berhubungan dengan Peningkatan Risiko Penyakit Jantung Iskemik dan Serangan Jantung pada Populasi Dewasa di Surabaya. *Jurnal Penelitian Kesehatan Masyarakat*, 15(1), 112-125.
- Takuloe, S. R., Jusuf, H., Nakoe, M. R., & Arsad, N. (2023). Risiko Paparan Sulfur Dioksida (SO₂) Pada Petugas Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU). *Jambura Journal of Epidemiology*, 2(2), 50-58.
- Tan, Z. (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases*. Singapore: Springer.
- Umah R. (2024). Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis, dan Akuntansi*, 3(3), 103-112.
- United States Environmental Protection Agency. (2016). *Ozone Volatile Organic Compound (VOC) Exemptions Rules*. Diakses pada 28 Juli 2024 melalui https://19january2017snapshot.epa.gov/ozone-pollution/ozone-volatile-organic-compound-voc-exemptions-rules_.html
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *Ecosystem Effects of Ozone Pollution*. Diakses pada 28 Juli 2024 melalui <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution>
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *Ecosystem Effects Of Ozone Pollution*. Diakses pada 30 Juli 2024 melalui <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution>.
- United States Environmental Protection Agency. (2024). *Health Effects Of Ozone in the General Population*. Diakses pada 28 Juli 2024 melalui <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/health-effects-ozone-general-population>
- Utah Department of Environmental Quality. (2024). *Particulate Matter Overview*. Diakses pada 19 Agustus 2024 melalui <https://deq.utah.gov/air-quality/particulate-matter-overview#:~:text=The%20revised%202012%20PM%20standard,m3%20and%20150%CE%BCg%2Fm3%20respectively>
- Wardoyo, A. Y. (2016). *Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor dan Dampak Kesehatan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.

- Wisconsin Department of Health Service. 2(022). *Sulfur Dioxide*. Diakses pada 3 Juli 2024 melalui <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/sulfurdioxide.htm>
- World Health Organization. (2016). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Diakses pada 16 Agustus 2024 melalui <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- World Health Organization. (2021). *Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution*. Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants - Report of the Working Group on Polycyclic Aromatic. Diakses pada 16 Agustus 2024 melalui <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289056533>
- World Health Organization. (2021). *WHO Air Quality Guidelines*. WHO. Diakses pada 28 Juli 2024 melalui [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US#:~:text=The%20recommended%20guideline%20levels%20for%20the%20other,\(O3\)%20concentrations%20of%20100%20%C2%B5g/m3%208%2Dhour%20mean](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US#:~:text=The%20recommended%20guideline%20levels%20for%20the%20other,(O3)%20concentrations%20of%20100%20%C2%B5g/m3%208%2Dhour%20mean)
- World Health Organization. (2018). *Ambient (Outdoor) Air Pollution*. WHO. Diakses pada 26 Juli 2024. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Wuebbles, D. (2024). *Ozone layer*. Encyclopedia Britannica. Diakses pada 28 Juli 2024 melalui <https://www.britannica.com/science/ozone-layer>
- Wulandari, A., Darundiati, Y. H., & Raharjo, M. (2016). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Particulate Matter (Pm₁₀) pada Pedagang Kaki Lima Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus : Jalan Kaligawe Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro*, 4(3), 677-691.
- Yasir, M. (2021). Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan. *Jurnal OSF*, 1-10.
- Yuda, F. R., Gusdini, N., & Pratiwi, R. (2020). Pola Sebaran Gas Karbon Monoksida (CO) Polutan di Kecamatan Bogor Tengah. *GEOPLANART*, 3(1), 15-29.