

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Udara

Udara merupakan lapisan campuran gas yang menyelimuti bumi dan memegang peranan penting bagi kehidupan. Secara spesifik, komposisi udara di atmosfer didominasi oleh gas Nitrogen sebesar 78% dan Oksigen sebesar 21,94%, sedangkan sisanya terdiri dari Argon, Karbon dioksida, serta gas-gas mulia lainnya (Ibrahim *dkk.*, 2022). Keberadaan oksigen dalam komposisi udara tersebut sangat diperlukan oleh makhluk hidup, terutama manusia agar dapat terus bernapas (Salsabila, Yushardi dan Sudarti, 2023). Udara yang sehari-hari dihirup oleh manusia adalah udara ambien, yaitu udara bebas yang berada di permukaan bumi (lapisan troposfer) (Pemerintah Republik Indonesia, 2021).

2. Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Proses pencemaran udara bermula dari adanya emisi. Emisi didefinisikan sebagai zat, energi, dan/atau komponen lain yang dimasukkan ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak

mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (Pemerintah Republik Indonesia, 2021).

Emisi yang sudah keluar dari sumbernya akan terjadi penyebaran di atmosfer. Zat pencemar akan terbawa oleh pergerakan angin dan menyebar ke lingkungan sekitar. Tinggi rendahnya konsentrasi polutan di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh faktor meteorologi (seperti angin dan suhu) serta kondisi topografi, yang menentukan apakah polutan akan terurai atau justru terakumulasi di satu titik (Arini *dkk.*, 2023).

3. Sumber Pencemar Udara

Pencemar Udara diartikan sebagai zat, energi, dan/atau komponen lainnya yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Sumber pencemar udara menurut Dessy Arna *dkk.* (2025) dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu :

a. Sumber Alami

Sumber alami mencakup berbagai fenomena lingkungan yang secara alami melepaskan zat pencemar ke atmosfer. Pencemar udara dari sumber alami antara lain:

1) Letusan Gunung Berapi

Gunung berapi dapat menjadi pencemar udara, ketika meletus gunung dapat menyebarkan gas sulfur dioksida (SO_2) dan partikel abu vulkanik ke atmosfer.

2) Kebakaran Hutan

Hutan yang terbakar dapat menghasilkan polusi udara seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan partikel halus (PM_{2,5}), hutan yang terbakar sering kali disebabkan perubahan iklim dan pengaruh aktivitas manusia.

b. Sumber Buatan (Antropogenik)

Sumber buatan atau antropogenik merupakan faktor yang paling dominan dalam meningkatkan pencemaran udara saat ini. Sumber pencemar ini bisa berasal dari :

1) Pembakaran bahan bakar fosil

Pembakaran bahan bakar fosil pada sektor transportasi dapat menghasilkan polusi udara berupa polutan seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x) yang berkontribusi besar terhadap pencemaran udara ambien.

2) Aktivitas industri

Aktivitas industri juga melepaskan berbagai zat berbahaya, termasuk sulfur dioksida (SO₂), logam berat, serta senyawa organik volatil (VOC). Praktik pembukaan lahan dan pembakaran sampah secara terbuka melepaskan polutan primer dan sekunder yang memperburuk kualitas udara dan berdampak pada kesehatan masyarakat serta lingkungan.

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh sumber buatan banyak ditemukan di daerah perkotaan, sumber dari polusi udara paling banyak

di perkotaan adalah dengan jenis sumber bergerak (Susilastri, 2018). Sumber dari polusi sendiri ditinjau dari pergerakannya dapat dibedakan menjadi 2 yaitu sumber bergerak dan tidak bergerak :

1) Sumber bergerak (*mobile sources*)

Sumber bergerak adalah sumber emisi dari segala jenis kendaraan atau mesin yang beroperasi menggunakan proses pembakaran bahan bakar fosil. Kategori ini mencakup emisi yang dihasilkan oleh berbagai moda transportasi seperti kendaraan bermotor, pesawat udara, dan kereta api, serta peralatan mekanis lainnya yang memiliki kemampuan mobilitas atau dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain (Relita Maizara, Zakianis dan Chairunnisa Athena Pelawi, 2024). Kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang, gas ini muncul karena proses pembakaran yang tidak sempurna dan menghasilkan emisi senyawa hidrokarbon (HC), timah hitam (debu timbal) (Pb), emisi senyawa NO_x , oksida belerang (SO_2), emisi karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2) yang memiliki dampak merusak bagi lingkungan dan kehidupan (Kristian, Sunawar dan Yuninda, 2024).

2) Sumber tidak bergerak (*stationary sources*)

Sumber tidak bergerak adalah sumber emisi yang berada pada posisi menetap atau tidak berpindah tempat, seperti aktivitas industri, pembakaran sampah skala permukiman, maupun kegiatan pertambangan. Karakteristik utama dari sumber jenis ini adalah

emisinya yang terpusat pada satu lokasi, sehingga dampak penurunan kualitas udara yang ditimbulkan cenderung dirasakan secara langsung oleh masyarakat yang bermukim di sekitar area sumber tersebut (Muzakki dan Amalia, 2023).

4. Kategori Bahan Pencemar Udara

Pencemar udara dikategorikan menjadi dua kelompok utama, yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Hal ini menjadi dasar penting dalam mengidentifikasi sumber polutan, mekanisme interaksinya di atmosfer, serta dampak yang ditimbulkan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Selain itu, pemahaman mengenai karakteristik fisik dan kimiawi polutan juga sangat diperlukan, mengingat sifat-sifat tersebut bervariasi bergantung pada jenis senyawa, sumber emisi, dan tingkat reaktivitasnya di udara (Rofida, 2025).

a. Pencemar Udara Primer

Pencemar udara primer merupakan zat pencemar yang dilepaskan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida (CO) termasuk dalam kategori pencemar primer karena gas ini terbentuk secara langsung dari proses pembakaran (Sompotan dan Sinaga, 2022)

b. Pencemar Udara Sekunder

Pencemar udara sekunder merupakan jenis polutan yang terbentuk melalui proses reaksi kimiawi antara berbagai zat pencemar primer di atmosfer. Salah satu contoh nyata dari fenomena ini adalah

pembentukan gas ozon yang terdapat dalam kabut asap fotokimia (*photochemical smog*) (Megalina, 2015).

5. Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) merupakan gas yang tidak memiliki warna dan tidak berbau, yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna. Gas karbon monoksida susah untuk dikenali dengan indra manusia sehingga dijuluki sebagai *silent killer* (Rizaldi dkk., 2022). Karbon monoksida masuk dalam tubuh manusia terjadi ketika gas tersebut terhirup melalui saluran pernapasan dan masuk ke sirkulasi darah. Di dalam darah, CO akan berikatan dengan hemoglobin (Hb) untuk membentuk senyawa Karboksihemoglobin (COHb). Pembentukan COHb ini terjadi karena gas CO memiliki afinitas (daya ikat) terhadap hemoglobin yang jauh lebih kuat, yaitu sekitar 240 kali lipat dibandingkan daya ikat oksigen terhadap hemoglobin (Salma dan Ernyasih, 2025).

Pembentukan senyawa Karboksihemoglobin merupakan bahaya utama dari paparan gas karbon monoksida, dominasi ikatan CO akan memicu kondisi anoxemia atau hipoksia jaringan yang secara drastis menghambat suplai oksigen ke organ vital, terutama otak dan jantung. Dampak klinis yang ditimbulkan bervariasi dari gejala awal berupa pusing, mata berair, dan sesak napas, yang dapat berkembang menjadi mual, gangguan penglihatan, hingga kondisi fatal berupa hilangnya kesadaran (pingsan), koma, dan kematian pada paparan akut. Selain efek

akut tersebut, akumulasi COHb dalam jangka panjang juga memperburuk risiko penyakit degeneratif seperti hipertensi, stroke iskemik, dan penyakit jantung koroner (Hazsya, Nurjazuli dan Lanang, 2018).

6. Faktor Yang Memengaruhi Konsentrasi Karbon Monoksida

Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di suatu tempat dapat disebabkan oleh banyak faktor. Secara umum, konsentrasi pencemaran udara di kota besar didominasi oleh faktor lalu lintas, yaitu emisi kendaraan bermotor, namun faktor meteorologi juga memiliki pengaruh dalam penyebarannya (Qonita, Santikayasa dan Turyanti, 2025).

a. Faktor Lalu-Lintas

Lalu lintas merupakan faktor dominan yang memengaruhi kualitas udara perkotaan, di mana kendaraan bermotor menyumbang sekitar 80,22% hingga 92,00% dari total konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di udara ambien. Sebagai polutan terbesar yang dihasilkan aktivitas transportasi, keberadaan gas CO tidak bersifat statis melainkan berfluktuasi mengikuti dinamika jalan raya. Tinggi rendahnya konsentrasi pencemar ini secara langsung ditentukan oleh tiga aspek utama, yaitu jumlah kendaraan yang melintas, kondisi kepadatan arus lalu lintas, serta variasi waktu antara hari kerja dan hari libur (Sengkey, Jansen dan Wallah, 2011).

1) Jumlah Kendaraan

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (2009), kendaraan bermotor adalah setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik berupa mesin dan tidak berjalan di atas rel. Dalam Pedoman Manual Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023) volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melalui suatu titik pada suatu segmen jalan per satuan waktu, yang dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam. Klasifikasi kendaraan bermotor secara umum dalam kategori berdasarkan ukuran dan pengaruhnya terhadap arus lalu-lintas terbagi menjadi sepeda motor (SM), mobil penumpang (MP), kendaraan sedang (KS), bus besar (BB), dan truk besar (TB). Namun, khusus untuk analisis simpang di wilayah perkotaan, kendaraan berat seperti bus dan truk besar disatukan ke dalam kategori Kendaraan Sedang (KS) karena karakteristik ruang hentinya yang serupa. Pengklasifikasian kendaraan bermotor di wilayah perkotaan yaitu:

- a) Sepeda Motor (SM): Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang $< 2,5$ m seperti sepeda motor, kendaraan bermotor roda 3

- b) Mobil Penumpang (MP): mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, mobil penumpang 7 (tujuh) tempat duduk, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang $\leq 5,5$ m seperti Sedan, jeep, minibus, mikrobus, *pickup*, truk kecil
- c) Kendaraan Sedang (KS): Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang $\leq 9,0$ m seperti Bus tanggung, bus metromini, truk sedang

Setiap jenis kendaraan perlu dikonversikan ke dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) menggunakan nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP), nilai EMP ini berfungsi menyetarakan dampak setiap kendaraan. Nilai EMP yang digunakan yaitu:

Tabel 2. Nilai Ekuivalensi Mobil Penumpang

Tipe Kendaraan	Ekuivalensi Mobil Penumpang (EMP)	
	Pendekatan Terlindung	Pendekatan Terlawan
MP	1,00	1,00
KS	1,30	1,30
KM	0,15	0,40

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023

2) Kondisi Lalu-Lintas

Kondisi lalu-lintas seperti macet dan aktivitas berhenti-jalan di persimpangan menyebabkan emisi Karbon Monoksida (CO) meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan jalan pada arus lancar (Hazsya, Nurjazuli dan Lanang, 2018). Selain itu menurut Dhaifullah dan Purnomo (2025) bahwa kondisi volume

lalu-lintas memiliki tingkat emisi CO yang lebih tinggi karena sering terjadi penumpukan kendaraan atau macet.

3) Variasi Waktu (Hari Kerja dan Hari Libur)

Variasi waktu merupakan indikator penting dalam pemantauan kualitas udara karena merepresentasikan pola aktivitas antropogenik masyarakat. Konsentrasi CO berfluktuasi mengikuti pola aktivitas masyarakat yang berbeda antara hari kerja dan hari libur. Pada hari kerja (*weekdays*), lonjakan konsentrasi polutan biasanya terjadi pada jam-jam sibuk (*peak hours*), seperti pagi hari saat keberangkatan sekolah dan kantor, siang hari yang seringkali dipicu oleh akumulasi aktivitas sekunder, seperti jam pulang sekolah dan waktu istirahat perkantoran yang menyebabkan volume kendaraan tetap tinggi serta sore hari saat jam pulang kerja. Sebaliknya, pada hari libur (*weekend*), konsentrasi CO cenderung lebih rendah atau memiliki pola puncak yang berbeda karena tidak adanya aktivitas perkantoran dan sekolah yang dominan (Sengkey, Jansen dan Wallah, 2011).

4) Faktor Meteorologi

Konsentrasi Pencemar Udara pada suatu tempat seperti konsentrasi CO dapat dipengaruhi oleh faktor meteorologi yaitu Kecepatan angin, suhu dan kelembaban (Anshari dan Santoso, 2017).

a) Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan laju pergerakan massa udara pada arah horizontal. Besar kecilnya kecepatan ini bergantung pada beberapa faktor lingkungan, meliputi tekanan udara, ketinggian lokasi (elevasi), serta karakteristik topografi wilayah setempat. Dalam pengukurannya, data kecepatan angin umumnya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s), kilometer per jam (km/jam), atau knot (Suwarti, Mulyono dan Prasetyo, 2017). Perubahan konsentrasi pencemar udara seperti karbon monoksida (CO) dapat dipengaruhi oleh faktor kecepatan angin, saat kecepatan angin meningkat konsentrasi karbon monoksida cenderung menurun karena terjadinya pengenceran dan dispersi bahan pencemar (Damara, Wardhana dan Sutrisno, 2017).

b) Suhu

Suhu adalah besaran fisika yang menunjukkan tingkat panas atau dinginnya udara pada suatu tempat. Pada meteorologi dan lingkungan, suhu udara umumnya dinyatakan dalam satuan derajat celsius ($^{\circ}\text{C}$). Besaran suhu dipengaruhi oleh berbagai faktor atmosfer, seperti intensitas radiasi matahari, ketinggian wilayah, kelembaban, pergerakan angin, serta keberadaan awan (Emilia Rahma *dkk.*, 2023). Suhu udara

memengaruhi penyebaran ataupun konsentrasi pencemar udara seperti karbon monoksida (CO). Pada suhu tinggi udara akan mengembang dan menjadi kurang rapat, sehingga proses pencampuran udara meningkat dan bahan pencemar udara lebih mudah tersebar menyebabkan konsentrasi CO cenderung menurun. Sebaliknya, pada suhu rendah atmosfer lebih stabil dan pergerakan udara terbatas sehingga CO lebih mudah terakumulasi di permukaan. Namun hubungan ini tidak selalu konsisten karena dipengaruhi sumber emisi, terutama aktivitas kendaraan bermotor (Andriani, Nurhasanah dan Adriat, 2019).

c) Kelembaban

Kelembaban adalah besaran yang menunjukkan jumlah uap air di udara pada suatu tempat dan waktu tertentu. kelembaban umumnya dinyatakan dalam bentuk kelembaban relatif (*Relative Humidity*, RH), yaitu persentase perbandingan antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang mampu ditampung udara pada suhu tertentu (Makruf dkk., 2025). Pada kondisi kelembaban rendah, udara cenderung lebih kering dan stabil sehingga CO lebih mudah bertahan dan terakumulasi di permukaan. Hal ini menyebabkan kadar konsentrasi CO meningkat saat kelembaban berada pada nilai terendah.

Sebaliknya, ketika kelembaban meningkat, kandungan uap air di udara membantu mengurangi konsentrasi CO melalui proses pelarutan dan pencampuran udara yang lebih baik. Namun hubungan kelembaban dan konsentrasi CO tidak signifikan, sehingga peningkatan kelembaban tidak berperan besar terhadap perubahan konsentrasi CO karena lebih dipengaruhi dengan faktor emisi seperti volume kendaraan bermotor (Dwi Sukmawati dan Warisaura, 2023)

7. Baku Mutu Kualitas Udara

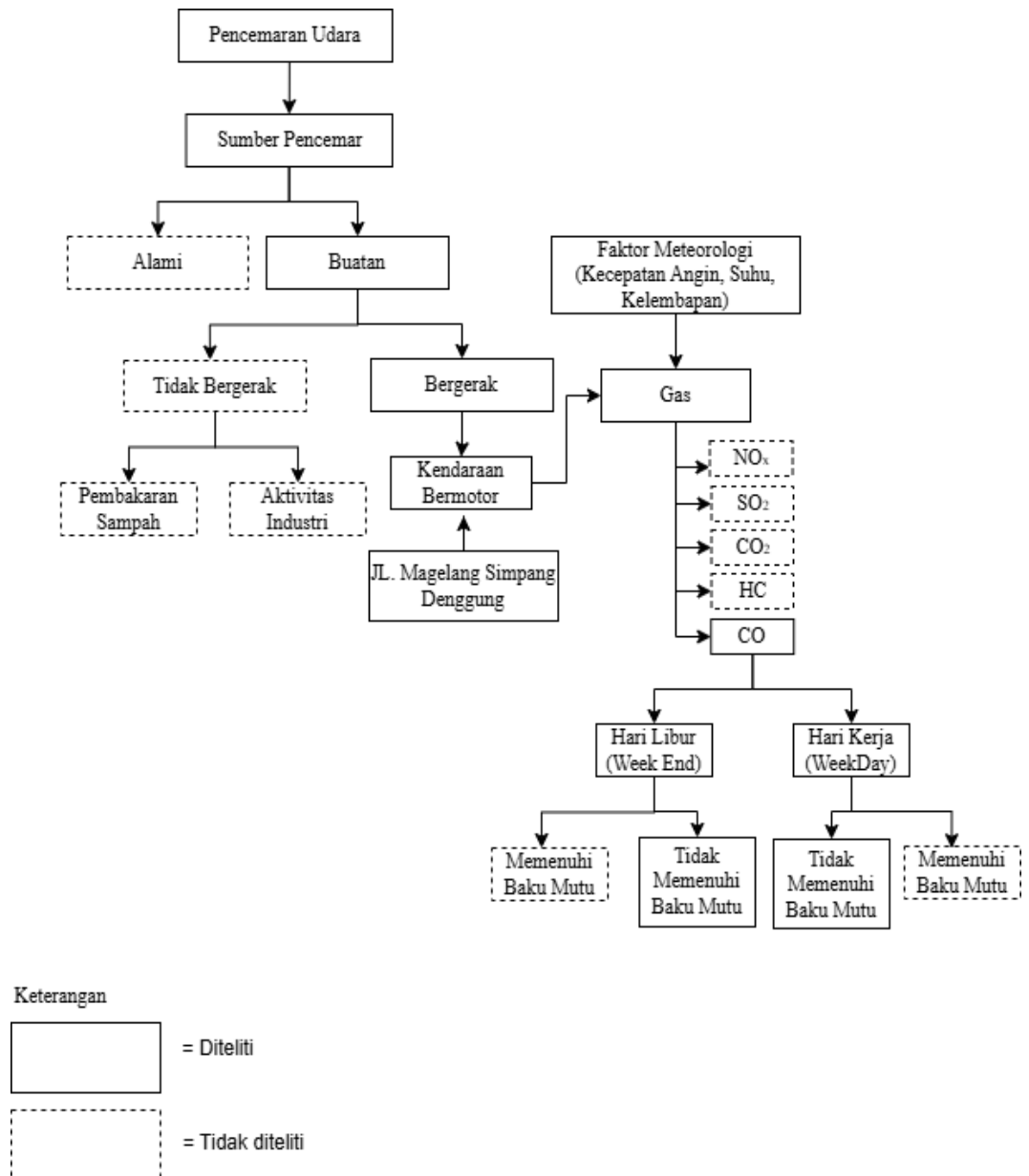
Baku mutu udara ambien merupakan batas maksimal konsentrasi pencemar udara yang diperbolehkan berada di udara lingkungan bebas untuk menjamin kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Pemerintah Indonesia menetapkan standar tersebut melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam regulasi ini, baku mutu udara ambien digunakan sebagai acuan dalam pemantauan, evaluasi kualitas udara, serta dasar pengendalian pencemaran dari berbagai sumber emisi, termasuk transportasi. Untuk polutan Karbon Monoksida (CO), pemerintah menetapkan nilai ambang batas konsentrasi maksimum yang menjadi tolok ukur dalam menilai apakah kualitas udara suatu wilayah masih berada pada standar yang diperbolehkan (Pemerintah Republik Indonesia, 2021).

Tabel 3. Baku Mutu Udara Ambien CO

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	satuan
Karbon Monoksida (CO)	1 Jam	10.000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Karbon Monoksida (CO)	8 Jam	4000	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumber : PP Nomer 22 Tahun 2021 (Lampiran VII)

B. Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka Konsep

C. Pertanyaan Penelitian

1. Berapa konsentrasi Karbon Monoksida (CO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di udara saat hari kerja pada pagi, siang dan sore hari di Persimpangan Area Denggung?
2. Berapa konsentrasi Karbon Monoksida (CO) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di udara saat hari libur pada pagi, siang dan sore hari di Persimpangan Area Denggung?
3. Bagaimana kondisi lingkungan fisik (suhu, kelembaban, kecepatan angin) di lokasi pengukuran?
4. Berapa volume kendaraan bermotor di area pengukuran Karbon Monoksida (CO)?
5. Bagaimana perbedaan konsentrasi Karbon Monoksida (CO) pada hari kerja (*weekday*) dan hari libur (*weekend*)?
6. Bagaimana hubungan antara volume kendaraan dengan Konsentrasi Karbon Monoksida (CO)?
7. Bagaimana kesesuaian Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dengan baku mutu udara ambien nasional (PP No. 22 Tahun 2021)?