

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Karbon Monoksida

##### 1. Pengertian Karbon Monoksida

Karbon Monoksida merupakan senyawa gas yang tidak berwarna, tidak berbau yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan yang mengandung zat arang atau bahan organik, baik dari kegiatan industri ataupun lingkungan. CO terdiri dari satu atom karbon yang berikatan dengan satu atom oksigen.<sup>18</sup>

Gas CO berbentuk cairan pada suhu dibawah  $-129^{\circ}\text{C}$ . Sebagian besar gas CO berasal dari pembakaran bahan bakar fosil berupa gas buang. Paparan CO dikota besar padat lalu lintas kadar CO lebih tinggi dibandingkan di pedesaan. Karena dikota besar banyak menghasilkan gas CO, sehingga kadar CO relatif tinggi.<sup>19</sup>

Karbon monoksida pada kasus kematian bersumber dari kanpot mobil, pemanasan tidak sempurna, kebakaran, pembakaran yang tidak sempurna dari bongkahan arang. Kadar CO di perkotaan bermacam-macam tergantung dari kepadatan kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin pada pagi dan malam hari. Kadar CO dipengaruhi cuaca, topografi jalan dan bangunan disekitar. Karbon monoksida dari udara ambient dalam bentuk kadar karboksi hemoglobin (HbCO) dalam darah yang terbentuk dengan waktu 4-12 jam untuk tercapainya keseimbangan antar kadar CO diudara dan HbCO dalam darah. Kadar CO rata-rata 8 jam pemaparan didalam lingkungan.<sup>20</sup>

Emisi Karbon Monoksida (CO) pada asap kendaraan merupakan sumber utama polusi karbon monoksida di perkotaan. Pembakaran menggunakan bahan bakar dengan menggunakan minyak tanah, kayu, arang, dan gas dapat menghasilkan karbon monoksida. Pada daerah yang macet tingkat pencemarannya cukup tinggi terhadap kasus kematian. Asap rokok juga mengandung CO, tetapi pada seseorang yang tidak

merokok biasanya terbentuk karboksi haemoglobin tidak lebih dari 1 % dan pada perokok yang berat biasanya lebih tinggi yaitu 5 – 10 %.<sup>21</sup>

## 2. Penyebab Gas Karbon Monoksida (CO)

Penyebab utama timbulnya karbon monoksida (CO) pada mobil adalah apabila unsur oksigen (udara) tidak terjadi pembakaran sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar tidak terbakar seluruhnya. Hal ini diakibatkan karena adanya pencampuran antara bahan bakar dengan udara yang kurang sempurna, sehingga menyebabkan campuran sulit terbakar seluruhnya atau waktu pembakaran yang terlalu cepat.<sup>22</sup>

Transportasi menghasilkan CO paling banyak diantara sumber CO lainnya, terutama dari kendaraan-kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin. Sumber CO yang lain adalah pembakaran hasil-hasil pertanian seperti sampah, sisa kayu di hutan, dan sisa tanaman di perkebunan.<sup>23</sup>

## 3. Proses Gas Karbon Monoksida (CO)

Pada proses pembakaran, suhu suatu ruang akan naik secara drastis. Pada proses pembakaran tekanan yang baik adalah dari 40-60 bari dan pada temperatur 2000-2500 °C. Secara kimia proses pembakaran yang terjadi antara bahan bakar yang berupa senyawa karbon dapat dijelaskan sebagai berikut:<sup>24</sup>



Atom karbon (C) yang dioksidasi dengan gas oksigen (O<sub>2</sub>) akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan panas yang dikeluarkan sebagai hasil pembakaran. Gas karbon dioksida yang dihasilkan merupakan bentuk pembakaran yang sempurna dan gas ini pun tidak beracun sehingga aman bagi lingkungan. Sedangkan apabila pembakaran terjadi pada jumlah udara yang tidak cukup, reaksi yang terjadi adalah:



dari reaksi antara 2 karbon yang bereaksi dengan gas oksigen pada pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan gas karbon

monoksida yang akan menjadi polusi bagi lingkungan dan menyebabkan keracunan.<sup>25</sup>

#### 4. Nilai Ambang Batas

Nilai ambang batas adalah konsentrasi dari zat, uap atau gas dalam udara yang dihirup selama 8 jam per hari dan 40 jam selama satu minggu, tanpa menimbulkan gangguan kesehatan.<sup>26</sup> Adapun baku mutu faktor fisika dan faktor kimia di tempat kerja adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Baku mutu faktor fisika dan faktor kimia di tempat kerja

No	Parameter	NAB (ppm)
1.	Karbon dioksida	5000
2.	Karbon disulfida	10
3.	Karbon monoksida	25
4.	Nitrit oksida	25
5.	Gasolin	300

Sumber:<sup>27</sup>

Nilai ambang batas karbon monoksida di tempat kerja adalah 25 ppm. Nilai normal kadar karbon monoksida dalam darah sekitar 0,2%-1,0% dan rata-rata sekitar 5% COHb 5% COHb.

#### 5. Cara Mengukur Gas Karbon Monoksida (CO)

Mengukur kadar karbon monoksida dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

a. Sensor Karbon Monoksida (MQ-7)

Sensor MQ-7 merupakan sensor gas karbon monoksida (CO) yang berfungsi untuk mengetahui konsentrasi gas karbon monoksida (CO). Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cepat. Keluaran yang dihasilkan oleh sensor ini adalah berupa sinyal analog. Sensor ini juga membutuhkan tegangan direct current (DC) sebesar 5V.<sup>61</sup>

b. Sensor gas CO Figaro TGS 5042

Sensor gas CO Figaro TGS 5042 adalah komponen utama yang digunakan dalam rangkaian ini, yang merupakan sebuah sensor kimia atau gas sensor. Sensor ini mempunyai nilai output arus yang akan

berubah jika terkena gas, dan juga dapat mendeteksi kadar gas mulai dari 0 - 1.000 ppm.<sup>62</sup>

c. Perancangan Sensor TGS-2201

perancangan sensor *TGS-2201* digunakan untuk mendeteksi gas HC dan CO. Tegangan ( $V_c$ ) digunakan memberi energi elemen sensor yang mempunyai hambatan ( $R_s$ ) antara dua elektroda sensor dan terhubung secara serial dengan resistor ( $R_L$ ). Sinyal sensor diukur secara tidak langsung melalui perubahan tegangan yang melewati hambatan  $R_L$ .<sup>63</sup>

d. Air Quality meter

merupakan salah satu alat ukur untuk mengukur kualitas udara untuk mendapatkan data-data batas dari kualitas udara dalam ruangan maupun di luar ruangan, selain di gunakan oleh industri-industri juga dapat digunakan oleh kalangan umum.<sup>64</sup>

e. Air Sampler Impinger

Teknik analisa udara dengan impinger pada dasarnya terdiri dari beberapa langkah, yaitu: menarik udara contoh dengan pompa hisap ke dalam tabung impinger yang berisi larutan penangkap, mengukur kontaminan yang tertangkap atau bereaksi dengan larutan penangkap baik dengan metoda konvensional maupun instrumental, menghitung kadar kontaminan dalam udara berdasarkan jumlah udara yang dipompa dan hasil pengukuran.<sup>67</sup>

## 6. Karbon Monoksida Dalam Darah

Karbon monoksida sangat berbahaya jika terhirup manusia, karena gas CO mengikat oksigen dalam darah. Karbon monoksida akan mengalir ke dalam jantung, otak, serta organ vital. Gas CO dan hemoglobin akan membentuk karboksihemoglobin lebih kuat 200 kali daripada ikatan antara oksigen dan hemoglobin.<sup>28</sup> Akibatnya oksigen akan berkurang saat CO berikatan dengan molekul hemoglobin yang mengakibatkan oksigen dalam darah akan berkurang, gas CO akan menghambat oksidasi sitokrom. Hal tersebut dapat menyebabkan metabolisme dalam tubuh

kurang efektif. CO dapat berikatan dengan sel otot jantung dan tulang secara langsung yang menyebabkan keracunan terhadap sel-sel dan gangguan pada sistem saraf.<sup>29</sup>

Bahaya terhadap kesehatan mengakibatkan gangguan pada darah. Batas pemaparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TWV adalah 25 ppm untuk waktu 8 jam. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1500 ppm (0,15%). Paparan dari 1000 ppm (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksi hemoglobin dan dapat berakibat kematian.<sup>30</sup>

Keracunan gas karbon monoksida ditandai dengan gejala sakit kepala, mual, muntah, rasa lelah, berkeringat banyak, pernafasan meningkat, kebingungan, gangguan penglihatan, hipotensi, takikardi, kehilangan kesadaran dan sakit dada mendadak juga dapat muncul pada orang yang menderita nyeri dada. Kematian kemungkinan disebabkan karena sulit bernafas dan edema paru. Kematian akibat keracunan karbon monoksida disebabkan oleh kurangnya oksigen. Sel darah merah mempunyai ikatan lebih kuat dengan karbon monoksida (CO) dari pada oksigen (O<sub>2</sub>). Sehingga jika terdapat CO dan O<sub>2</sub> sel darah merah akan cenderung berikatan dengan CO.<sup>31</sup>

Bila CO terhirup akan berikatan dengan Hemoglobin(Hb) dalam darah membentuk karboksihaemoglobin, Hal ini disebabkan karbon monoksida mengikat 250 kali lebih cepat dari oksigen. Gas CO juga dapat mengganggu fungsi organ seperti otak dan jantung, keracuna pada sel-sel otot jantung, gangguan pada sistem saraf. Gejala-gejala klinis dari saturasi darah oleh karbon monoksida adalah sebagai berikut:<sup>19</sup>

Tabel 2.2 Gejala-gejala klinis oleh karbon monoksida

Konsentrasi CO dalam darah	Gejala
< 20%	Tidak ada gejala
20%	Nafas sesak
30%	Sakit kepala, lesu, mual, nadi dan pernafasan meningkat
30-40%	Sakit kepala berat, lemah, kebingungan, daya ingat menurun
40-50%	Setengah sadar, kebingungan meningkat
60-70%	Tidak sadar, kehilangan daya untuk mengontrol feses dan urin
70-89%	Koma, kematian, nadi tidak teratur

Sumber: <sup>19</sup>

## 7. Dampak Karbon Monoksida

### a. Dampak positif Karbon Monoksida

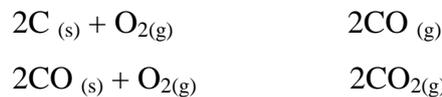
Karbon monoksida dalam sistem kemasan modifikasi udara Amerika Serikat digunakan dalam produk-produk daging segar seperti daging babi dan kerbau. CO bercampur dengan mioglobin yang membentuk karboksimioglobin, sebuah pigmen yang berwarna merah, lebih stabil dari bentuk mioglobin yang dioksigenasikan yaitu oksimioglobin yang dapat dioksidasi menjadi pigmen coklat (metmioglobin). Warna merah yang stabil dapat bertahan lebih lama sehingga memberikan kesegaran. Kadar CO yang digunakan sekitar 0,4% sampai dengan 0,5%.<sup>32</sup>

Karbon monoksida merupakan gas industri utama yang memiliki banyak manfaat dalam bahan kimia pukal (*bulk chemical*). Sejumlah aldehida dengan volume yang tinggi dapat diproduksi dengan reaksi hidroformilasi dari alkena, CO, dan H<sub>2</sub>. Karbon monoksida merupakan komponen dari syngas yang digunakan untuk tenaga industri. Karbon monoksida juga digunakan pada proses pemurnian nikel.<sup>33</sup>

### b. Dampak Negatif Karbon Monoksida

Karbon monoksida yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Gas karbon monoksida dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain dengan angin, sehingga daerah tersebut dapat tercemari gas CO.

Dengan meningkatnya gas CO oksigen di tempat tersebut akan berkurang. Hal ini dapat terjadi akibat pembakaran karbon dalam minyak melalui beberapa tahap.<sup>29</sup>



Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat dari pada reaksi kedua. Oleh karena itu CO merupakan intermediat pada reaksi pembakaran dan merupakan produk akhir jika jumlah oksigen tidak cukup untuk reaksi kedua. CO merupakan produk akhir meskipun jumlah oksigen di dalam campuran pembakaran cukup, tetapi antara minyak bakar dan udara tidak tercampur rata. Pencampuran yang tidak rata antara minyak bakar dengan udara dapat menghasilkan beberapa tempat yang kekurangan oksigen.<sup>18</sup> Semakin rendah perbandingan antara udara dan minyak bakar, semakin tinggi jumlah karbon monoksida yang dihasilkan. Sehingga dari emisi automobil dan industri memberikan kontribusi pada efek rumah kaca dan pemanasan global.<sup>16</sup>

Setiap ruangan memungkinkan CO meningkat adalah berbahaya. Contohnya saluran gas kota di rumah yang selalu tertutup atau sebentar saja terbuka dalam satu hari, aliran atau kebocoran gas itu dapat menyebabkan pencemaran udara di dalam ruangan tersebut. Karbon monoksida terhirup oleh paru-paru, maka oksigen akan berkurang dan CO lebih cepat terikat oleh hemoglobin dibandingkan oksigen dan membentuk senyawa karboksihemoglobin.<sup>30</sup>



Reaksi di atas dapat dibalik dan CO dapat terlepas, sehingga hemoglobin masih mengikat oksigen yang diperlukan. Hb dan CO lebih besar daripada oksigen, sekitar 250 kali lipat. Hal ini akan mengakibatkan CO sulit terlepas dari Hb. Akibatnya fungsi Hb sebagai pembawa oksigen tidak berjalan lancar, dan tubuh kekurangan oksigen yang bisa menyebabkan kematian. Menurut standar kriteria,

yang menyebabkan bahaya dari keadaan HbCO adalah sebagai berikut:<sup>34</sup>

- 1) Jika HbCO terdapat 2% - 5% akan mempengaruhi sistem sarafsentral;
- 2) Jika HbCO terdapat 5% mempengaruhi kesehatan jantung, dan apabila dalam pengukuran tepat
  1. CO 15 ppm selama 8 jam akan menyebabkan terbentuknya 2% HbCO, keadaan ini sudah kurang baik;
  2. CO 30 ppm selama 8 jam akan menyebabkan terbentuknya 4% HbCO, keadaan ini menyebabkan kita prihatin;
  3. CO 40 ppm selama 8 jam menyebabkan terbentuknya 5% HbCO, dan keadaan ini sudah berbahaya.

Bila keracunan CO tidak menyebabkan jaringan tubuh rusak, tetapi terjadinyagangguan terhadap fungsi dan pekerjaan utama hemoglobin. Selain itu karbonmonoksida juga dapat membahayakan bagi wanita hamil karena dapat mengakibatkan anak yang dilahirkandapat mengalami prematur dan beratbadan bayi di bawah normal, karena karbon monoksida dapat mengurangifungsi oksigen dalam jaringan dan plasenta. Hal semacam ini sering terjadipada wanita yang mempunyai kebiasaan merokok. Karbon monoksida juga berdampak bagi makhluk hidup dan lingkungannya.<sup>33</sup>

#### 1) Kesehatan Manusia

Pada beberapa orang yang berbadan gemuk dapat terpapar gas CO sampai kadar HbCO dalam darah 40% dalam waktu singkat. Bila orang menderita sakit jantung dan paru-paru akan lebih parah apabila kadar HbCO dalam darahnya 5-10%. Pengaruh CO yang tinggi terhadap sistem saraf pusat dan sistem kardiovaskular telah banyak diketahui. Contohnya petugas jaga yang terpapar gas CO cukup tinggi harus waspada terhadap pencemaran di lingkungan kerjanya, karena paparan

CO yang cukup tinggi dapat menghambat oksigen dalam darah. Hal ini dapat dilihat pada perokok, karena kemungkinan sudah terbiasa terpajan dengan kadar yang sama dari asap rokok.<sup>28</sup>

Karbon monoksida (CO) jika terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan tubuh, karena gas CO bersifat racun metabolisme dan ikut bereaksi secara metabolisme dengan darah. Seperti oksigen, gas CO bereaksi dengan darah (hemoglobin):<sup>31</sup>

Konsentrasi gas CO sampai dengan 100 ppm masih dianggap aman kalau waktu kontak hanya sebentar. Gas CO sebanyak 30 ppm apabila dihisap manusia selama 8 jam akan menimbulkan rasa pusing dan mual. Pengaruh karbon monoksida (CO) terhadap tubuh manusia tidak sama dengan manusia yang satu dan yang lain, tergantung kekebalan tubuh orang masing-masing.<sup>34</sup>

Karakteristik biologik dari karbon monoksida (CO) adalah kemampuannya untuk berikatan dengan haemoglobin, pigmen sel darah merah yang mengangkut oksigen keseluruhan tubuh. Sifat ini menghasilkan karboksi haemoglobin (HbCO) 200 kali lebih stabil dibandingkan oksihemoglobin (HbO<sub>2</sub>).<sup>28</sup> Penguraian HbCO yang relatif lambat menyebabkan terhambatnya kerja molekul sel pigmen tersebut dalam fungsinya membawa oksigen keseluruhan tubuh. Kondisi seperti ini bisa berakibat serius, bahkan fatal, karena dapat menyebabkan keracunan. Selain itu, metabolisme otot dan fungsi enzim intra-seluler juga dapat terganggu dengan adanya ikatan CO yang stabil tersebut. Dampak keracunan CO sangat berbahaya bagi orang yang menderita gangguan pada otot jantung.<sup>33</sup>

2) Ekosistem dan Lingkungan

Di udara, karbon monoksida (CO) terdapat dalam jumlah yang sangat sedikit, hanya sekitar 0,1 ppm. Di perkotaan dengan lalu lintas yang padat konsentrasi gas CO antara 10-15 ppm. Sudah sejak lama diketahui bahwa gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan pada ekosistem dan lingkungan di sekitar kita.<sup>35</sup>

3) Hewan

Pada hewan kadar karbon monoksida yang berlebihan dapat menyebabkan kematian. Hal ini sama dengan dampak karbon monoksida pada manusia.<sup>33</sup>

4) Tumbuhan

Kadar karbon monoksida pada tumbuhan dengan kadar 100ppm pengaruhnya tidak ada untuk tumbuhan yang tinggi. Kadar karbon monoksida 200ppm dengan waktu kontak 24 jam dapat mempengaruhi kemampuan unsur nitrogen dari atmosfer diubah menjadi amonium (fiksasi nitrogen) oleh bakteri bebas, terutama yang terdapat pada akar tumbuhan.<sup>33</sup>

5) Material

Dampak pencemaran udara oleh karbon monoksida pada material adalah menghitamkan benda-benda pada daerah yang tercemar oleh karbon monoksida.<sup>35</sup>

**Tabel 2.3 Pengaruh Konsentrasi CO di udara dan Pengaruhnya Pada Tubuh**

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Gangguan pada tubuh
3	0,98	Tidak ada
5	1,3	Belum begitu terasa
10	2,1	Sistem saraf sentral
20	3,7	Panca indera
40	6,9	Fungsi jantung
60	10,1	Sakit kepala
80	13,3	Sulit bernafas
100	16,5	Pingsan, kematian

Sumber: <sup>33</sup>

## **8. Pencegahan Keracunan Gas CO**

Pencegahan keracunan gas karbon monoksida (CO) meliputi:<sup>36</sup>

- a. Sebaiknya ketika memanaskan mesin mobil dilakukan di dalam ruangan dengan ventilasi yang cukup;
- b. Buka pintu garasi apabila mobil dalam keadaan mesin menyala;
- c. Buka jendela kaca apabila sedang beristirahat di dalam mobil dengan keadaan mesin menyala;
- d. Melakukan servis yang teratur pada mobil agar kadar CO dalam emisi gas buang selalu memenuhi persyaratan yang ditetapkan pemerintah;
- e. Perlu dilakukan uji emisi yang dilakukan pada mobil;
- f. Melakukan KIR kendaraan secara berkala;
- g. Melakukan pemasangan filter pada knalpot;
- h. Jangan menggunakan generator listrik di dalam ruangan atau di garasi;
- i. Jangan menggunakan minyak tanah atau pemanas ruang dengan minyak di tempat tertutup, kecuali secara khusus dirancang untuk digunakan dalam ruangan dan di ruangan yang berventilasi baik;
- j. Menjaga rumah agar benar-benar bebas dari asap rokok.

## **9. Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi pencemar di udara**

- a. Kendaraan

Jumlah kendaraan yang meningkat menyebabkan kebutuhan bahan bakar minyak (BBM), terutama bahan bakar berupa bensin dan solar. Pada proses pembakaran terjadi pembakaran tidak sempurna yang menyebabkan emisi gas buang yang tinggi. Peningkatan volume lalu lintas dapat menurunkan kualitas udara dan bertambahnya pencemaran udara berupa gas CO, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>.<sup>40</sup> Penelitian di ruas Jalan Majapahit, ada hubungan jumlah kendaraan dengan konsentrasi karbon monoksida (CO).

b. Meteorologi dan Iklim

Pencemaran udara yang terjadi di permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya faktor meteorologi dan iklim serta faktor topografi:

1) Suhu Udara

Pergerakan lapisan udara dingin ke suatu kawasan industri dapat menimbulkan temperatur inversi. Udara dingin akan terperangkap dan tidak dapat keluar dari kawasan tersebut dan cenderung menahan polutan tetap berada dilapisan permukaan bumi sehingga konsentrasi polutan dikawasan tersebut semakin lama semakin tinggi. Dalam keadaan tersebut dipermukaan bumi tidak terdapat pertukaran udara.<sup>50</sup>

Suhu dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar. Pada musim kemarau keadaan udara lebih kering dengan suhu cenderung meningkat serta angin yang bertiup lambat dibanding dengan keadaan hujan maka polutan udara pada keadaan musim kemarau cenderung tinggi karena tidak terjadi pengenceran polutan di udara. Pada suhu yang meningkat akan meningkatkan reaksi suatu bahan kimia.<sup>53</sup>

Suhu udara yang tinggi (37°C - 40°C) akan menyebabkan udara makin renggang sehingga konsentrasi pencemar menjadi makin rendah. Suhu udara yang tinggi akan menyebabkan bahan pencemar dalam udara berbentuk partikel menjadi kering dan ringan sehingga bertahan lebih lama di udara, terutama pada musim kemarau dimana hujan jarang turun.<sup>16</sup> Penelitian di Jalan Ahmad Yani, ada hubungan suhu dengan konsentrasi karbon monoksida (CO).

2) Kelembaban Udara

Kelembaban udara menyatakan banyaknya uap air dalam udara. Kandungan uap air ini penting karena uap air mempunyai sifat menyerap radiasi bumi yang akan menentukan cepatnya

kehilangan panas dari bumi sehingga dengan sendirinya mengatur suhu udara. Kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, karena keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (misalnya debu) akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi.<sup>16</sup> Penelitian di Jalan Ahmad Yani, ada hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi karbon monoksida (CO).

3) Arah dan Kecepatan Angin

Kecepatan angin yang kuat akan membawa polutan terbang kemana-mana dan dapat mencemari udara di tempat lain. Sebaliknya apabila kecepatan angin lemah, polutan akan menumpuk ditempat dan dapat mencemari udara tempat pemukiman yang terdapat disekitar lokasi pencemaran tersebut.<sup>57</sup> Penelitian di Jalan Mayor Suryotomo Kota Yogyakarta, ada hubungan kecepatan angin dengan konsentrasi karbon monoksida (CO).

4) Hujan

Air hujan sebagai pelarut umum, cenderung melarutkan bahan polutan yang terdapat dalam udara. Pembakaran batubara yang menghasilkan gas sulfurdioksida dan apabila gas tersebut tercampur dengan air hujan akan menimbulkan hujan yang bersifat asam, atau sering disebut hujan asam.<sup>58</sup>

c. Topografi

Faktor-faktor yang mempengaruhi topografi, antara lain:

1) Dataran Rendah

Daerah dataran rendah angin cenderung membawa polutan terbang jauh ke seluruh penjuru dan dapat melewati batas negara sehingga mencemari udara di tempat lain.<sup>51</sup>

## 2) Dataran Tinggi

Daerah dataran tinggi sering terjadi temperatur inversi dan udara dingin yang terperangkap akan menahan polutan tetap berada di lapisan permukaan bumi.<sup>59</sup>

## 3) Lembah

Daerah lembah, aliran angin sangat sedikit dan tidak bertiup ke tempat lain. Keadaan ini cenderung menahan polutan yang terdapat dipermukaan bumi.<sup>60</sup>

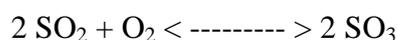
## B. Sulfur Dioksida

### 1 Karakteristik Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida adalah salah satu gas oksida sulfur (SO<sub>x</sub>). Gas ini mudah terlarut dalam air, berbau tetapi tidak berwarna. SO<sub>2</sub> dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Sulfur terdapat dalam semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan biji-biji yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber sulfur utama adalah kegiatan pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak diesel sebagai bahan bakarnya, gas buang dari kendaraan yang menggunakan diesel dan industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak mentah.<sup>70</sup>

### 2. Proses Sulfur Dioksida

Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Di udara SO<sub>2</sub> selalu terbentuk dalam jumlah besar. Jumlah SO<sub>3</sub> yang terbentuk bervariasi dari 1 sampai 10% dari total Sox. Mekanisme pembentukan SO<sub>x</sub> dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:<sup>16</sup>



Setelah berada di atmosfer  $\text{SO}_2$  akan diubah menjadi  $\text{SO}_3$ , kemudian menjadi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  oleh proses-proses fotolitik dan katalitik. Jumlah  $\text{SO}_2$  yang teroksidasi menjadi  $\text{SO}_3$  dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari. Pada malam hari atau kondisi lembab atau selama hujan  $\text{SO}_2$  di udara diabsorpsi oleh droplet air alkalin dan bereaksi pada kecepatan tertentu untuk membentuk sulfat di dalam droplet.  $\text{SO}_x$  menimbulkan gangguan sistem pernafasan, jika kadar 400-500 ppm akan sangat berbahaya, 8-12 ppm menimbulkan iritasi mata, 3-5 ppm menimbulkan bau. Konsentrasi gas  $\text{SO}_2$  di udara akan mulai baunya oleh indera manusia tercium bila konsentrasinya antara 0,3 – 1 ppm.<sup>71</sup>

## **2 Sumber Sulfur Dioksida**

Sumber utama pencemaran gas  $\text{SO}_2$  adalah pembakaran batu arang, minyak bakar, gas dan kayu. Sumber  $\text{SO}_x$  yang lain yaitu dari proses-proses industri seperti industri pemurnian petroleum, industri asam sulfat dan industri peleburan baja. Transportasi terutama kendaraan bermotor juga memberikan kontribusi sebagai penyebab pencemaran  $\text{SO}_x$ .<sup>72</sup> Pencemaran oleh sulfur oksida disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), keduanya disebut sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ ). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.<sup>73</sup>

## **4. Baku Mutu Sulfur Dioksida**

Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas kadar zat atau komponen yang ada dan seharusnya ada dalam unsur pencemar. Sumber pencemar udara adalah setiap usaha atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.<sup>27</sup>

**Tabel 2.4 Baku Mutu Udara Ambien Nasional Sulfur Dioksida**

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	1 jam	900 µg/Nm <sup>3</sup>
	24 jam	365 µg/Nm <sup>3</sup>
	1 tahun	60 µg/Nm <sup>3</sup>

Sumber:<sup>8</sup>

## 5. Dampak Pencemaran SO<sub>2</sub>

### a. Kesehatan

Gas SO<sub>2</sub> dikenal sebagai gas yang dapat menyebabkan iritasi pada sistem pernapasan, seperti pada selaput lendir hidung, tenggorokan dan saluran udara di paru-paru. Efek kesehatan menjadi lebih buruk pada penderita asma. Disamping itu SO<sub>2</sub> di udara menjadi pencemar sekunder seperti aerosol sulfat. Aerosol yang dihasilkan sebagai pencemar sekunder umumnya mempunyai ukuran yang sangat halus sehingga dapat terhisap ke dalam sistem pernapasan bawah.<sup>74</sup> Aerosol sulfat yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat menyebabkan dampak kesehatan yang lebih berat daripada partikel-partikel lainnya karena mempunyai sifat korosif dan karsinogen. Dalam bentuk gas, SO<sub>2</sub> dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru yang menyebabkan timbulnya kesulitan bernapas, terutama pada orang yang mempunyai penyakit asma, anak-anak dan lansia.<sup>75</sup>

**Tabel 2.5 Pengaruh Konsentrasi Sulfur Dioksida terhadap Kesehatan Manusia**

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3-5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi baunya
8-12	Iritasi tenggorokan
20	Iritasi mata, batuk
50-100	Maksimum yang diperbolehkan untuk waktu singkat(30 menit)
400-500	Berbahaya

Sumber: <sup>77</sup>

## **b. Lingkungan**

Tingginya kadar  $\text{SO}_2$  di udara merupakan salah satu penyebab terjadinya hujan asam. Hujan asam disebabkan oleh belerang (sulfur) sebagai bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen oksida. Zat-zat ini berdifusi ke atmosfer dan bereaksi dengan air untuk membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang mudah larut sehingga jatuh bersama air hujan. Air hujan yang asam tersebut akan meningkatkan kadar keasaman tanah dan air permukaan yang terbukti berbahaya bagi kehidupan ikan dan tanaman.. Selain menyebabkan hujan asam,  $\text{SO}_2$  juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel  $\text{SO}_2$  mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut.<sup>76</sup>

## **c. Tanaman**

Adanya gas  $\text{SO}_2$  pada konsentrasi tinggi dapat membunuh jaringan pada daun. pinggiran daun dan daerah diantara tulang-tulang daun rusak.  $\text{SO}_2$  menyebabkan terjadinya klorosis. Kerusakan tanaman ini akan diperparah dengan kenaikan kelembaban udara.  $\text{SO}_2$  diudara akan berubah menjadi asam sulfat. Oleh karena itu, didaerah dengan adanya pencemaran oleh  $\text{SO}_2$  yang cukup tinggi, tanaman akan rusak oleh aerosol asam sulfat. Kadar  $\text{SO}_2$  yang tinggi di hutan menyebabkan noda putih atau coklat pada permukaan daun, jika hal ini terjadi dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kematian tumbuhan.<sup>77</sup>

## **d. Hewan**

The National Academy Of Sciences (1978) juga menyimpulkan pengaruh pH terhadap ikan. Di Norwegia presipitasi asam juga mempunyai pengaruh terhadap perikanan komersial. Penurunan penangkapan ikan salmon di sungai-sungai selama seratus tahun yang lalu, disebabkan oleh penurunan pH yang tetap. Dengan penurunanya pH terjadi serangkaian perubahan kimiawi

yang menyebabkan penurunan laju daur zat makanan dalam sistem perairan. Dengan demikian, terdapat penurunan jumlah bahan organik dalam suatu daerah dan suatu pergeseran keadaan oligotropik di danau. Perubahan ekologis mengikuti pengaruh umum zat toksik terhadap ekosistem. Berbagai penyakit akan terjadi pada hewan karena kulit terkena air dengan keasaman tinggi. Hal ini akan menyebabkan kepunahan spesies.<sup>78</sup>

**e. Material**

Kerusakan oleh pencemaran  $\text{SO}_2$  juga dialami oleh bangunan yang bahan-bahannya seperti batu kapur, batu pualam, dolomit. Efek dari kerusakan ini akan tampak pada bentuknya, integritas struktur, dan umur dari gedung tersebut. Hal serius juga dapat terjadi pada bangunan tua serta monumen termasuk candi dan patung. Hujan asam dapat merusak batuan sebab akan melarutkan kalsium karbonat, meninggalkan kristal pada batuan yang telah menguap. Seperti halnya sifat kristal semakin banyak akan merusak batuan.

**6. Pengendalian dan Pencegahan Sulfur Dioksida**

**a. Sumber Bergerak<sup>79</sup>**

- 1) Merawat mesin kendaraan bermotor agar tetap berfungsi dengan baik.
- 2) Melakukan pengujian emisi dan KIR kendaraan secara berkala.
- 3) Memasang filter pada knalpot.

**b. Sumber Tidak Bergerak**

- 1) Memasang scrubber pada cerobong asap.
- 2) Merawat mesin industri agar tetap baik dan lakukan pengujian secara berkala.
- 3) Menggunakan bahan bakar minyak atau batu bara dengan kadar Sulfur rendah.

**c. Manusia**

Apabila kadar  $\text{SO}_2$  dalam udara ambien melebihi baku mutu ( $365\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam,

maka untuk mencegah dampak kesehatan, dapat dilakukan upaya-upaya sebagai berikut:

- 1) Menggunakan alat pelindung diri (APD), seperti masker gas.
- 2) Mengurangi aktifitas diluar rumah.

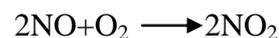
Penanggulangan

- 1) Memperbaiki alat yang rusak.
- 2) Penggantian saringan atau filter.
- 3) Bila terjadi jatuh korban, maka lakukan:
  - a) pindahkan korban ke tempat aman atau pada kondisi udara bersih.
  - b) Berikan pengobatan atau pernapasan buatan.
  - c) Kirim segera ke rumah sakit atau Puskesmas terdekat

## C. Nitrogen Dioksida

### 1. Karakteristik

Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Nitrogen monoksida terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada NO<sub>2</sub>. Pembentukan NO dan NO<sub>2</sub> merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen diudara sehingga membentuk NO yang bereaksi dengan banyak oksigen untuk membentuk NO<sub>2</sub>. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut:<sup>80</sup>



Udara terdiri dari 80% volume nitrogen dan 20% volume oksigen. Pada suhu kamar, nitrogen dan oksigen akan bereaksi satu sama lainnya. Pada suhu yang lebih tinggi (diatas 1210°C) keduanya dapat bereaksi membentuk NO dalam jumlah banyak sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Pada proses pembakaran, suhu yang digunakan

mencapai 1210 – 1.765 °C. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran.

## 2. Sumber

Sumber utama nitrogen dioksida adalah dari aktifitas manusia yaitu pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, gas, dan minyak), terutama bensin yang digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Di perkotaan 80 % NO<sub>2</sub> dihasilkan dari kendaraan bermotor. Sumber lain NO<sub>2</sub> dihasilkan dari proses pembuatan asam nitrat, industri pengolahan makanan, pengelasan, penggunaan bahan peledak, industri pengolahan komersial, penyulingan bensin dan logam.<sup>81</sup>

**Tabel 2.6 Sumber Pencemaran NO di Udara**

Sumber Pencemaran	% Bagian	% Total
Transportasi:		39,3
- Mobil bensin	32,0	
- Mobil diesel	2,9	
- Pesawat terbang	0,0	
- Kereta api	1,9	
- Kapal laut	1,0	
- Sepeda motor, dll	1,5	
Pembakaran stasioner		48,5
- Batubara	19,4	
- Minyak	4,8	
- Gas alam (LPG & kerosin)	23,3	
- Kayu	1,0	
Proses industri		1,0
Pembuangan limbah padat		2,9
Lain-lain:		8,3
- Kebakaran hutan	5,8	
- Pembakaran batubara sisa	1,0	
- Pembakaran limbah pertanian	1,5	
- Pembakaran lain-lain	0,0	
Total	100,0	100,0

Sumber:<sup>33</sup>

## 3. Baku Mutu Nitrogen Dioksida

Peraturan pemerintah tentang pengendalian pencemaran udara (PP Nomor 41 tahun 1999). Baku mutu udara ambien memiliki 9 parameter

yang berlaku untuk menilai kondisi udara ambien secara umum dan 4 parameter untuk menilai kondisi udara ambien di kawasan industri kimia dasar.<sup>82</sup>

**Tabel 2.7 Baku Mutu Udara Ambien Nasional Nitrogen Dioksida**

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	1 jam	400 µg/Nm <sup>3</sup>
	24 jam	150 µg/Nm <sup>3</sup>
	1 tahun	100 µg/Nm <sup>3</sup>

Sumber:<sup>8</sup>

#### 4. Dampak Pencemaran NO<sub>2</sub>

##### a. Dampak Terhadap Kesehatan

Sifat racun gas oksida nitrogen seperti NO dan NO<sub>2</sub> berbahaya bagi manusia. NO<sub>2</sub> menunjukkan empat kali lebih beracun daripada NO. Selama ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Diudara ambien normal, NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO<sub>2</sub> yang bersifat racun. NO<sub>2</sub> bersifat racun terutama terhadap paru. Kadar NO<sub>2</sub> yang tinggi lebih dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru (edema pulmonari).<sup>83</sup> Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Pemajanan NO<sub>2</sub> dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernapas.<sup>84</sup>

##### b. Hewan

Nitrogen dioksida pada hewan hampir menyerupai dampak yang terjadi pada manusia. Senyawa ini dapat menyebabkan gangguan saraf pada hewan pada konsentrasi tinggi.<sup>85</sup>

##### c. Tumbuhan

Beberapa polutan sekunder bersifat merusak tanaman. Percobaan dengan fumigasi pada tanaman dengan NO<sub>2</sub> menunjukkan adanya bintik-bintik pada daun jika konsentrasi yang digunakan 1 ppm,

sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi 3,5 ppm atau lebih akan terjadi nekrosis atau kerusakan tanaman. Daun tidak dapat berfungsi sempurna sebagai tempat terbentuknya karbohidrat melalui proses fotosintesis.<sup>86</sup>

## 5. Pengendalian

### a. Pencegahan<sup>87</sup>

#### 1) Sumber Bergerak

- a. Merawat mesin kendaraan bermotor agar tetap baik.
- b. Melakukan pengujian emisi dan KIR kendaraan secara berkala.
- c. Memasang filter pada knalpot.

#### 2) Sumber Tidak Bergerak

- a. Mengganti peralatan yang rusak.
- b. Memasang scrubber pada cerobong asap.
- c. Memodifikasi pada proses pembakaran.

#### 3) Manusia

Bila kadar  $\text{NO}_2$  dalam udara ambien telah melebihi baku mutu (  $150 \text{ mg/Nm}^3$  dengan waktu pengukur 24 jam) maka untuk mencegah dampak kesehatan dilakukan upaya-upaya :

- a) Menggunakan alat pelindung diri, seperti masker gas.
- b) Mengurangi aktifitas di luar rumah.

### b. Penanggulangan

Upaya yang dilakukan untuk penanggulangan dampak nitrogen dioksida adalah:

- 1) Mengatur pertukaran udara agar berjalan dengan baik, seperti dengan menggunakan LEV.
- 2) Bila terjadi keracunan sebaiknya langsung diberikan pernapasan buatan atau dibawa ke rumah sakit terdekat

## D. Kendaraan

### 1. Pengertian Kendaraan/ Angkutan

Kendaraan adalah alat transportasi yang digerakan dengan mesin maupun makhluk hidup dan digunakan untuk transportasi darat.

Kendaraan umumnya menggunakan mesin pembakaran.<sup>37</sup>Transportasi atau angkutan adalah perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan alat transportasi. Unsur-unsur dasar transportasi ada lima unsur pokok transportasi, yaitu:<sup>38</sup>

- a. Manusia, yang membutuhkan transportasi
- b. Barang, yang diperlukan manusia
- c. Kendaraan, sebagai sarana transportasi
- d. Jalan, sebagai prasarana transportasi
- e. Organisasi, sebagai pengelola transportasi

Transportasi darat adalah pemindahan / pengangkutan orang atau barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan alat pengangkutan melalui jalan darat, baik yang digerakkan oleh tenaga manusia, hewan (kuda, sapi, kerbau), atau mesin. Transportasi darat di pilih berdasarkan faktor-faktor.<sup>39</sup>

- a. Jenis dan spesifikasi kendaraan
- b. Jarak perjalanan
- c. Tujuan perjalanan
- d. Ukuran kota dan kerapatan permukiman
- e. Faktor sosial-ekonomi

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang tinggi mengakibatkan kebutuhan pemakaian bahan bakar minyak (BBM) juga semakin meningkat khususnya bahan bakar solar dan bensin. Penggunaan bahan bakar yang banyak tentunya menyebabkan emisi gas buang yang tinggi.<sup>38</sup>Pertambahan volume lalu lintas akan mengakibatkan bertambahnya pencemaran udara sehingga dapat menurunkan kualitas udara. Peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan.<sup>40</sup>

## **2. Proses Pembakaran Bahan Bakar Fosil dan Paparan CO**

Gas karbon monoksida (CO) adalah gas yang dihasilkan dari proses oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna. Gas ini bersifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak menyebabkan iritasi, dan tidak berasa. CO

diproduksi dari pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna, seperti bensin, minyak dan kayu bakar. Konsentrasi CO dapat meningkat di sepanjang jalan raya yang padat lalu lintas dan menyebabkan pencemaran. Asap kendaraan merupakan sumber karbon monoksida yang dikeluarkan di banyak daerah perkotaan.<sup>52</sup>

Karbon monoksida (CO) kadang muncul sebagai parameter di lokasi pemantauan di kota-kota besar dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi seperti Jakarta, Bandung dan Surabaya, tetapi pada umumnya konsentrasi CO berada di bawah ambang batas Baku Mutu PP41/1999 (10,000 $\mu$ g/m<sup>3</sup>/24 jam). Gas karbon monoksida memasuki tubuh melalui pernafasan dan diabsorpsi di dalam peredaran darah. Karbon monoksida akan berikatan dengan haemoglobin menjadi carboxyhaemoglobin. Gas CO mempunyai kemampuan berikatan dengan haemoglobin sebesar 240 kali lipat kemampuannya berikatan dengan O<sub>2</sub> sehingga pasokan O<sub>2</sub> ke seluruh tubuh menurun tajam, sehingga melemahkan kontraksi jantung dan menurunkan volume darah yang didistribusikan.<sup>33</sup>

### 3. Dampak Negatif Yang Ditimbulkan Oleh Angkutan Darat

Tingginya jumlah kendaraan akan memicu terjadinya pencemaran udara yang disebabkan oleh pembakaran tidak sempurna dari kendaraan. Gas pencemar akan mengeluarkan karbon monoksida (CO) yang merupakan gas pencemar udara yang utama.<sup>56</sup> Semakin banyak bensin yang digunakan untuk bahan bakar kendaraan maka konsentrasi karbon monoksida (CO) akan semakin meningkat. Setiap lima liter bensin untuk bahan bakar kendaraan menghasilkan 1-1,5 kg karbon monoksida.<sup>5</sup>

Berkembangnya alat transportasi darat menyebabkan dampak negatif maupun dampak positif bagi manusia maupun bagi lingkungan. Adapun dampak negatif yang di timbulkan oleh berkembangnya transportasi darat adalah sebagai berikut:<sup>24</sup>

#### a. Pencemaran Udara

Seiring dengan berkembangnya sistem transportasi darat, salah satu dampak yang di timbulkan adalah meningkatnya pencemaran udara.

Secara umum pengertian pencemaran udara adalah perbedaan komposisi udara aktual dengan kondisi udara normal dimana komposisi udara aktual tidak mendukung kehidupan manusia. Bahan atau zat pencemaran udara sendiri dapat berbentuk gas dan partikel. Ada banyak sumber pencemaran udara yang salah satunya yang terbesar adalah dari sektor transportasi seperti.<sup>21</sup>

1) Kualitas bahan bakar minyak

Ketersediaan bensin tanpa timbal (unleaded gasoline) dan minyak solar dengan kandungan belerang rendah merupakan faktor dalam penurunan emisi kendaraan, karena bahan bakar jenis tersebut merupakan syarat bagi penggunaan teknologi kendaraan yang mutakhir yang mampu mengurangi emisi kendaraan secara signifikan. Spesifikasi bahan bakar yang tersedia di Indonesia mengikuti spesifikasi bahan bakar yang berlaku saat ini sesuai dengan Surat Keputusan (SK) Direktur Jenderal (Dirjen) Minyak dan Gas (Migas) No. 108. K/72/DDJM/1997 yang memperbolehkan kandungan timbal hingga 0.30 gram/liter serta tekanan uap (Reid Vapour Pressure) 62 kPa pada suhu 37,8 °C untuk bahan bakar bensin.

2) Emisi Kendaraan Bermotor

Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemaran udara yang penting di daerah perkotaan. Emisi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh kandungan bahan bakar dan kondisi pembakaran dalam mesin. Pada pembakaran sempurna, emisi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor berdasarkan massa adalah gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap air, namun kondisi ini jarang terjadi. Polutan yang dihasilkan kendaraan bermotor yang menggunakan BBM antara lain CO, HC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan partikulat. Tingginya emisi kendaraan bermotor disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah.<sup>35</sup>

- a) Sistem kontrol emisi kendaraan bermotor tidak diterapkan

- b) Pelaksanaan Pengujian Kendaraan Bermotor berkala untuk kendaraan umum tidak berjalan efektif
- c) Kendaraan bermotor tidak diperlengkapi dengan teknologi pereduksi emisi seperti katalis karena tidak tersedianya bahan bakar yang sesuai untuk penggunaan katalis tersebut
- d) Kualitas BBM yang rendah
- e) Penggunaan kendaraan berteknologi rendah emisi yang menggunakan bahan bakar alternatif masih belum memadai
- f) Pemahaman tentang manfaat perawatan kendaraan secara berkala yang dapat menurunkan emisi dan meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar masih kurang
- g) Disinsentif terhadap kendaraan-kendaraan yang termasuk dalam kategori penghasil emisi terbesar belum diperkenalkan.

### 3) Sistem Transportasi dan Manajemen Lalu Lintas

Sistem manajemen transportasi dan tata ruang perkotaan mempengaruhi pola pergerakan manusia dan kendaraan di suatu kota yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas udara. Pengendalian pencemaran udara melalui peningkatan sistem transportasi terfokus pada dua aspek, yaitu pengurangan volume kendaraan dan pengurangan kepadatan lalu lintas. Makin banyak volume kendaraan yang beroperasi di jalan, makin banyak jumlah emisi gas buang total.<sup>37</sup>

#### b. Pencemaran Suara

Bertambahnya jumlah kendaraan yang tidak terkendali dan sistem pembangunan pemukiman penduduk yang dekat dengan jalan raya, akan mengakibatkan penduduk sekitar tidak nyaman akibat polusi suara yang ditimbulkan oleh suara kendaraan bermotor. Pencemaran suara adalah gangguan pada lingkungan yang diakibatkan oleh bunyi atau suara yang mengakibatkan ketidaktentraman makhluk hidup di sekitarnya.<sup>39</sup> Pencemaran suara diakibatkan suara-suara bervolume

tinggi yang membuat daerah sekitarnya menjadi bising. Suara bising yang terus-menerus dengan tingkat kebisingan yang relatif tinggi dapat mengakibatkan dampak yang merugikan kesehatan manusia. Secara langsung, polusi suara dapat menyebabkan ketulian secara fisik dan tekanan psikologis.<sup>40</sup>

a. Kemacetan

Pertumbuhan kendaraan bermotor di kota-kota besar, tanpa diimbangi dengan pembangunan sarana dan prasarana yang memadai akan menimbulkan betumpuknya kendaraan di jalan sehingga mengakibatkan kemacetan. Kemacetan adalah keadaan terhentinya lalu lintas yang disebabkan oleh banyaknya jumlah kendaraan melebihi kapasitas jalan. Kemacetan lalu lintas memberikan dampak negatif antara lain kerugian waktu karena kecepatan perjalanan yang rendah, pemborosan energi karena pada kecepatan rendah konsumsi bahan bakar lebih rendah, meningkatkan polusi udara, meningkatkan stress pengguna jalan.

b. Meningkatnya kecelakaan lalu lintas

Meningkatnya kendaraan bermotor di jalan raya tanpa diimbangi dengan kesadaran pengguna kendaraan untuk tertib berlalu lintas akan mengakibatkan terjadinya kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan lalu-lintas adalah kejadian di mana kendaraan bermotor tabrakan dengan benda lain menyebabkan kerusakan. Faktor yang mempengaruhi kecelakaan adalah faktor kendaraan yang paling sering terjadi adalah ban pecah, rem tidak berfungsi sebagaimana seharusnya, kelelahan logam yang mengakibatkan bagian kendaraan patah, peralatan yang tidak diganti dan berbagai penyebab lainnya.

4. **Mengelola Masalah Angkutan Darat**

Sistem transportasi darat yang berkembang dengan pesat memerlukan pengelolaan dan penataan yang baik dan benar. Untuk mencapai sistem transportasi yang baik, dalam pembangunan dan

pengembangannya perlu memperhatikan efeknya terhadap manusia dan lingkungan. Pemilihan model transportasi ditentukan dengan mempertimbangkan salah satu persyaratan pokok, yaitu pemindahan barang dan manusia dilakukan dalam jumlah yang terbesar dan jarak yang terkecil.<sup>37</sup>

Perencanaan sistem transportasi harus disertai dengan adanya prasarana yang memenuhi persyaratan dan kriteria transportasi antara lain volume penampungan, kecepatan rata-rata, aliran puncak, keamanan pengguna jalan. Selain itu harus juga memenuhi persyaratan lingkungan yang meliputi jenis permukaan, pengamanan penghuni sepanjang jalan, kebisingan, pencemaran udara, penghijauan, dan penerangan. Dalam mencapai sistem transportasi yang ramah lingkungan dan hemat energi, persyaratan spesifikasi dasar prasarana jalan yang digunakan sangat menentukan. Untuk mencapai sistem transportasi darat ada beberapa hal yang perlu dijalankan, di antaranya:<sup>38</sup>

a. Rekayasa lalu lintas.

Rekayasa lalu lintas khususnya menentukan jalannya sistem transportasi yang direncanakan. Dalam perencanaan, pertimbangan utama diterapkan adalah bahwa aliran lalu lintas berjalan dengan lancar dan dengan waktu tempuh yang kecil, seperti yang dapat di uji dengan model asal-tujuan (origin-destination). Dengan meminimumkan waktu tempuh dari setiap titik asal ke titik tujuannya masing-masing akan dapat dicapai efisiensi bahan bakar yang maksimum, dan reduksi pencemar udara yang lebih besar.

b. Pengendalian pada sumber (mesin kendaraan).

Jenis kendaraan yang digunakan sebagai alat transportasi merupakan bagian di dalam sistem transportasi yang akan memberikan dampak bagi lingkungan fisik dan biologi akibat emisi pencemaran udara dan kebisingan. Perubahan-perubahan yang dilakukan dalam rencana mesin, meliputi pemasangan (katup) PCV pada sistem karburasi, sistem pemantikan yang memungkinkan pembakaran lebih

sempurna, sirkulasi uap bahan bakar minyak (BBM) untuk mengurangi emisi tangki BBM, dan after burner untuk menurunkan emisi.

c. Energi transportasi.

Besarnya intensitas emisi yang dikeluarkan kendaraan bermotor selain ditentukan oleh jenis dan karakteristik mesin, juga ditentukan oleh jenis BBM yang digunakan. Aspek perencanaan perkotaan dan sistem transportasi akan menjadi faktor generik dampak yang umumnya timbul, khususnya penggunaan energi, pencemaran udara termasuk dalam mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas. Berdasarkan kondisi saat ini dapat dilihat bahwa transportasi sangat berpengaruh terhadap pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor.<sup>41</sup>

## **E. Suhu Udara**

### **1. Pengertian Suhu Udara**

Suhu udara merupakan kondisi yang dirasakan di permukaan Bumi sebagai panas, sejuk atau dingin. Matahari berupa radiasi gelombang elektromagnetik. Radiasi sinar Matahari yang dipancarkan tidak seluruhnya sampai ke permukaan Bumi. Hal ini dikarenakan pada saat memasuki atmosfer, sinar matahari tersebut mengalami pemantulan (refleksi), pembauran (scattering), dan penyerapan (absorpsi) oleh material-material di atmosfer.<sup>42</sup>

Suhu udara dipermukaan bumi adalah relative, tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti lamanya penyinaran matahari. Hal tersebut dapat berdampak langsung adanya perubahan suhu di udara. Suhu udara akan berfluktuasi setiap 24 jam, semakin dekat dengan khatulistiwa suhu udara semakin panas. Pada siang hari sebagian radiasi matahari akan diserap oleh gas-gas atmosfer dan partikel padat yang melayang di atmosfer.<sup>43</sup>

## 2. Pengaruh Suhu Terhadap Karbon Monoksida (CO)

Semakin tinggi suhu udara maka jumlah gas karbon monoksida (CO) yang terdisosiasi menjadi CO dan Oksigen menjadi semakin banyak, suhu yang tinggi merupakan pemicu terjadinya emisi gas karbon monoksida (CO). Sumber pencemaran gas CO terutama berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil pada mesin-mesin penggerak alat transport.<sup>57</sup>

Sifat dan masa jenis udara menurut ketinggian, suhu dan komposisi udara, atmosfer bumi dibagi menjadi empat lapisan: troposfer, stratosfer, mesosfer dan termosfer. Pada ketinggian yang tinggi mengurangi tekanan dan berat udara.<sup>42</sup> Bagian-bagian yang paling penting untuk analisis pencemaran udara adalah dua lapisan dekat Bumi: troposfer dan stratosfer. Udara di troposfer yang terlibat dalam pernapasan. Volume terdiri sekitar 78,08% oleh nitrogen (N<sub>2</sub>), oksigen 20,94% (O<sub>2</sub>), 0,035% karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan 0,93% dari gas inert seperti argon dan neon.<sup>43</sup>

## 3. Alat Ukur Suhu Udara

Thermohygrometer merupakan alat yang mempunyai dua indikator pengukuran yaitu thermometer dan hygrometer. Thermometer berfungsi untuk mengukur suhu pada suatu tempat dan hygrometer berfungsi untuk mengukur kelembaban pada suatu tempat. Thermohygrometer berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban di suatu tempat baik dalam ruangan maupun luar ruangan.<sup>46</sup> Thermohygrometer terbagi menjadi dua jenis yaitu thermohygrometer analog dan thermohygrometer digital:<sup>53</sup>

- a. Thermohygrometer analog adalah alat yang dapat menunjukkan suhu dan kelembaban dengan jarum jam.
- b. Thermohygrometer digital adalah alat yang dapat menunjukkan suhu dan kelembaban dengan angka yang jelas seperti jam tangan digital. Thermohygrometer bekerja berdasarkan fenomena yang disebut penguapan dingin. Ketika air menguap dari suatu permukaan,

permukaan akan dingin karena molekul air membawa energi panas dari permukaan selama penguapan.

#### 4. Faktor yang Mempengaruhi Suhu Udara

Faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu udara adalah sebagai berikut:

a. Sudut datangnya sinar matahari

Sudut datangnya sinar matahari adalah sudut yang dibentuk oleh sinar matahari dan suatu bidang di permukaan bumi. Semakin besar sudut datangnya sinar matahari maka semakin tegak datangnya sinar sehingga suhu yang diterima bumi semakin tinggi. Sudut datang sinar matahari terkecil terjadi pada pagi dan sore hari, sedangkan sudut terbesar pada siang hari pada jam 12.00 WIB.<sup>44</sup>

b. Tinggi rendahnya tempat

Semakin tinggi kedudukan suatu tempat, temperatur udara di tempat tersebut akan semakin rendah. Perbedaan temperatur udara yang disebabkan adanya perbedaan tinggi rendah suatu daerah disebut amplitudo. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu udara dinamakan termometer. Salah satu sifat khas udara yaitu bila kita naik 100 meter, suhu udara akan turun 0,6 °C. Di Indonesia suhu rata-rata tahunan pada ketinggian 0 meter adalah 26 °C. Perbedaan temperatur tinggi rendahnya suatu daerah dinamakan derajat geotermis. Suhu udara rata-rata tahunan pada setiap wilayah di Indonesia berbeda-beda sesuai dengan tinggi rendahnya tempat tersebut dari permukaan laut.<sup>43</sup>

c. Angin dan Arus Laut

Angin dan arus laut mempunyai pengaruh terhadap temperatur udara. Misalnya angin dan arus dari daerah yang dingin akan menyebabkan daerah yang dilalui angin akan menjadi dingin.<sup>45</sup>

d. Lamanya Penyinaran

Lamanya penyinaran matahari pada suatu tempat tergantung dari letak garis lintangnya. Semakin rendah letak garis lintangnya, maka

semakin lama daerah tersebut mendapatkan sinar matahari dan suhu udara semakin tinggi.<sup>43</sup>

## F. Kelembaban Udara

### 1. Pengertian

Kelembaban udara adalah tingkat kebasaaan udara karena dalam udara air selalu terkandung dalam bentuk uap air. Kandungan uap air dalam udara hangat lebih banyak daripada kandungan uap air dalam udara dingin. Bila udara banyak mengandung uap air dingin maka suhunya turun. Uap air berubah menjadi titik-titik air.<sup>45</sup>

### 2. Jenis-jenis Kelembaban Udara

Kelembaban udara dapat dinyatakan sebagai kelembaban udara absolut, kelembaban nisbi (relatif) maupun defisit tekanan uap air.<sup>46</sup>

#### a. Kelembaban absolut

Kelembaban absolut adalah massa dari uap air pada volume tertentu dan umumnya dalam  $g/m^3$ .

#### b. Kelembaban spesifik

Kelembaban spesifik adalah metode untuk mengukur jumlah uap air di udara dengan rasio terhadap uap air di udara kering. Kelembaban

spesifik dalam rasio  $\frac{kg \text{ uap air } (M_w)}{kg \text{ udara } (M_a)}$

#### c. Kelembaban relatif/ nisbi

Kelembaban relatif/ nisbi adalah perbandingan jumlah uap air di udara dengan udara pada suhu yang sama. Kelembaban nisbi membandingkan antara kandungan uap air dengan jenuhnya kapasitas udara untuk menampung uap air.<sup>48</sup>

#### d. Kerapatan uap air

Massa uap air per satuan volume udara yang mengandung uap air tersebut (kelembaban mutlak)

$$P_v = m_v / V \rho$$

$P_v$  = kerapatan uap air ( $kg \ m^{-3}$ )

$M_v$  = massa uap air (kg) pada volume udara sebesar V

$V = \text{Volume udara (m}^3\text{)}$

Pada daerah lembab/ daerah tropis,  $p_v$  akan lebih tinggi daripada daerah yang temperaturnya relatif kering terutama pada musim dingin. Pada musim dingin kapasitas udara untuk menampung uap air menjadi kecil.<sup>50</sup>

e. Tekanan uap air

Hukum gas ideal:

$$p_a = n R T/V$$

$p_a = \text{Tekanan uap air ( mb)}$

$n = \text{Jumlah mol}$

$$n = m/M_v \text{ (} M_v = 18.016 \text{)}$$

$R = \text{Tetapan gas umum (} 8,3143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}\text{)}$

$T = \text{suhu mutlak (K)}$

$V = \text{volume udara (m}^3\text{)}$

### 3. Pengaruh kelembaban udara terhadap karbon monoksida (CO)

Kandungan uap air di permukaan bumi sangat penting, karena uap air memiliki sifat menyerap panas bumi yang mempengaruhi kecepatan hilangnya panas dari bumi.<sup>49</sup> Pada kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, karena pada kondisi udara yang lembab beberapa bahan pencemar berbentuk partikel akan berikatan dengan air yang ada di udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi.<sup>16</sup>

### 4. Alat Ukur Kelembaban Udara

Alat untuk mengukur kelembaban udara adalah Higrometer. Higrometer adalah sejenis alat untuk mengukur tingkat kelembapan pada suatu tempat.<sup>48</sup> Kelembaban yang rendah akan mencegah pertumbuhan jamur pada peralatan tersebut. Higrometer banyak dipakai di ruangan pengukuran dan instrumentasi untuk menjaga kelembaban udara yang berpengaruh terhadap keakuratan alat-alat pengukuran.<sup>49</sup> Higrometer yang digunakan mempunyai skala dari 0 hingga 120. Kelembaban ideal berada pada nilai 40 sampai 70%.<sup>47</sup>

## **G. Kecepatan Angin**

### **1. Pengertian**

Angin adalah udara yang bergerak diakibatkan oleh rotasi bumi dan karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah.<sup>65</sup> Angin terjadi karena perbedaan tekanan udara pada suatu daerah. Hal tersebut berkaitan dengan besarnya energi panas matahari yang diterima permukaan bumi. Pada suatu wilayah yang menerima energi panas matahari lebih besar, suhu udara akan panas dan tekanan udara lebih rendah. Sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara pada daerah yang menerima energi panas lebih besar.<sup>16</sup>

### **2. Faktor Penyebab Timbulnya Angin**

Faktor penyebab timbulnya angin adalah adanya tekanan yang timbul karena adanya perbedaan suhu udara. Kuat atau lemah kecepatan angin ditentukan oleh besarnya tekanan udara. Disamping itu semakin tinggi tempat semakin kencang angin yang bertiup. Hal ini terjadi karena pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara.<sup>13</sup> Faktor-faktor yang menyebabkan timbulnya angin:

#### **a. Gradien Barometris**

Angka yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari dua isobar yang jaraknya 111 km. Semakin besar gradien barometrisnya maka semakin cepat tiupan angin.<sup>56</sup>

#### **b. Lokasi**

Daerah yang dekat garis khatulistiwa lebih cepat kecepatan anginnya daripada yang jauh garis khatulistiwa.<sup>57</sup>

#### **c. Tinggi tempat**

Semakin tinggi tempat, semakin kencang angin yang bertiup. Hal ini dikarenakan pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat maka gesekannya semakin kecil.<sup>65</sup>

d. Waktu

Pada siang hari angin bergerak lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh hembusan partikel-partikel ringan seperti debu terbawa angin.<sup>64</sup>

**3. Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Karbon Monoksida**

Perbedaan tekanan mempengaruhi kecepatan angin, semakin besar perbedaan tekanan maka kecepatan angin akan semakin besar. Kecepatan angin berpengaruh terhadap jumlah polutan yang berada di udara, karena angin merupakan media yang akan membawa dan menyebarkan polutan. Sehingga semakin cepat kecepatan angin, maka semakin banyak dan jauh polutan yang terbawa.<sup>66</sup>

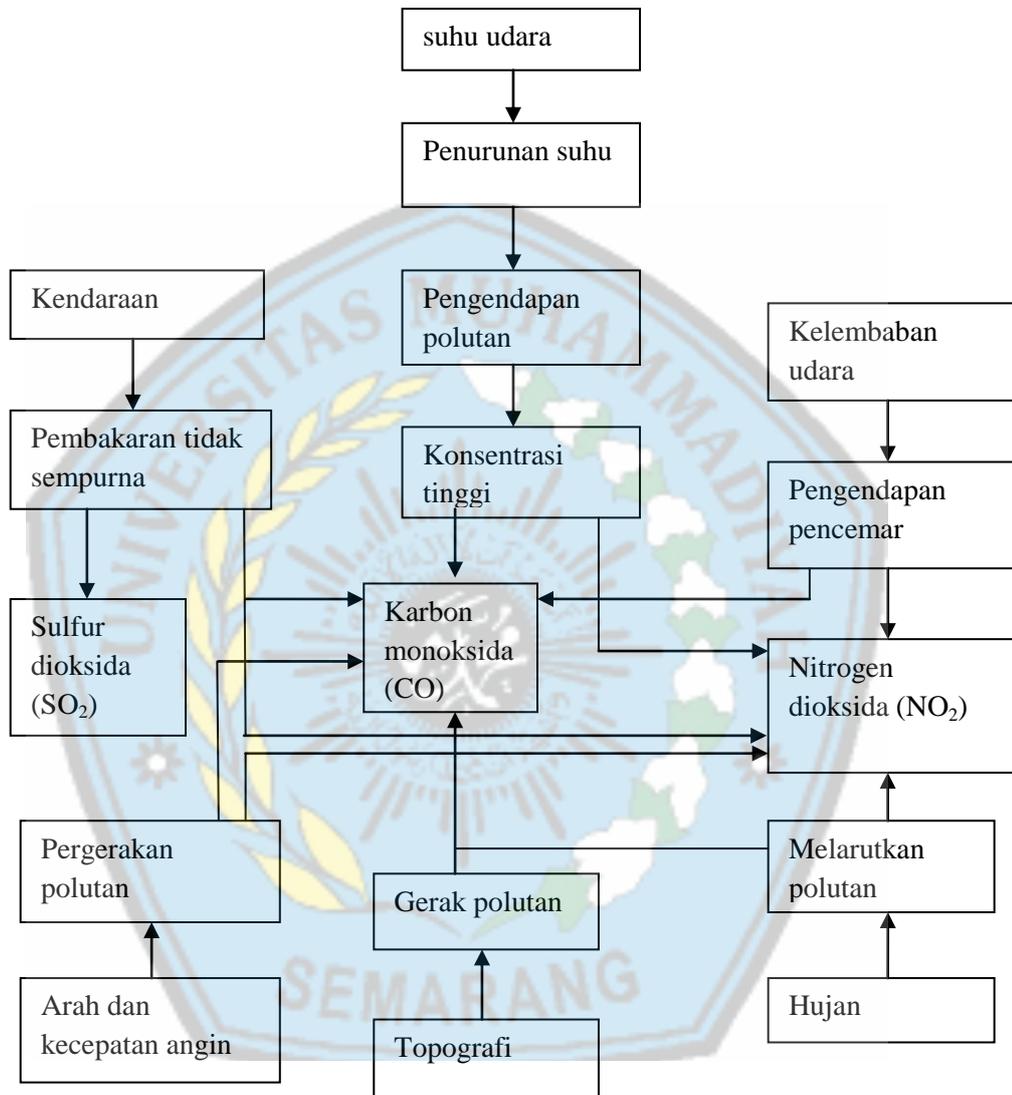
Kecepatan angin yang kuat membawa polutan terbang dan dapat mencemari udara di tempat lain, dan apabila kecepatan angin lemah maka polutan akan menumpuk di tempat tersebut dan dapat mencemari pada tempat sekitarnya.<sup>57</sup>

**4. Alat Ukur Kecepatan Angin**

Alat untuk mengukur kecepatan angin adalah Anemometer. Anemometer adalah sebuah alat pengukur kecepatan angin yang banyak dipakai dalam bidang Meteorologi dan Geofisika atau stasiun prakiraan cuaca dan berfungsi untuk mengukur atau menentukan kecepatan angin. Selain mengukur kecepatan angin juga dapat untuk mengukur besarnya tekanan angin, cuaca, dan tinggi gelombang laut dengan tingkat ketelitian 0,5m/s.<sup>65</sup> Pengukuran dapat dilakukan dengan cara memegang Anemometer secara vertikal atau menaruhnya di atas penyangga. Angka kecepatan angin akan ditampilkan secara otomatis pada speedometer.<sup>63</sup>

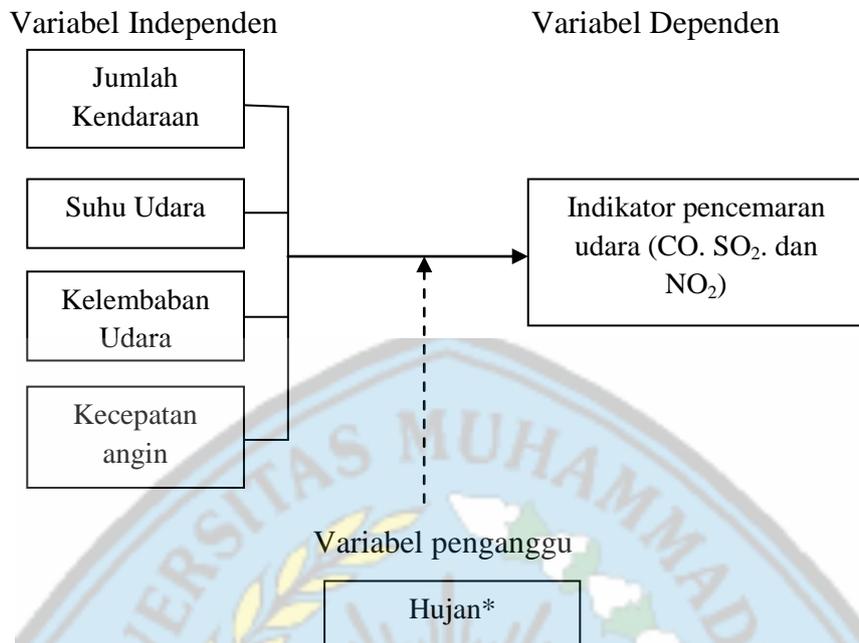
## H. Kerangka Teori

Mengacu pada tinjauan pustaka yang telah dipaparkan kerangka teori dalam penelitian ini digambarkan dalam bentuk skema kerangka teori



**Bagan 2.1 Kerangka Teori** <sup>16, 50, 57, 60</sup>

## I. Kerangka Konsep



Keterangan:

\* Dilakukan identifikasi

### Bagan 2.2 Kerangka Konsep

## J. Hipotesis Penelitian

Rumusan hipotesis dalam penelitian ini adalah

1. Ada hubungan antara jumlah kendaraan dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) di Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang
2. Ada hubungan antara suhu udara dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) di Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang
3. Ada hubungan antara kelembaban udara dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) di Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang
4. Ada hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi karbon monoksida (CO) di Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang