

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan Teori**

##### **1. Pengertian Pencemaran Udara**

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada suhu udara, tekanan udara, dan lingkungan sekitarnya. Dalam udara terdapat oksigen ( $O_2$ ), karbon dioksida untuk proses fotosintesis oleh khlorofil daun dan ozon ( $O_3$ ) untuk menahan sinar ultraviolet (Wardhana, 2004).

Pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti (Wikipedia, diakses 15 Februari 2012).

Pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida adalah sebuah contoh dari pencemar udara primer karena ia merupakan hasil dari pembakaran. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Pembentukan ozon dalam (smog fotokimia) adalah sebuah contoh dari pencemaran udara sekunder.

Menurut Wardhana (2004), secara umum penyebab pencemaran udara ada 2 macam, yaitu:

- a. Karena faktor internal (secara alamiah), contoh:
  - 1) Debu yang beterbangan akibat tiupan angin
  - 2) Abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas-gas vulkanik
  - 3) Proses pembusukan sampah organik, dll.
- b. Karena faktor eksternal (karena ulah manusia), contoh:
  - 1) Hasil pembakaran bahan bakar fosil
  - 2) Debu/ serbuk dari kegiatan industri
  - 3) Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Dari beberapa macam komponen pencemar udara, maka yang paling banyak berpengaruh dalam pencemaran udara adalah komponen-komponen berikut ini:

1. Karbon Monoksida (CO)
  2. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)
  3. Belerang Oksida (SO<sub>x</sub>)
  4. Hidro Karbon (HC)
  5. Partikel (particulate), dan lain-lain.
2. Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) umumnya tidak dikategorikan sebagai polutan udara karena merupakan komponen yang secara normal berada di udara. CO<sub>2</sub> secara kontinu mengalami sirkulasi ke dalam dan keluar atmosfer di dalam siklus yang menyangkut aktivitas tanaman dan hewan. Dalam siklus karbon, tanaman melalui fotosintesis

menggunakan energi sinar untuk mereaksikan CO<sub>2</sub> dari udara dengan air untuk memproduksi karbohidrat dan oksigen. Karbohidrat yang terbentuk disimpan di dalam tanaman, dan oksigen dilepas ke atmosfer. Jika tanaman teroksidasi melalui dekomposisi alami, dibakar, atau dikonsumsi oleh hewan, oksigen diabsorpsi dari udara dan CO<sub>2</sub> akan dilepas kembali ke atmosfer. Proses ini merupakan siklus karbon alami yang menghasilkan CO<sub>2</sub> atmosfer yang konstan jika tidak terganggu oleh aktivitas manusia (Fardiaz, 1995).

Manusia dapat mengganggu siklus karbon melalui beberapa aktivitasnya, misalnya penggundulan tanaman, pembakaran minyak bumi, dan mengubah batu kapur menjadi semen. Penggundulan tanaman menurunkan kemampuan alam untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari atmosfer, sedangkan pembakaran minyak bumi dan produksi semen dari batu kapur meningkatkan jumlah CO<sub>2</sub> di udara. Pengaruh total dari aktivitas tersebut adalah terjadinya kenaikan CO<sub>2</sub> di atmosfer. Aktivitas yang paling banyak pengaruhnya terhadap kenaikan CO<sub>2</sub> di atmosfer adalah pembakaran minyak bumi (Fardiaz, 1995).

Konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Perlu diingat bahwa sumber dari CO<sub>2</sub> ini hanya ruang bakar dan Catalytic Converter. Apabila CO<sub>2</sub> terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran exhaust pipe (xlusi.com, diakses 04 Juni 2012).

### 3. Karbon Monoksida (CO)

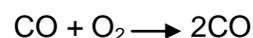
Menurut Fardiaz (1995), karbon monoksida (CO) adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu diatas  $-192^{\circ}\text{C}$ . Komponen ini mempunyai berat sebesar 96,5% dari berat air dan tidak larut dalam air.

Gas CO sebagian besar berasal dari pembakaran bahan fosil dengan udara, berupa gas buangan. Di kota besar yang padat lalu lintasnya akan banyak menghasilkan gas CO sehingga kadar CO dalam udara relatif tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. Selain itu dari gas CO dapat pula terbentuk dari proses industri. Secara alamiah gas CO juga dapat terbentuk, walaupun jumlahnya relatif sedikit, seperti gas hasil kegiatan gunung berapi, proses biologi dan lain-lain (Wardhana, 2004).

Secara umum terbentuknya gas CO adalah melalui proses berikut:

- a. Pembakaran bahan bakar fosil dengan udara yang reaksinya tidak stoikiometris adalah pada harga  $ER > 1$
- b. Pada suhu tinggi terjadi reaksi antara karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan karbon (C) yang menghasilkan gas CO
- c. Pada suhu tinggi,  $\text{CO}_2$  dapat terurai kembali menjadi CO dan oksigen.

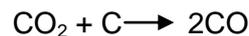
Pada pembakaran dengan harga  $ER > 1$ , bahan bakar yang digunakan lebih dari udara. Hal ini memungkinkan terjadinya gas CO. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Kalau jumlah udara (oksigen) cukup atau stoikiometris maka akan terjadi reaksi lanjutannya, yaitu:



Reaksi pembentukan CO lebih cepat dari pada reaksi pembentukan CO<sub>2</sub>, sehingga pada hasil akhir pembakaran masih mungkin terdapat gas CO. Apabila pencampuran bahan bakar dan udara tidak rata, maka masih ada bahan bakar (karbon) yang tidak berhubungan dengan oksigen dan keadaan ini menambah kemungkinan terbentuknya gas CO yang terjadi pada suhu tinggi dengan mengikuti reaksi berikut ini:



Selain dari pada itu, pada reaksi pembakaran yang menghasilkan panas dengan suhu tinggi akan membantu terjadinya penguraian (disosiasi) gas CO<sub>2</sub> menjadi gas CO mengikuti reaksi berikut ini:



Semakin tinggi suhu hasil pembakaran maka jumlah gas CO<sub>2</sub> yang terdisosiasi menjadi CO dan O akan semakin banyak. Suhu tinggi merupakan pemicu terjadinya gas CO (Wardhana, 2004).

Penyebaran gas CO di udara tergantung pada keadaan lingkungan. Untuk daerah perkotaan yang banyak kegiatan industrinya dan lalu-lintasnya padat, udaranya sudah banyak tercemar oleh gas CO. Sedangkan daerah pinggiran kota atau desa, cemaran CO di udara relatif sedikit. Ternyata tanah yang masih terbuka dimana belum ada bangunan di atasnya, dapat membantu penyerapan gas CO. Hal

ini disebabkan mikroorganisme yang ada di dalam tanah mampu menyerap gas CO yang terdapat di udara. Angin dapat mengurangi konsentrasi gas CO pada suatu tempat karena dipindahkan ke tempat lain (Wardhana, 2004).

Menurut Fardiaz (1995), sumber pencemaran gas CO terutama berasal dari pemakaian bahan bakar fosil (minyak maupun batu bara) pada mesin-mesin penggerak transportasi. Untuk melihat andil transportasi sebagai sumber utama pencemar gas CO, hasil penelitian di negara industri (terutama Amerika) seperti tercantum pada tabel:

**Tabel 4.**  
**Sumber Pencemar Gas CO dari Transportasi**

<b>Sumber Pencemar</b>	<b>% bagian</b>	<b>% total</b>
<b>Transportasi</b>		63,8
- Mobil bensin	59,0	
- Mobil diesel	0,2	
- Pesawat terbang	2,4	
- Kereta api	0,1	
- Kapal laut	0,1	
- Sepeda motor, dll	1,8	
<b>Pembakaran Stasioner</b>		1,9
- Batu bara	0,8	
- Minyak	0,1	
- Gas alam (dapat diabaikan)	0,0	
- Kayu	1,0	
<b>Proses industri</b>		9,6
<b>Pembakaran limbah padat</b>		7,8
<b>Lain-lain sumber</b>		16,9
- Kebakaran hutan	7,2	
- Pembakaran batu bara sisa	1,2	
- Pembakaran limbah pertanian	8,3	
- Pembakaran lain-lainnya	0,2	
	100,0	100,0

#### 4. Hidrokarbon (HC)

Pencemaran udara oleh hidrokarbon (HC) dapat berasal dari HC yang berupa gas apabila HC tersebut termasuk suku rendah, atau dari yang berupa cairan apabila HC termasuk suku sedang, dan dapat pula dari yang berupa padatan apabila HC tersebut termasuk suku tinggi. Apabila HC berupa gas maka akan tercampur bersama bahan pencemar lainnya. Kalau HC berupa cairan maka HC tersebut akan membentuk kabut minyak (*droplet*) yang keberadaannya di udara akan sangat mengganggu lingkungan. Sedangkan kalau bahan pencemar HC berupa padatan maka udara akan tampak seperti asap hitam. Seringkali pencemaran udara oleh HC merupakan gabungan dari ketiga macam bentuk HC tersebut (Wardhana, 2004).

Adanya hidrokarbon di atmosfer, terutama metana, berasal dari sumber-sumber alami terutama proses-proses biologi, walaupun sejumlah kecil juga dapat berasal dari aktivitas geotermal seperti sumber gas alam dan minyak bumi, api alam, dan sebagainya. Jumlah terbesar diproduksi selama dekomposisi bahan organik pada permukaan tanah. Konsentrasi hidrokarbon di udara pedesaan kira-kira mencapai 1.0 – 1.5 ppm metana, dan kurang dari 1.00 ppm berasal dari sumber-sumber lainnya. Hidrokarbon yang diproduksi oleh manusia yang terbanyak berasal dari transportasi, sedangkan sumber lainnya misalnya dari pembakaran gas, minyak, arang dan kayu, proses-proses industri, pembuangan sampah, kebakaran hutan dan ladang, evaporasi pelarut organik, dan sebagainya. Seperti halnya polutan CO dan NO<sub>x</sub>, transportasi merupakan sumber polutan utama

buatan manusia yaitu mencakup lebih dari 50% dari jumlah seluruhnya dengan sumber-sumber lainnya dari buatan manusia (Fardiaz, 1995).

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Walaupun resiko perbandingan antara udara dan bensin (AFR=Air-to-Fuel-Ratio) sudah tepat dan didukung oleh desain ruang bakar mesin saai ini yang sudah mendekati ideal, tetapi tetap saja sebagian dari bensin seolah-olah dapat “bersembunyi” dari api saat terjadi proses pembakaran dan menyebabkan emisi HC pada ujung knalpot tinggi. Emisi HC dapat ditekan dengan cara memberikan tambahan panas dan oksigen diluar ruang bakar untuk menuntaskan proses pembakaran (xlusi.com, diakses 04 Juni 2012).

##### 5. Oksigen ( $\text{O}_2$ )

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Ia merupakan unsur golongan kalkogen dan dapat dengan mudah bereaksi dengan hampir semua unsur lainnya (utamanya menjadi oksida). Pada Temperatur dan tekanan standar, dua atom unsur ini berikatan menjadi dioksigen, yaitu senyawa gas diatomik dengan rumus  $\text{O}_2$  yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Oksigen merupakan unsur paling melimpah ketiga di alam semesta

berdasarkan massa dan unsur paling melimpah di kerak Bumi. Gas oksigen diatomik mengisi 20,9% volume atmosfer bumi.

Semua kelompok molekul struktural yang terdapat pada organisme hidup, seperti protein, karbohidrat, dan lemak, mengandung oksigen. Demikian pula senyawa anorganik yang terdapat pada cangkang, gigi, dan tulang hewan. Oksigen dalam bentuk  $O_2$  dihasilkan dari air oleh sianobakteri, ganggang, dan tumbuhan selama fotosintesis, dan digunakan pada respirasi sel oleh hampir semua makhluk hidup. Oksigen beracun bagi organisme anaerob, yang merupakan bentuk kehidupan paling dominan pada masa-masa awal evolusi kehidupan.  $O_2$  kemudian mulai berakumulasi pada atmosfer sekitar 2,5 miliar tahun yang lalu. Terdapat pula alotrop oksigen lainnya, yaitu ozon ( $O_3$ ). Lapisan ozon pada atmosfer membantu melindungi biosfer dari radiasi ultraviolet, namun pada permukaan bumi ia adalah polutan yang merupakan produk samping dari asbut (Wikipedia.org, diakses 14 Maret 2012).

Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi  $CO_2$ . Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon (xlusi.com, diakses 04 Juni 2012).

## 6. Pengaruh Karbon Monoksida

Menurut Wardhana (2004), karbon monoksida (CO) apabila terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang akan dibutuhkan oleh tubuh. Hal

ini dapat terjadi karena gas CO bersifat racun metabolisme, ikut bereaksi secara metabolisme dengan darah. Seperti halnya oksigen, gas CO bereaksi dengan darah (hemoglobin) :

Hemoglobin + O<sub>2</sub> → O<sub>2</sub>Hb (oksihemoglobin)

Hemoglobin + CO → COHb (karboksihemoglobin)

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 ternyata tidak sama dengan manusia yang satu dengan yang lainnya.

Konsentrasi gas CO disuatu ruang akan naik bila di ruangan itu ada orang yang merokok. Orang yang merokok akan mengeluarkan asap rokok yang mengandung gas CO dengan konsentrasi lebih dari 20.000 ppm yang kemudian menjadi encer sekitar 400-5000 ppm selama dihisap. Konsentrasi gas CO yang tinggi didalam asap rokok menyebabkan kandungan COHb dalam darah orang yang merokok jadi meningkat. Keadaan ini sudah barang tentu sangat membahayakan kesehatan orang yang merokok. Orang yang merokok dalam waktu yang cukup lama (perokok berat) konsentrasi CO-Hb dalam darahnya sekitar 6,9%. Hal inilah yang menyebabkan perokok berat mudah terkena serangan jantung.

Menurut Fardiaz (1992), faktor penting yang menentukan pengaruh CO terhadap tubuh manusia adalah konsentrasi COHb yang terdapat di dalam darah, dimana semakin tinggi persentase hemoglobin yang terkait dalam bentuk COHb, semakin parah

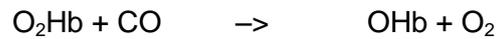
pengaruhnya terhadap kesehatan manusia. Hubungan antara konsentrasi COHb di dalam darah dan pengaruhnya terhadap kesehatan dapat dilihat pada tabel.

Tabel 5.  
Pengaruh Konsentrasi COHb di Dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruh terhadap kesehatan
<1.0	Tidak ada pengaruh
1.0-2.0	Penampilan agak tidak normal
2.0-5.0	Pengaruhnya terhadap sistem saraf sentral, reaksi panca indra tidak normal, benda terlihat agak kabur
≥5.0	Perubahan fungsi jantung dan pulmonari
10.0-80.0	Kepala pening, mual, berkunang-kunang, pingsan, kesukaran bernafas, kematian

Pengaruh konsentrasi gas CO di udara sampai dengan dengan 100 ppm terhadap tanaman hampir tidak ada, khususnya pada tanaman tingkat tinggi. Bila konsentrasi gas CO di udara mencapai 2000 ppm dan waktu kontak lebih dari 24 jam, maka akan mempengaruhi kemampuan fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas yang ada pada lingkungan terutama yang terdapat pada akar tanaman.

Gas CO sangat berbahaya, tidak berwarna dan tidak berbau, berat jenis sedikit lebih ringan dari udara (menguap secara perlahan ke udara), CO tidak stabil dan membentuk CO<sub>2</sub> untuk mencapai kestabilan fasa gasnya. CO berbahaya karena bereaksi dengan haemoglobin darah membentuk Carboxy haemoglobin (CO-Hb). Akibatnya fungsi Hb membawa oksigen ke sel-sel tubuh terhalangi, sehingga gejala keracunan sesak nafas dan penderita pucat. Reaksi CO dapat menggantikan O<sub>2</sub> dalam haemoglobin dengan reaksi :



Penurunan kesadaran sehingga terjadi banyak kecelakaan, fungsi sistem kontrol syaraf turun serta fungsi jantung dan paru-paru menurun bahkan dapat menyebabkan kematian. Waktu tinggal CO dalam atmosfer lebih kurang 4 bulan. CO dapat dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> dalam atmosfer adalah HO dan HO<sub>2</sub> radikal, atau oksigen dan ozon. Mikroorganisme tanah merupakan bahan yang dapat menghilangkan CO dari atmosfer.

Gas karbon monoksida adalah gas yang relative tidak stabil dan cenderung bereaksi dengan unsur lain. Karbon monoksida dapat diubah dengan mudah menjadi CO<sub>2</sub> dengan bantuan sedikit oksigen dan panas (xlusi.com, diakses 04 Juni 2012).

#### 7. Pengaruh Hidrokarbon (HC)

Menurut Wardhana (2004), kalau pencemaran udara oleh HC juga disertai dengan bahan pencemar NO<sub>x</sub> maka dengan oksigen bebas yang ada di udara akan membentuk Peroxy Acetyl Nitrates (PAN). Selanjutnya PAN ini bersama-sama dengan CO, Ozon akan membentuk kabut foto kimia. Kabut foto kimia ini dapat merusak tanaman. Kerusakan pada tanaman ini antara lain dapat dilihat pada warna daun yang tampak pucat karena sel-sel pada permukaannya mati.

Tabel 6.  
Toksistas Benzena dan Toluena

Senyawa HC	Konsentrasi (ppm)	Pengaruhnya terhadap tubuh
Benzena	100	Iritasi terhadap mukosa
	3.000	Lemas (0,5-1 jam)
	7.500	Paralysys (0,5-1 jam)
	20.000	Kematian (5-10 menit)
Toluena	200	Pusing, lemah, pandangan kabur setelah 8 jam
	600	Gangguan syaraf dan dapat diikuti kematian setelah kontak dalam waktu yang lama.

Sebenarnya HC dalam jumlah sedikit tidak begitu membahayakan kesehatan manusia, walaupun HC juga bersifat toksik. Namun, kalau HC berada di udara dalam jumlah banyak dan tercampur dengan bahan pencemar lain maka sifat toksiknya akan meningkat. Sifat toksik HC akan lebih tinggi kalau berupa bahan pencemar gas, cairan, dan padatan. Hal ini karena padatan HC (partikel) dan HC cairan akan membentuk ikatan-ikatan baru dengan bahan pencemar lainnya. Ikatan baru ini sering disebut dengan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* yang disingkat PAH. Pada umumnya PAH ini merangsang terbentuknya sel-sel kanker apabila terhisap masuk ke dalam paru-paru. PAH yang bersifat karsinogenik ini banyak terdapat di daerah industri dan daerah yang padat lalu lintasnya. Sumber utama timbulnya PAH adalah gas buangan hasil pembakaran bahan bakar fosil (Wardhana, 2004).

## 8. Pengaruh Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Menurut Fardiaz (1995), aktivitas filter dari CO<sub>2</sub> mengakibatkan suhu atmosfer dan bumi akan meningkat. Keadaan ini disebut pengaruh rumah kaca karena suhu rumah kaca juga meningkat oleh adanya atap dan dinding kaca yang merupakan filter satu arah. Hal yang sama juga terjadi jika kita duduk di dalam mobil pada siang hari.

Telah diduga bahwa kenaikan CO<sub>2</sub> atmosfer sebanyak dua kali yaitu dari 0,03% sampai 0,06% mengakibatkan kenaikan suhu permukaan bumi di dunia sebanyak 4.25<sup>0</sup>F. Kenaikan ini akan terjadi jika konsentrasi partikel di atmosfer tetap konstan. Kenaikan suhu ini akan mengakibatkan bertambahnya pelelehan gunung es dan salju, dan kemungkinan menyebabkan bertambahnya kedalaman laut. Tetapi hal ini tidak akan terjadi jika diperhitungkan kebutuhan energi untuk melelehkan es (Fardiaz, 1995).

## 9. Pengaruh Oksigen (O<sub>2</sub>)

Oksigen punya peranan vital bagi tubuh manusia. Untuk mendapatkan energi, selain gula atau glukosa, tubuh kita membutuhkan oksigen sebagai bahan bakar. Reaksi kimia antara gula dan oksigen akan menghasilkan Adenosine Tri Phosphate (ATP) yang disebut sebagai "energi murni sel". Kekurangan oksigen akan menurunkan cadangan energi tubuh. Anda akan merasa mudah capek. Selain itu, kekurangan ATP akan mengganggu sinyal elektis dari otak ke otot sehingga membuat otot lelah (Baskara, 2008).

Oksigen secara umum menyediakan untuk pertumbuhan akar tanaman, mikroba tanah, dan zat-zat anorganik dalam drainase tanah.

Oksigen berdifusi ke bawah dari permukaan tanah melalui pori-pori tanah. Sampai tanah menjadi sangat basah, laju oksigen biasanya cepat. Air mengisi pori-pori kecil pertama, meninggalkan pori-pori yang lebih besar dan terbuka untuk transfer gas. Jika pori-pori besar merata diseluruh permukaan tanah, difusi oksigen hanya memerlukan jarak yang pendek melalui larutan tanah ke akar dan mikroorganisme. Jarak ini sangat berpengaruh dan dianggap penting, meskipun difusi melalui fase gas 10.000 kali lebih cepat dibandingkan dengan fase cair (Alwathoni, 2011).

Jika jalur difusi yang melalui besarnya larutan tanah sangat panjang, ini akan menyebabkan akar dan mikroba akan kekurangan suplai oksigen. Bahkan lapisan tipis (*thin film*) pada air dapat menghalangi difusi oksigen, terutama ketika mikroorganisme secara aktif mengkonsumsi oksigen. Mikroba dan akar mengkonsumsi oksigen untuk metabolisme, atau memperoleh energi dari molekul organik dalam tanah dan pada akar. Kondisi anaerobik, tidak tersedianya oksigen dalam bentuk bebas akan memperlambat tingkat metabolisme akar dan serapan ion. Melemahkan akar terhadap pathogen tanah, dan meningkatkan konsentrasi ion, mengurangi reduksi dalam tanah dalam larutan tanah (Alwathoni, 2011).

## 10. Pencegahan

Dalam Nugraha (2011), pencegahan pencemaran udara dapat dilakukan antara lain melalui:

### a. Sumber Bergerak

- 1) Merawat mesin kendaraan bermotor agar tetap baik

- 2) Melakukan pengujian emisi dan KIR kendaraan secara berkala
  - 3) Memasang filter pada knalpot
- b. Sumber tidak bergerak
- 1) Memasang scuber pada cerobong asap
  - 2) Marawat mesin industri agar tetap baik dan lakukan pengujian secara berkala
  - 3) Menggunakan bahan bakar minyak atau batu bara dengan kadar CO rendah.

c. Manusia

Apabila kadar CO dalam udara ambien telah melebihi baku mutu ( $10.000 \text{ ug/ Nm}^3$  udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam) maka untuk mencegah dampak kesehatan dilakukan upaya-upaya:

- 1) Menggunakan alat pelindung diri (APD) seperti masker gas
- 2) Menutup/ menghindari tempat-tempat yang diduga mengandung CO seperti sumur tua, goa, dll.

## 11. Kendaraan

a. Pengertian

Kendaraan adalah suatu sarana angkut di jalan yang terdiri atas Kendaraan Bermotor dan Kendaraan Tidak Bermotor (UU No.22 tahun 2009).

Kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik yang berada pada kendaraan itu (PP DIY No. 5 tahun 2007).

Sepeda Motor adalah kendaraan bermotor beroda dua, atau tiga tanpa rumah-rumah baik dengan atau tanpa kereta samping (PP No.44 tahun 1993).

b. Cara kerja mesin 4 Tak

1) Intake/hisap

Disebut langkah intake/hisap karena langkah pertama adalah menghisap melalui piston dari karburator. Pasokan bahan bakar tidak cukup hanya dari semprotan karburator. Cara kerjanya adalah sbb. Piston pertama kali berada di posisi atas (atau disebut Titik Mati Atas/ TMA). Lalu piston menghisap bahan bakar yang sudah disetting/ dicampur antara bensin dan udara di karburator. Piston lalu mundur menghisap bahan bakar. Untuk membuka, diperlukan klep atau valve inlet yang akan membuka pada saat piston turun/ menghisap ke arah bawah. Gerakan valve atau inlet diatur oleh camshaft secara mekanis. Yakni, camshaft mengatur besaran bukaan klep dengan cara menekan tuas klep. Camshaft sendiri digerakan oleh rantai keteng yang disambungkan antara camshaft ke crankshaft. Beberapa mobil Eropa seperti Mercedes menggunakan rantai sebagai penghubung antara crankshaft dan camshaft, tetapi umumnya di mobil Jepang menggunakan belt yang kita kenal sebagai timing belt.

2) Kompresi

Langkah ini adalah lanjutan dari langkah di atas. Setelah piston mencapai titik terbawah di tahapan intake, lalu valve

intake tertutup, dan dilakukan proses kompresi. Yakni, bahan bakar yang sudah ada di ruang bakar dimampatkan. Ruangan sudah tertutup rapat karena kedua valve (intake dan exhaust) tertutup. Proses ini terus berjalan sampai langkah berikut yakni meledaknya busi di langkah ke 3.

### 3) Combustion

Tahap berikut adalah busi pada titik tertentu akan meledak setelah piston bergerak mencapai titik mati atas dan mundur beberapa derajat. Jadi, busi tidak meledak pada saat piston di titik paling atas (disebut titik 0 derajat), tetapi piston mundur dulu, baru meledak. Hal ini karena untuk menghindari adanya energi yang terbuang sia-sia karena pada saat piston di titik mati atas, masih ada energi laten (yang tersimpan akibat dorongan proses kompresi). Jika pada titik 0 derajat busi meledak, bisa jadi piston mundur tetapi mengengkol crankshaft ke arah belakang (motor mundur ke belakang, bukan memutar roda ke depan). Setelah proses pembakaran, maka piston memiliki energi untuk mendorong crankshaft yang nantinya akan dialirkan melalui gearbox dan sproket, rantai, dan terakhir ke roda.

### 4) Exhaust(Pembuangan)

Langkah terakhir ini dilakukan setelah pembakaran. Piston akibat pembakaran akan terdorong hingga ke titik yang paling bawah, atau disebut Titik Mati Bawah (TMB). Setelah itu, piston akan mendorong ke depan dan klep exhaust membuka sementara klep intake tertutup. Oleh karena itu, maka gas buang

akan terdorong masuk ke lubang Exhaust Port (atau kita bilang lubang sambungan ke knalpot). Dengan demikian, maka kita bisa membuang semua sisa gas buang akibat pembakaran. Dan setelah bersih kembali, lalu kita akan masuk lagi mengulangi langkah ke 1 lagi (Forum.otomotifnet.com).

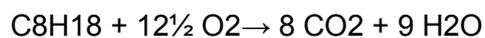
c. Pembakaran

Pembakaran didefinisikan sebagai proses oksidasi senyawa baik organik maupun non organik dengan adanya oksigen membentuk CO<sub>2</sub> dan air (H<sub>2</sub>O). Tujuan dari pembakaran adalah:

1. Mengurangi emisi gas
2. Pengendalian terhadap bau
3. Mengurangi resiko kebakaran dari bahan mudah terbakar

Dalam proses pembakaran, terdapat tiga komponen yang harus diperhatikan, yaitu:

- a. *Fuel* (bahan bakar), merupakan senyawa yang apabila dibakar akan melepaskan energi yang berasal dari ikatan kimia yang pecah atau terurai, misalnya dalam hal ini dianggap reaksi pembakaran sempurna, reaksi:



- b. Oksigen (O<sub>2</sub>), proses pembakaran dapat dilakukan apabila terdapat oksigen (O<sub>2</sub>). Sumber utama oksigen berasal dari udara ambien (sekitar 21% oksigen terdapat di udara bebas).

- c. Pengencer (*diluent*), umumnya dalam proses pembakaran oksigen diambil dari udara bebas, di mana di udara bebas ini terdapat gas-gas lain, misalnya N<sub>2</sub> yang besarnya sekitar 79% dari udara bebas. Udara pengencer ini tidak ikut dalam proses pembakaran, tetapi beraksi sendiri (N<sub>2</sub> membentuk gas NO) (Boedisantoso, 2002).

## 12. Fungsi *Glass wool* dan Zeolit

### a. *Glass wool*

*Glass wool* merupakan bahan isolasi yang terbuat dari fiberglass, disusun menjadi sebuah tekstur yang mirip dengan wol. *Glass wool* diproduksi dalam gulungan atau dalam lempengan, dengan sifat mekanik dan termal yang berbeda-beda. Sifat mekanik *glass wool* adalah meredam suara dan sebagai pengganjal. Sifat termal *glass wool* adalah sebagai isolator (penghambat laju perpindahan panas). Pada kendaraan, *glass wool* umumnya digunakan untuk isolasi pada knalpot. Fungsinya adalah mereduksi resonansi pada knalpot sehingga suara raungan dari keluarnya gas buang sisa pembakaran tidak nyaring atau bising. Bila *glass wool* pada knalpot dibuang, suara knalpot akan jauh lebih nyaring atau bising. Selain pada knalpot, di dunia industri, *glass wool* digunakan misalkan untuk isolator panas. Misalkan ada pipa penyalur air panas, supaya panas air tidak terbangung percuma ketika melintasi pipa, maka pipa diselubungi *glass wool* supaya laju perpindahan panas melambat, sehingga air panas tidak terbangung percuma suhunya ketika melewati pipa.

Karena fungsi penggunaannya banyak, maka jenis *glass wool* sendiri juga bervariasi, sangat tergantung dari material komposisinya serta cara pembuatannya. Bahan dasarnya memang dari serabut fiberglass, tapi tentu saja ada racikan tersendiri (campuran tambahan) untuk masing-masing fungsi yang nantinya diharapkan bisa diakomodir oleh *glass wool* tersebut (Wikipedia.org, diakses 15 Februari 2012).

*Glass wool* terbuat dari serat-serat bebas bersifat fleksibel yang berasal dari serat mentah. Karena sifatnya yang ringan dan fleksibel *glass wool* mudah digunakan pada ruang yang sempit, selain itu karena sifatnya yang fleksibel maka *glass wool* mudah dibentuk sesuai yang diinginkan dan pemasangannya menjadi lebih mudah (Subekti, 2009).

#### b. Zeolit

Menurut Purwanti (2000) dalam Nugroho (2005), sebagai mineral alumina silikat, zeolit memiliki sifat khusus yaitu memiliki gugus aktif yang terdapat pada rongga-rongga molekul sehingga menjadi dasar kemampuan sebagai katalisator yang didukung oleh besarnya pori-pori dengan permukaan yang maksimal. Sebagai adsorben, zeolit aktif terdapat hidrokarbon,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{NO}_2\text{S}$ . Suhu kerja zeolit sebagai adsorben relatif tinggi yaitu mulai 400-600°C (Tjokrokusumo, 1998).

Mekanisme konversi gas CO dengan katalis keramik zeolit adalah sebagai berikut:

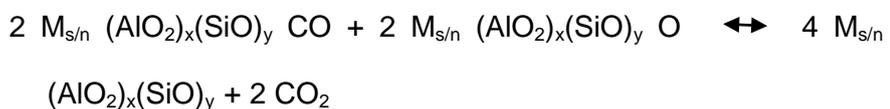
1. Difusi dari molekul gas karbon monoksida dan oksigen pada permukaan

2. Adsorpsi gas karbon monoksida dan oksigen pada permukaan katalis

3. Reaksi pada permukaan



4. Desorpsi dari gas  $\text{CO}_2$

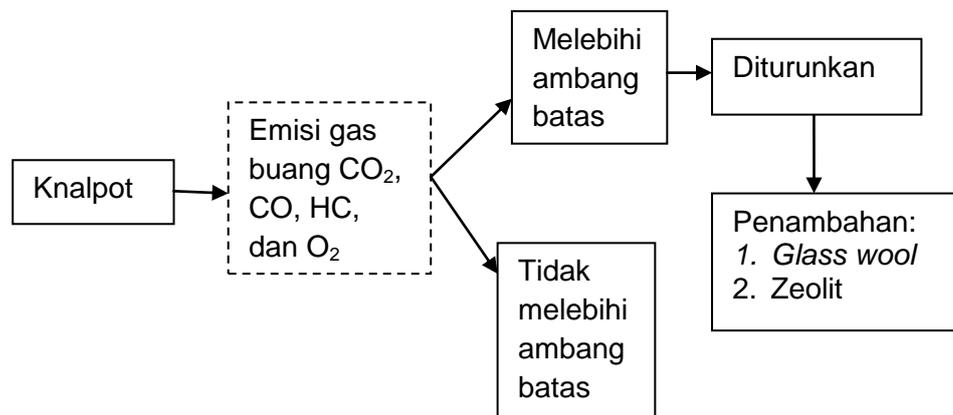


5. Difusi gas karbon dioksida yang terdesorpsi.

Menurut Nurhadi (2011), dalam penelitian ini terbukti zeolit mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga sebesar 17,31% pada pengujian road test jarak tempuh 3 km. Sedangkan pada pengujian akselerasi 0-80 km/jam mampu mempercepat waktu tempuh sebesar 10,27 % dan akselerasi 40-80 km/jam mampu mempercepat waktu 9,58 %. Untuk pengujian emisi, zeolit mampu menurunkan konsentrasi polutan gas HC hingga 37, 73 % pada putaran 3500 rpm dengan menggunakan zeolit sebanyak 240 ml, konsentrasi polutan gas  $\text{CO}_2$  turun sebesar 22,61 % pada putaran 3000 rpm dengan menggunakan zeolit sebanyak 240 ml sedangkan konsentrasi polutan gas CO turun 19,55 % pada putaran 2000 rpm dengan menggunakan zeolit sebanyak 240 ml. Pengujian umur zeolit, umur pakai zeolit yang terbaik didapat

setelah menempuh jarak 60 km (dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam maka didapat waktu jenuh zeolit yaitu sekitar 1 jam).

## B. Kerangka Konsep



Keterangan:

= Variabel yang diteliti

= Variabel yang tidak diteliti

Gambar 1. Kerangka konsep

## C. Hipotesis

Ada pengaruh penambahan *glass wool* dan zeolit terhadap penurunan emisi gas buang CO<sub>2</sub>, CO, HC, dan O<sub>2</sub> pada knalpot sepeda motor.