

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lingkungan Hidup

Lingkungan menurut Slamet Ryadi (1976) adalah tempat dengan segala sesuatunya, dimana organisme hidup beserta segala keadaan dan kondisinya, yang secara langsung maupun tidak langsung dapat diduga ikut mempengaruhi tingkat kehidupan maupun kesehatan dari organisme tersebut. (Margono dkk, 1991)

Menurut Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup Nomor 23 tahun 1997, yang dimaksud dengan lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup termasuk manusia dari perlakuannya yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. (Anonim, 1997)

2.2. Pencemaran Udara

2.2.1. Udara

Udara merupakan campuran dari beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara adalah juga atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di bumi ini (Wardhana, 1994).

Gas yang terbanyak didalam udara adalah nitrogen (N_2) dan oksigen (O_2). Menurut Wardhana (1994), kandungan nitrogen yang terdapat di udara bersih sekitar 78 %, sedangkan kandungan oksigen sekitar 22 %. Oksigen sangat penting untuk mendukung kehidupan makhluk hidup dan memungkinkan terjadinya pembakaran bahan bakar. Nitrogen merupakan penyubur tanaman. Bakteri menggunakan nitrogen dari udara untuk menyuburkan tanah. Udara juga melindungi bumi dari radiasi berbahaya seperti sinar ultra violet yang berasal dari ruang angkasa.

2.2.2. Definisi Pencemaran Udara

Dalam PP RI No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pengertian 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 ketinggian tertinggi yang menyebabkan tidak dapat memenuhi fungsinya (Anonim, 1999)

Menurut Wardhana (1994) pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing didalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing didalam udara dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan binatang.

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polutan sama sekali. Beberapa gas seperti sulfur dioksida (SO_x), hidrogen sulfida (H_2S), dan karbon monoksida (CO) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya. Selain disebabkan polutan alami, polusi udara juga dapat dibebkan oleh aktivitas manusia.

Pada intinya pengertian pencemaran udara adalah masuknya, atau tercampurnya, unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer baik disebabkan oleh aktivitas manusia maupun proses alami yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan pada kesehatan manusia serta secara umum menurunkan kualitas lingkungan. Pencemaran udara dapat terjadi di mana-mana, misalnya, di dalam rumah, sekolah, kantor atau yang sering disebut sebagai pencemaran dalam ruang (*indoor pollution*). Selain itu, gejala ini secara akumulatif juga terjadi di luar ruang (*outdoor pollution*) mulai dari tingkat lingkungan rumah, perkotaan, hingga ke tingkat regional, bahkan saat ini sudah menjadi gejala global.

2.2.3. Sumber Pencemar Udara

Kehadiran polutan-polutan di dalam udara pada umumnya berasal dari aktivitas manusia sebagai akibat perkembangan budaya, penggunaan teknologi baru, serta pola konsumtif yang berlebihan.

Sumber penyebab pencemaran udara terdiri dari :

1. Industri

Sektor industri merupakan penyumbang pencemaran udara melalui penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit tenaga. Salah satu penyebab meningkatnya pencemaran udara di Indonesia adalah urbanisasi dan industrialisasi yang tumbuh dengan cepat tetapi tidak dibarengi dengan pengendalian pencemaran yang memadai dan efisien dalam penggunaan bahan bakar fosil.

2. Emisi Kendaraan Bermotor

Kegiatan transportasi memberikan kontribusi terbesar terhadap pencemaran udara di kota-kota besar. Emisi kendaraan bermotor yang dikeluarkan melalui knalpot berupa senyawa kimia yang berbahaya bagi atmosfer berasal dari proses pembakaran adalah karbon dioksida, karbon monoksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida, dan beberapa partikel mikro seperti timbal sebagai campuran bahan bakar.. (Anonim, 2004)

Tabel. 2.1. Perkiraan persentasi komponen pencemar udara dari sumber pencemar transportasi di Indonesia

Komponen Pencemar	Persentase (%)
CO	70.50
NO _x	8.89
SO _x	0.88
HC	18.34
Partikel	1.33
Total	100

Sumber: Wardhana (1994)

Selain dari kedua sumber pencemar udara diatas, pencemaran udara dapat ditimbulkan dari aspek lain seperti aktivitas alam, pembuangan sampah, pembakaran stasioner, dan lain-lain

Menurut Moestikahadi (1999), dilihat dari segi fisik, bahan pencemar udara berupa:

1. Partikel (debu, aerosol, timah hitam)
2. Gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S, Hidrokarbon)
3. Energi (suhu dan kebisingan)

Menurut Soedomo (2001), berdasarkan dari kejadiannya terbentuk pencemar di udara terdiri dari :

1. Pencemar primer (yang diemisikan langsung dari sumber) dan,
2. Pencemar sekunder (yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat).

2.3. Sulfur Oksida (SO_x)

2.3.1. Sumber Polusi Sulfur Oksida (SO_x)

Sulfur Oksida (SO_x) merupakan gas jernih dan tidak berwarna yang merupakan bagian dari pencemar udara, kadarnya bisa mencapai 18 %. Gas ini baunya menyengat dan amat membahayakan bagi kehidupan manusia. Sulfur oksida banyak dihasilkan akibat adanya aktivitas manusia, antara lain industri-industri yang menggunakan proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar batu bara, maupun proses-proses peleburan/pemurnian logam. Terutama akibat terjadinya pembakaran dari senyawa-senyawa yang mengandung belerang. (Tresna. A, 1991).

Hanya sepertiga dari jumlah sulfur yang terdapat di atmosfer merupakan hasil dari aktivitas manusia, dan kebanyakan dalam bentuk SO₂. Sebanyak dua pertiga dari jumlah sulfur di atmosfer berasal dari sumber-sumber alam seperti vulkano, dan terbentuk dalam bentuk H₂S.

Transportasi bukan merupakan sumber utama polutan SO_x, tetapi pembakaran bahan bakar pada sumbernya merupakan sumber utama polutan SO_x, misalnya pembakaran batu arang, minyak bakar, gas, kayu dan sebagainya. Sumber SO_x yang kedua adalah dari proses-proses industri pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri peleburan baja dan sebagainya

Tabel 2.2. Sumber Pencemaran SO_x

Sumber pencemaran	% bagian	% total
Transportasi		2.4
- mobil bensin	0.6	
- mobil diesel	0.3	
- pesawat terbang (diabaikan)	0.0	
- kereta api	0.3	
- kapal laut	0.9	
- sepeda motor dll.	0.3	
Pembakaran stasioner		73.5
- batubara	60.5	
- minyak (distilasi)	1.2	
- minyak (residu)	11.8	
- gas alam (diabaikan)	0.0	
- kayu	0.0	
Proses industri		22.0
Pembuangan limbah padat		0.3
Lain-lain		1.8
- kebakaran hutan	0.0	
- pembakaran batubara sisa	1.8	
Jumlah	100.0	100.0

Sumber: Wardhana, 1994

2.3.2. Reaksi Pembentukan Sulfur Oksida (SO_x)

Polusi oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃), dan kedua-duanya disebut SO_x. Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Meskipun udara tersedia dalam

jumlah cukup, SO_2 selalu terbentuk dalam jumlah yang terbesar. Jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi reaksi, terutama suhu, dan bervariasi dari 1 sampai 10% dari total SO_x .

Mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut :



SO_3 biasanya diproduksi dalam jumlah kecil selama pembakaran. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yang menyangkut reaksi tersebut diatas. Faktor pertama adalah kecepatan reaksi yang terjadi, dan faktor kedua adalah konsentrasi SO_3 dalam campuran kesetimbangan yang dihasilkan dari reaksi tersebut. Reaksi pembentukan SO_3 berlangsung sangat lambat pada suhu relatif rendah (misalnya pada suhu 200°C), tetapi kecepatan reaksi meningkat dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu produksi SO_3 dirangsang pada suhu tinggi karena faktor kecepatan. Tetapi kecepatan reaksi yang dihasilkan pada suhu rendah mengandung prosentase SO_3 lebih tinggi daripada campuran yang dihasilkan pada suhu tinggi. Jadi faktor konsentrasi kesetimbangan merangsang produksi SO_3 pada suhu lebih rendah. Jelas bahwa kedua faktor tersebut mempunyai kecenderungan untuk menghambat satu sama lain selama pembakaran. Pada suhu tinggi, reaksi mengakibatkan kesetimbangan tercapai dengan cepat karena kecepatan reaksi tinggi, tetapi hanya sedikit SO_3 terdapat

didalam campuran. Pada suhu rendah, reaksi berlangsung sangat lambat sehingga kondisi kesetimbangan (sesuai dengan konsentrasi SO_3 tinggi) tidak pernah tercapai. Jadi produksi SO_3 terhambat pada zona pembakaran suhu tinggi karena kondisi kesetimbangan. Jika produksi dijauhkan dari zona tersebut dan didinginkan, kondisi kesetimbangan dapat tercapai, tetapi kecepatan reaksi akan menghambat pembentukan SO_3 dalam jumlah tinggi.

Adanya SO_3 diudara dalam bentuk gas hanya mungkin jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah yang cukup seperti biasanya, SO_3 dan air akan segera bergabung membentuk *droplet* asam sulfat (H_2SO_4) dengan reaksi sebagai berikut:

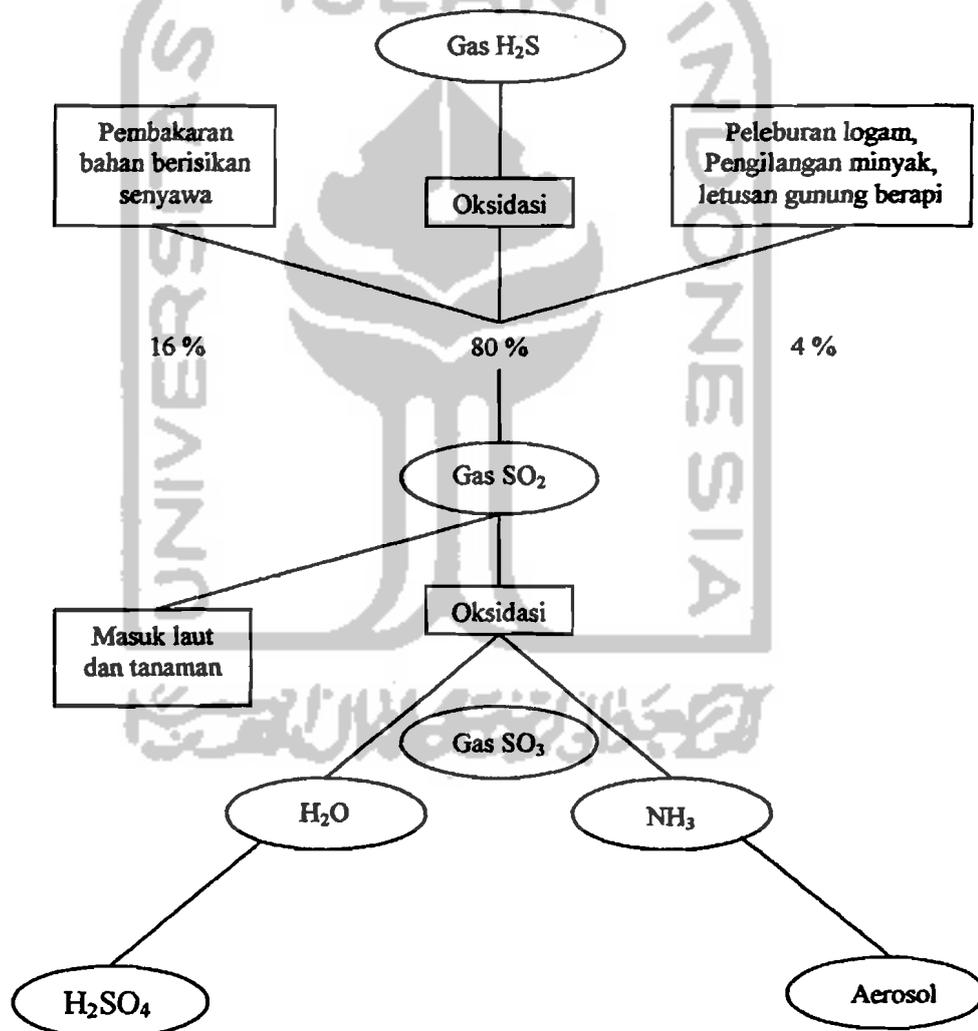


Oleh karena itu komponen yang normal terdapat di dalam atmosfer ternyata bukan SO_3 melainkan H_2SO_4 . Tetapi jumlah H_2SO_4 atmosfer lebih tinggi daripada yang dihasilkan dari emisi SO_3 , hal ini menunjukkan bahwa hasil H_2SO_4 juga berasal dari mekanisme-mekanisme lainnya.

Setelah berada di atmosfer, sebagian SO_2 akan diubah menjadi SO_3 (kemudian menjadi H_2SO_4) oleh proses-proses fotolitik dan katalik. Jumlah SO_2 yang teroksidasi menjadi SO_3 dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk sinar yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari, dan jumlah katalik, sorptik dan alkalin yang tersedia. NO_2 dan hidrokarbon merupakan komponen yang sangat penting dalam oksidasi (Fardiaz, 1992).

2.3.3. Perjalanan Sulfur Oksida (SO_x) di Udara

Gas H_2S diproduksi oleh pembusukan bahan organik, letusan gunung berapi, dan akibat industri. Jumlah SO_2 karena oksidasi H_2S adalah 80 %, sisanya 20 % SO_2 lagi adalah hasil ulah manusia, yakni akibat bahan bakar yang mengandung blerang dan pelelehan logam non fero, kilang minyak, dan letusan gunung berapi. (Sastrawijaya, Tresna, A. 1991)



Gambar 2.1. Perjalanan SO_2 di udara

2.3.4. Dampak Pencemaran Sulfur Oksida (SO_x)

2.3.4.1. Dampak SO_x Terhadap Manusia

Pengaruh utama SO_x terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan, beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada konsentrasi SO₂ sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada konsentrasi 1-2 ppm. SO₂ dianggap polutan yang membahayakan bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernafasan dan kardiovaskuler (Fardiaz, 1992).

Tabel 2.3. Pengaruh SO_x terhadap manusia

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
8 – 12	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi pada tenggorokan
20	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi mata
20	Jumlah terkecil yang mengakibatkan batuk
20	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu lama
50 – 100	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu singkat (30 menit)
400 – 500	Berbahaya meskipun kontak secara singkat

Sumber : Fardiaz, 1992

2.3.4.2. Dampak SO_x Terhadap Lingkungan

Udara yang telah tercemar oleh gas sulfur oksida tidak hanya berbahaya bagi manusia, tetapi juga terhadap tumbuhan. Pengaruh gas SO_x pada tanaman dapat menyebabkan tanaman tersebut mati, karena pH tanah terlalu rendah. Menurut Fardiaz (1992) kerusakan tanaman oleh SO_2 dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi SO_2 dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi jika kontak dengan SO_2 pada konsentrasi tinggi pada waktu sebentar, dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati, dan biasanya warnanya memucat. Kontak dengan SO_2 pada konsentrasi rendah dalam waktu lama menyebabkan kerusakan kronis yang ditandai dengan menguningnya warna daun karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil.

Selain dapat menyebabkan kematian pada tanaman, SO_x juga dapat mengakibatkan hujan asam. Persenyawaan sulfur yang ada di udara dapat berikatan dengan kabut yang berisi uap air membentuk H_2SO_3 dan H_2SO_4 yang bersifat asam dan dipresipitaskan ke alam membentuk hujan. Asam yang terbawa oleh hujan tersebut akan dapat menyebabkan kerusakan/korosif terhadap barang-barang logam seperti rel kereta api, kendaraan, sampai pagar halaman. Bahkan akan merusak batu-batuan, candi, genting, bahkan granit. Pengaruh persenyawaan SO_x juga dapat menyebabkan warna barang berubah menjadi rapuh. Misalnya barang-barang dari plastik, karet, kertas dan sebagainya.

Senyawa blerang, ini juga dapat mengancam kehidupan di air. Hujan dan salju yang mengandung senyawa itu akan membawanya ke tanah, sungai, danau dan kolam. Organisme yang hidup di dalam air akan mati jika pH terlalu rendah, misalnya $< 4,0$ ikan-ikan akan mati dan binatang yang hidup di air lainnya juga akan turut terancam kehidupannya. (Sastra Wijaya, Tresna, A 1991)

2.4. Hidrokarbon (HC)

HC atau disebut juga Hidrokarbon, merupakan ikatan yang tersusun oleh penyusun utamanya adalah atom karbon ($Ar = 12$) dan atom Hidrogen ($Ar = 1$). Ikatan yang dibentuk dapat berupa ikatan-ikatan lurus (ikatan rantai) atau ikatan cincin (ikatan tertutup). (Wardhana, 1994)

Hidrokarbon merupakan sumber yang penting karena ia mencakup keseluruhan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, gas asli, dan lain-lain.), dan bahan bakar bio, termasuk juga plastik, lilin dan pelarut. (Anonim, 2005)

Menurut Wardhana (1994), ada dua kemungkinan HC sebagai pencemar udara:

1. HC sebagai emisi akan menjadi bahan pencemar udara apabila HC tidak tercampur rata pada saat pembakaran, sehingga tidak terjadi reaksi dengan oksigen, maka HC ini akan ikut keluar dengan gas buangan hasil pembakaran

2. Kemungkinan lain yang menyebabkan HC sebagai emisi pencemar udara yaitu pada saat HC yang tidak ikut terbakar dengan oksigen mengalami *cracking* akibat suhu yang tinggi dari hasil pembakaran.

2.4.1. Ikatan Hidrokarbon

2.4.1.1. Ikatan Lurus

Ikatan lurus adalah ikatan yang membentuk rantai dengan pola terbuka. Dan salah satu yang tergolong dalam hidrokarbon ikatan lurus adalah Hidrokarbon Alifatik. (Anonim, 2000)

2.4.1.2. Ikatan Cincin

Ikatan cincin adalah ikatan yang membentuk rantai dengan pola tertutup menyerupai cincin. Salah satu hidrokarbon yang termasuk dalam hidrokarbon ikatan cincin adalah Hidrokarbon Alisiklik dan Aromatik.

2.4.1.3. Ikatan Rangkap

Anonim (2000) mengatakan bahwa ikatan rangkap dibedakan menjadi dua, yaitu:

- 1 Ikatan rangkap Satu, merupakan kelompok senyawa alkana dengan rumus C_nH_{2n+2} dan sering disebut ikatan jenuh, yaitu hidrokarbon dengan rantai terbuka dan semua ikatan karbon-karbon merupakan ikatan tunggal. (Anonim, 2000)

- Ikatan rangkap dua dan tiga, merupakan kelompok senyawa dengan rumus C_nH_{2n} (untuk ikatan rangkap dua) dan kelompok senyawa alkuna dengan rumus senyawa C_nH_{2n-2} (untuk ikatan rangkap tiga). Kedua ikatan rangkap ini disebut juga ikatan jenuh karena jumlah atom hidrogennya kurang bila dibandingkan dengan senyawa alkana.

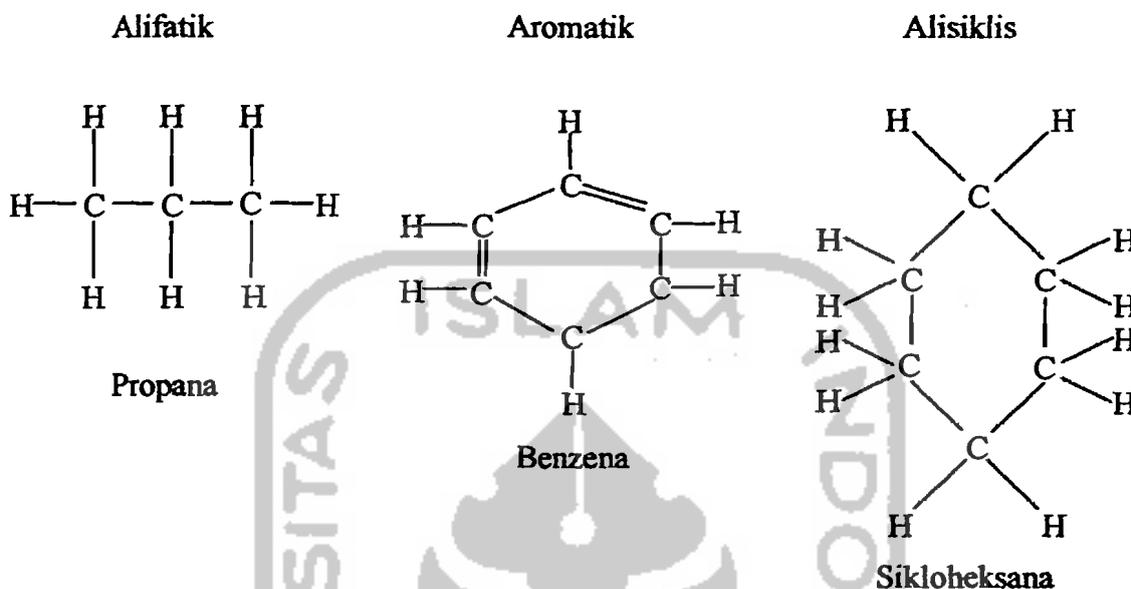
(Anonim, 2000)

2.4.2. Struktur Hidrokarbon

Menurut Wardhana (1994), jumlah atom karbon dalam senyawa hidrokarbon akan menentukan bentuk hidrokarbon, apakah berupa padat, cair atau gas. Pada suhu kamar umumnya HC suku rendah (jumlah atom C sedikit) akan berbentuk gas, HC suku menengah (jumlah atom C sedang) akan berbentuk cairan dan HC suku tinggi (jumlah atom C banyak) akan berbentuk padatan.

Hidrokarbon dibedakan atas tiga kelompok berdasarkan struktur molekulnya, yaitu hidrokarbon alifatik, aromatik, dan alisiklis. Molekul hidrokarbon alifatik tidak mengandung cincin atom karbon, dan semua atom karbon tersusun dalam rantai lurus atau bercabang. Molekul hidrokarbon aromatik mengandung cincin enam karbon (cincin benzena), dan setiap atom karbon dalam cincin tersebut hanya mengandung satu atom tambahan, yaitu C atau H. Hidrokarbon alisiklis adalah hidrokarbon yang mengandung struktur

cincin selain benzena (Fardiaz, 1992). Beberapa contoh hidrokarbon (alifatik, aromatik, dan alisiklis) dapat dilihat pada Gambar 2.2. dibawah ini:



Gambar 2.2. Struktur Molekul Hidrokarbon

2.4.3. Sifat Senyawa Hidrokarbon Sebagai Pencemar

Hidrokarbon dalam bentuk cairan akan membentuk semacam kabut minyak, dalam bentuk padatan akan membentuk asap pekat yang setelah melalui proses pengumpulan akan menjadi debu. Untuk kedua kasus tersebut HC termasuk dalam kelompok pencemar partikel.

Hidrokarbon yang sering menimbulkan masalah dalam polusi udara adalah yang berbentuk gas suhu atmosfer normal atau hidrokarbon yang sangat bersifat volatil (mudah menjadi gas) pada suhu tersebut. Kebanyakan

komponen-komponen tersebut mempunyai struktur yang sederhana, yaitu mengandung 12 atom karbon atau kurang per molekul (Fardiaz, 1992)

2.4.4. Sumber Pencemar Hidrokarbon (HC)

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, minyak bumi, api alam, dan sebagainya.

Tabel 2.4. Sumber Pencemaran HC

Sumber pencemaran	% bagian	% total
Transportasi		51.9
- mobil bensin	47.5	
- mobil diesel	1.3	
- pesawat terbang	0.9	
- kereta api	0.9	
- kapal laut	0.3	
- sepeda motor dll.	1.0	
Pembakaran stasioner		2.2
- batubara	0.6	
- minyak	0.3	
- gas alam (diabaikan)	0.0	
- kayu	1.3	
Proses industri		14.4
Pembuangan limbah padat		5.0
Lain-lain		26.5
- kebakaran hutan	6.9	
- pembakaran batubara sisa	0.6	
- Pembakaran limbah pertanian	5.3	
- penguapan solven organik	9.7	
- pemasaran bahan organik	3.7	
- lain-lain	0.3	
Jumlah	100.0	100.0

Sumber: Wardhana, 1994

Hidrokarbon yang diproduksi oleh manusia yang terbanyak berasal dari transportasi, sedangkan sumber lainnya misalnya berasal dari pembakaran gas, minyak, arang, dan kayu, proses-proses industri, pembuangan sampah, kebakaran hutan dan ladang, evaporasi pelarut organik, dan sebagainya (Fardiaz, 1992)

2.4.5. Oksidan Fotokimia

Oksidan fotokimia adalah komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu suatu proses kimia yang membutuhkan sinar, yang akan mengoksidasi komponen-komponen yang tidak segera dapat dioksidasi oleh gas oksigen. Senyawa yang terbentuk merupakan polutan sekunder yang diproduksi karena interaksi antara polutan primer dengan sinar.

Hidrokarbon merupakan komponen yang berperan dalam produksi fotokimia. Reaksi ini juga melibatkan siklus fotolitik NO_2 . Polutan sekunder yang paling berbahaya yang dihasilkan oleh reaksi hidrokarbon dalam siklus tersebut adalah ozon (O_3) dan *peroksiasetilnitrat*, yaitu salah satu komponen yang paling sederhana dari grup peroksiasilnitrat (PAN).

Ozon bukan merupakan hidrokarbon, tetapi konsentrasi O_3 di atmosfer naik sebagai akibat langsung dari reaksi hidrokarbon, sedangkan PAN merupakan turunan hidrokarbon. Walaupun oksidan fotokimia lainnya juga diproduksi, tetapi jumlahnya sangat kecil dibanding dengan oksidan fotokimia tersebut (Fardiaz, 1992).

Bahaya polusi hidrokarbon bukan disebabkan oleh hidrokarbon tersebut, melainkan oleh produk-produk reaksi fotokimia yang melibatkan hidrokarbon, hidrokarbon tidak bereaksi langsung dengan sinar matahari, tetapi sangat reaktif terhadap komponen-komponen lainnya yang diproduksi secara fotokimia.

2.4.6. Dampak Pencemaran Hidrokarbon (HC)

2.4.6.1. Dampak bagi Manusia

Sampai saat ini belum ada kejadian yang menunjukkan bahwa hidrokarbon pada konsentrasi udara ambien mempunyai pengaruh langsung merugikan bagi manusia. Bererapa penelitian terhadap hewan dan manusia menunjukkan bahwa hidrokarbon alifatik dan alisiklis mempunyai pengaruh yang tidak diinginkan terhadap manusia hanya pada konsentrasi beberapa ratus sampai beberapa ribu kali lebih tinggi daripada konsentrasi yang terdapat di atmosfer. Pada konsentrai kurang dari 500 ppm tidak menunjukkan pangaruh apapun (Fardiaz, 1992).

Tabel 2.5. menunjukkan level toksisitas beberapa hidrokarbon aromatik jenuh. Konsentrasi yang berbahaya tersebut jauh diatas rata-rata konsentrasi normal hidrokarbon di daerah perkotaan, yaitu sekitar 3.2 ppm untuk metana dan 0.03 – 0.10 ppm untuk hidrokarbon lainnya.

Tabel 2.5. Level Toksisitas Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
Benzena C_6H_6	100	Iritasi membran mukosa
	3000	Lemas setelah ½ - 1 jam
	7500	Pengaruh berbahaya setelah ½ - 1 jam
	20000	Kematian setelah 5 - 10 menit
Toluena C_7H_8	200	sedikit pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah 8 jam

Sumber : Fardiaz, 1992

Hidrokarbon aromatik lebih berbahaya dibandingkan dengan hidrokarbon alifatik dan alisiklis. Uapnya lebih bersifat iritasi terhadap membran mukosa, dan luka dibagian dalam dapat terjadi jika menghisap uap komponen aromatik. Tetapi pada konsentrasi kurang dari 25 ppm biasanya tidak berpengaruh.

Oksidan fotokimia masuk kedalam tubuh sebagai bagian dari udara dan pada konsentrasi subletal dapat mengganggu proses pernafasan normal. Selain itu oksidan fotokimia juga dapat menyebabkan iritasi mata (Fardiaz, 1992)

2.4.6.2. Dampak bagi Tanaman

Polusi udara fotokimia dapat mengakibatkan kerusakan pada tanaman. Komponen fotokimia yang paling merusak tanaman adalah ozon, tetapi kelompok PAN juga berperan dalam menyebabkan kerusakan tersebut. Pengaruh ozon yang dapat terlihat langsung pada tanaman adalah terjadinya

pemucatan karena kematian sel-sel pada permukaan daun, dan daun yang lebih tua lebih sensitif terhadap kerusakan tersebut.

Kerusakan tanaman karena PAN memperlihatkan permukaan bawah daun berwarna keperakan dan kerusakan pada daun-daun muda. Tenunan daun kemudian mati. Pemberian PAN dengan konsentrasi 0.02 – 0.05 ppm sudah cukup untuk menyebabkan kerusakan tanaman.

Etilen (C_2H_4) merupakan satu-satunya hidrokarbon yang mengakibatkan kerusakan tanaman pada konsentrasi ambien 1 ppm atau kurang. Asetilen dan propilen juga bersifat racun terhadap tanaman, tetapi konsentrasi yang dibutuhkan adalah 60 – 500 kali sebanyak etilen. Pengaruh etilen terhadap tanaman terutama adalah menghambat pertumbuhan, perubahan warna daun, dan kematian bagian-bagian bunga.

Selain berdampak buruk bagi manusia dan tanaman, hidrokarbon sebagai komponen yang berperan dalam produksi oksidan fotokimia, dapat menyebabkan juga kerusakan kimia pada beberapa bahan tertentu seperti organik polimer, termasuk karet serta tekstil alami dan sintetis (Fardiaz, 1992)

2.5. Zeolit

2.5.1. Pengertian dasar Zeolit

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit

diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*. Pada tahun 1984 Professor Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai :

"A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration".

Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. (Las, 2004)

Menurut Sukandarrumidi (1999) Zeolit merupakan mineral alam yang terdiri dari kristal aluminium silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali-alkali tanah (terutama Ca dan Na) dalam rangka tiga dimensi yang terbatas dengan rongga-rongga. (Rohmanti, 2005).

2.5.2. Struktur Zeolit

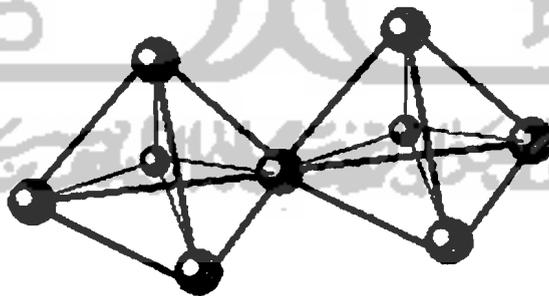
Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot a SiO_2 \cdot b H_2O$ atau $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} \cdot b H_2O$. Nilai n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau SiO_2/Al_2O

bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. (Las, 2004)

Unit pembentukan utama yang membangun struktur mineral zeolit menurut Barrer (1978), adalah SiO_2 dan Al_2O_3 yang mempunyai bentuk tetrahedral. Unit pembentuk saling mengikat membentuk anionic dalam tiga dimensi. Komponen unit pembentuk yang paling stabil adalah zeolit dengan perbandingan atom Si dan Al adalah 1:1. Struktur zeolit terbuka dengan mengandung rongga berisi ion-ion logam dan molekul-molekul air, rongga tersebut saling berhubungan membentuk sistem saluran segala arah. (Rohmanti, 2005).

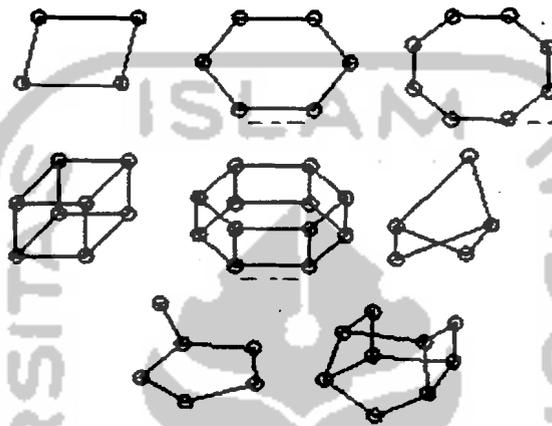
Unit-unit pembentuk struktur yang secara garis besar dibagi dalam dua bagian utama, yaitu :

1. Unit pembentukan primer adalah (SiO_4) dan (AlO_4^{2-}) yang berbentuk tetrahedral.



Gambar 2.3. Struktur pembentukan primer zeolit

2. Unit pembentukan sekunder, yaitu gabungan unit-unit pembentukan primer yang dapat membentuk berbagai cincin diantaranya adalah jenis lingkaran 4, 6, 8, atau berbentuk kubus dan cincin ganda lingkaran 4, prisma heksagonal atau gabungan dari dua cincin lingkaran 4. (Rohmanti, 2005)



Gambar 2.4. Struktur pembentukan sekunder zeolit

2.5.3. Sifat Fisik Zeolit

Bahan galian ini menunjukkan warna segar hijau muda, warna lapuk coklat kehijauan, struktur berlapis/laminasi, tekstur klasik, sortasi buruk, kemas terbuka, agak keras dan agak kompak. Sedangkan dari analisa fisik didapatkan:

- Berat jenis : 1.12 gr/cm³
- Kuat tekan : 105.2 kg/cm³
- Keausan : 6.0749 mm/menit
- KTK (Kapasitas Penukar Ion) : 72.13 – 97.35 me/100 gr

Secara kimia kandungan zeolit yang utama adalah: $\text{SiO}_2 = 62,75\%$; $\text{Al}_{203} = 12,71\%$; $\text{K}_2\text{O} = 1,28\%$; $\text{CaO} = 3,39\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,29\%$; $\text{MnO} = 5,58\%$; $\text{Fe}_{203} = 2,01\%$; $\text{MgO} = 0,85\%$; Clinoptilotit = 30 %; Mordernit = 49 %.
(Anonim, 2004)

Menurut proses pembentukannya zeolit dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Zeolit alam

Zeolit di alam terbentuk karena proses diagenetik, proses hidrotermal dan proses sedimentasi batuan produk gunung api (batuan piroklastik) berukuran debu pada lingkungan danau yang bersifat alkali. Mineral-mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu gunung api yang telah mengalami proses alterasi. Mineral-mineral utama pembentuk zeolit hanya ada sembilan jenis, yaitu analsim, kabsit, klinoptilotit, Erionit, mordenit, ferrierit, heulandit, laumontit dan fillipsit (Anonim, 2004).

2. Zeolit Sintetis merupakan zeolit yang direkayasa oleh manusia secara kimia.

Pembuatan zeolit ini dari gel amino silikat semacam gel yang dibuat dari larutan natrium aluminat, natrium silikat, dan natrium hidroksida. Zeolit dapat dikelompokkan menjadi empat sesuai dengan perbandingan komposisi Al dan Si, yaitu zeolit kadar Si rendah, zeolit kadar Si sedang, zeolit kadar Si tinggi. (Anonim, 2004).

Tabel 2.6. Perbedaan mineral zeolit alam dan buatan

Macam Perbedaan	Mineral Zeolit Alam	Mineral Zeolit Buatan
Jenis mineral	Terbatas pada mineral	Semua jenis mineral zeolit dapat dibuat sintetis
Kemurnian	Umumnya mengandung bahan Fe	Dapat dibuat dengan kemurnian tinggi
Garis tengah ruang kosong	Terbatas pada mineral terbesar hanya mineral khabasit dan erionit	Dapat dibuat garis tengah kosong 3 - 8 Å
Daya serap	Terbatas hanya pada mineral khabasit dan erionit	Daya serap hingga 50 % dari volume
Daya katalis	Terbatas karena ukuran ruang kosong yang sangat kecil dan kandungan ion-ion pengotor yang besar	

Sumber : Anonim, 1985 (Rohmanti, 2005)

2.5.4. Sifat-sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan, dan katalisator.

Sifat zeolit meliputi :

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit akan berpengaruh terhadap sifat adsorpsinya.

Zeolit dapat melepaskan molekul air dari rongga permukaan dan

menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk bila kristal zeolit tersebut dipanaskan.

b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300 – 400 °C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran kepolarannya.

c. Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion menjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari : sifat kation, suhu, dan jenis anion. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan sifat panas.

2.5.5. Manfaat Zeolit

2.5.5.1. Dalam bidang pengolahan limbah industri dan nuklir

Zeolit digunakan untuk pemisahan ammonia/ammonium ion dari air limbah industri, untuk pemisahan hasil fisi dari limbah radioaktif dan penggunaan dibidang limbah pertanian. (Las, 2004)

2.5.5.2. Bidang Proses Industri

Berdasarkan sifat sorpsinya terhadap gas dan hidrasi molekul air, zeolit digunakan untuk pengeringan pada berbagai produk industri. Sebagai "*drying agent*" dari senyawa organik, zeolit digunakan antara lain :

- o pada proses pemurnian metil klorida dalam industri karet
- o pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, xylene, LPG dan LNG pada industri petro- kimia
- o untuk hidrokarbon propellents-fillers aerosol untuk pengganti freons
- o penyerap klorin, bromin dan fluorin
- o menurunkan humiditas ruangan.
- o penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula.
- o campuran filter pada rokok

Dalam industri petrokimia zeolit digunakan pada proses isomerisasi, hidrosulforisasi, hidrokraking, hidrogenasi, reforming, dehidrasi, dehidrogenasi dan de-alkilasi, kraking parafin, disportion toluen/benzen dan xylen. (Las, 2004)

2.5.6. Bidang Pertanian dan Lingkungan

Zeolit digunakan sebagai "*soil conditioning*" yang dapat mengontrol dan menaikkan pH tanah serta kelembaban tanah. Penambahan zeolit pada pupuk kandang ternyata juga akan meningkatkan proses nitrifikasi. Pada saat ini bidang pertanian merupakan pemakai zeolit terbesar di Indonesia. Disamping untuk "*slow release fertilizer*", zeolit juga digunakan untuk sebagai carrier pestisida/herbisida dan fungisida.

Dalam bidang peternakan, zeolit juga digunakan sebagai "food supplement" pada ternak ruminansia dan non-ruminansia masing-masing dengan dosis 2.5 - 5% dari rasio pakan perhari yang dapat meningkatkan produktivitas baik susu, daging dan telur, laju pertumbuhan serta memperbaiki kondisi lingkungan kandang dari bau yang tidak sedap. Dalam hal fauna laut, zeolit berperan sebagai pengontrol pH air dan penyerap NH_3NO_3^- dan H_2S , filter air masuk ke tambak, pengontrol kandungan alkali, oksigen dan perbaikan lahan dasar tambak melalui penyerapan logam berat Pb, Fe, Hg, Sn, Bi dan As.

Dalam masalah lingkungan terutama masalah polusi udara zeolit juga pernah ditaburkan dari pesawat terbang diatas reaktor Chernobil untuk maksud menyerap hasil fisi yang terdapat dalam jatuhan debu radioaktif (*fall out*) akibat kebakaran reaktor Sovyet tahun 1985.

Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas seperti :

- o gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He,

- o gas rumah kaca (NH_3 , CO_2 , SO_2 , SO_3 dan NO_x),
- o gas organik CS_2 , CH_4 , CH_3CN , CH_3OH , termasuk pirogas dan fraksi etana/etilen,
- o pemurnian udara bersih mengandung O_2 ,
- o penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 diudara. (Las, 2004).

2.5.7. Aktivasi Zeolit

Untuk penggunaan Zeolit sebagai zat penyerap perlu terlebih dahulu dilakukan proses aktivasi, yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Ada dua cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu pemanasan pada suhu $200\text{--}400^\circ\text{C}$ selama 2-3 jam, dan kimia dengan menggunakan pereaksi NaOH atau H_2SO_4 . (Anonim, 2003)

2.6. Katalis

Katalis adalah sejumlah zat atau materi bila ditambahkan pada suatu reaksi kimia serta dapat mempercepat reaksi itu sendiri. Ada beberapa catatan tentang katalis yaitu : komposisi kimia dari katalis tidak berubah pada akhir reaksi katalis tidak mempengaruhi keadaan akhir suatu reaksi kesetimbangan (tidak mengubah harga tetapan kesetimbangan) dan katalis tidak memulai reaksi tetapi mempengaruhi laju reaksi

Katalis terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Katalis homogen

Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa sama dengan pereaksi, semuanya gas, cair yang dapat bercampur atau semuanya dalam larutan.

2. Katalis heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang tidak sama dengan pereaksi. Pada umumnya katalis adalah padatan sedangkan pereaksi terbanyak adalah gas dan cairan.

Ada 5 (lima) tahap yang terjadi dalam reaksi katalis oleh katalis heterogen. Ke-lima tahap tersebut adalah : difusi molekul reaktan ke permukaan katalis, adsorpsi reaktan oleh permukaan katalis, reaksi katalis pada permukaan, pelepasan produk reaksi dari permukaan katalis dan difusi produk kembali ke sistem reaksi.

Menurut Xianzhi (1995), kemampuan katalis bergantung pada permukaan zat padat berpori yang biasanya dikenal sebagai penopang katalis. Beberapa contoh penopang katalis yang sering digunakan diantaranya adalah: silica gel, alumina, karbon. Dari sekian banyak katalis yang mampu menurunkan polutan SO_x diantaranya adalah Titanium Oksida (TiO_2) (Guntoro dkk, 2004).

2.7. Titanium Oksida (TiO_2)

Oksida TiO_2 merupakan padatan berwarna putih, tidak larut dalam HCl , HNO_3 dan aquaregia tetapi dapat larut dalam asam sulfat pekat membentuk titanium sulfat, $\text{Ti}(\text{SO}_4)$. (Guntoro dkk, 2004)

TiO_2 merupakan jenis oksida logam yang digunakan untuk pemilar. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wilson (C&EN, 1996) menyatakan bahwa katalis TiO_2 mampu memecahkan berbagai polutan senyawa organik (Guntoro dkk, 2004)

Titanium dioksida memiliki tiga struktur kristal, yaitu *rutil*, *anatase*, dan *brukit*. Hanya *rutil* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai katalis. Perbedaan struktur kristal tersebut juga mengakibatkan perbedaan tingkat energi struktur pita elektroniknya. Tingkat energi hasil hibridisasi yang berasal dari kulit *3d* titanium bertindak sebagai pita konduksi, sedangkan tingkat energi hasil hibridisasi dari kulit *2p* oksigen bertindak sebagai pita valensi. Sebagai konsekuensinya posisi tingkat energi pita valensi, pita konduksi, dan besarnya energi gap diantara keduanya akan berbeda bila lingkungan dan/atau penyusunan atom Ti dan O didalam kristal TiO_2 berbeda. (Jarnuzi, 2001).

Dalam pilarisasi zeolit, TiO_2 merupakan suatu alternatif yang baik didasarkan pada alasan bahwa lempung terpillar TiO_2 memiliki luas permukaan dan keasaman permukaan yang lebih tinggi dibanding dengan pemilar oksida

lain yang pernah dilakukan. Menurut Long dan Yang (1999) serta Sychev dkk (2000), pilarisasi lempung dengan TiO_2 memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan oksida yang lain, yaitu (1) memiliki kestabilan terhadap panas maupun *hydrothermal* yang relatif tinggi; (2) memiliki sifat yang cukup unik, yaitu dapat meningkatkan luas permukaan dan keasaman; (3) dalam penerapannya sebagai katalis reduksi katalik selektif mempunyai ketahanan yang relatif tinggi terhadap gas beracun SO_2 . selain itu, kelebihan TiO_2 adalah tidak toksik dan harganya murah. (Guntoro dkk, 2004)

Tabel 2.7. Sifat fisik dan mekanik TiO_2

Densitas	4 gcm^{-3}
Porositas	0%
Modulus rekah	140 Mpa
Kekuatan kemampatan	680 Mpa
Rasio poisson's	0.27
Modulus elastisitas	230 Gpa
Resistivitas (25 °C)	10^{12} ohm.cm
Resistivitas (700 °C)	2.5×10^4 ohm.cm
Konstanta dielektrik (1 MHz)	85
Kekuatan dielektrik	4 kV mm^{-1}
Ekspansi thermal (RT-1000 °C)	9×10^{-6}
Konduktivitas thermal (25 °C)	11.7 Wmk^{-1}
Titik Lebur	1830 - 1850 °C
Titik didih	2500 - 3000 °C

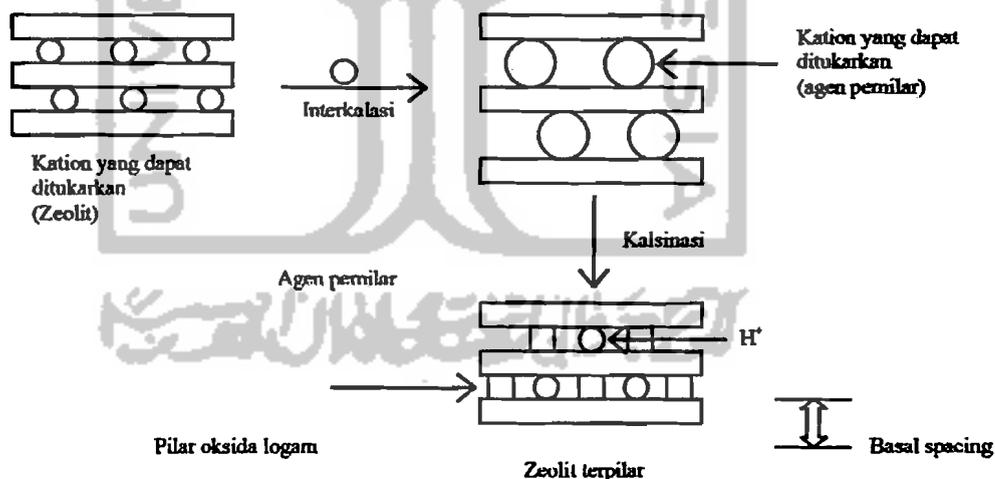
Sumber : Guntoro dkk, 2004

2.8. Pilarisasi

Menurut Ogawa (1992), pilarisasi merupakan interkalasi agen pemilar ke dalam struktur material berlapis. Interkalasi merupakan suatu proses penyisipan atom-atom atau molekul-molekul secara dapat balik (*reversible*) ke

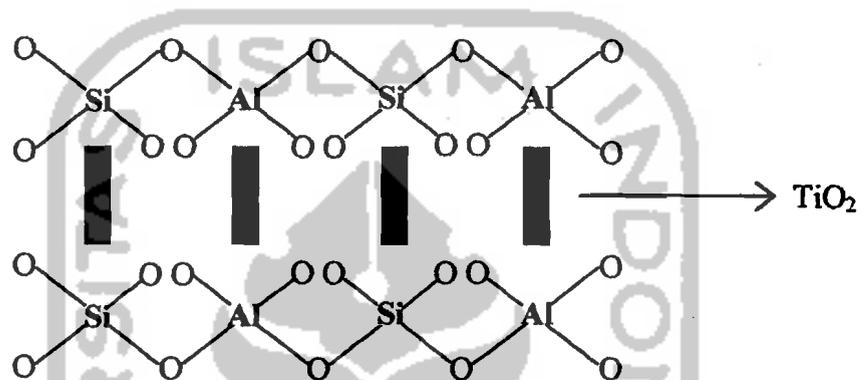
dalam antar lapis material berlapis dengan tidak merusak struktur lapisan tersebut. (Guntoro dkk 2004).

Pilar-pilar oksida logam yang terbentuk berfungsi sebagai pengikat antar lapis silikat lempung sehingga struktur yang dimiliki lempung lebih kuat dan relatif lebih kuat terhadap perlakuan panas dibanding dengan lempung tanpa terpillar yang dapat mengalami kerusakan struktur diatas temperatur 200 °C. Pemiliran antar lapis silikat lempung zeolit dengan titanium oksida (TiO_2) pada dasarnya merupakan interkalasi agen pemilar senyawa kompleks Ti (Kation Ti – polihidroksi) kedalam antar lapis silikat lempung melalui mekanisme pertukaran kation antara kation Ti – polihidroksi dengan kation-kation Na^+ , K^+ , dan Ca^+ yang ada pada zeolit.



Gambar 2.5. Skema pembentukan pilar zeolit (Guntoro dkk, 2004)

Terbentuknya pilar atau tiang oleh molekul TiO_2 menurut Cheng dan Yang (1995) menjadikan antar lapis silikat akan terekspansi atau terhalangi oleh adanya molekul tersebut karena molekul yang terbentuk memiliki ukuran relatif lebih besar dari molekul asalnya. (Guntoro dkk, 2004)



Gambar 2.6. Pemilaran antar lapis silikat lempung dengan TiO_2

Menurut Sumerta (2002) pilar TiO_2 pada antar lapis silikat lempung berfungsi sebagai penghalang sekaligus pengikat antar lapis lempung. Pengikat basal spacing lempung setelah pemilaran berpengaruh terhadap sifat-sifat lempung tersebut seperti luas permukaan spesifik, porositas dan keasaman permukaan. (Guntoro, dkk, 2004).

2.9. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas atau cair (adsorbat).

Menurut Bear (1958), adsorpsi adalah suatu perubahan konsentrasi komponen antara batas lapisan dan bagian dalam dari fasa yang berdekatan. Terjadinya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang mengakibatkan terjadinya proses adsorpsi. Peristiwa ini cenderung menarik molekul-molekul yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas maupun fasa larutan kedalam permukaan padatan. (Guntoro, dkk, 2004)

Ada dua jenis adsorpsi, yaitu :

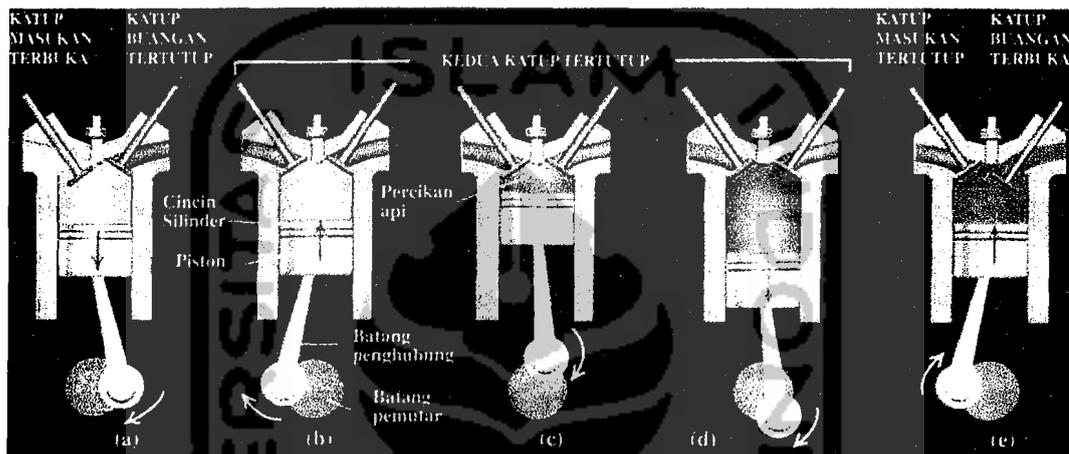
1. Adsorpsi fisika, yaitu adsorpsi yang disebabkan gaya van der Waals yang ada pada permukaan adsorben atau ikatan-ikatan hidrogen. Yaitu adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul. Proses ini sepenuhnya bersifat *reversible*.
2. Adsorpsi kimia, yaitu terjadi akibat adanya interaksi kimia antara zat penyerap dan terserap. Proses adsorpsi merupakan proses *irreversible*. (Margono, dkk 1991).

2.10. Pembakaran Kendaraan Bermotor

2.10.1. Mekanisme Pembakaran

Mesin bensin, yang dipakai pada mobil dan banyak jenis mesin lainnya, adalah contoh umum sebuah mesin kalor (pembakaran-dalam). Gambar 2.7. menunjukkan operasi mesin pembakaran-dalam empat langkah. Pertama-tama, campuran udara dan uap bensin mengalir kedalam silinder melalui katup masukan yang terbuka ketika piston turun, pada akhir langkah masukkan ini,

katup masukan menutup dan campuran terkompresi. Campuran ini kemudian dinyalakan oleh percikan api dan gas yang panas berekspansi hampir secara adiabatik mendorong piston dan melakukan kerja. Akhirnya katup pembuangan terbuka dan produk pembakaran terdorong ke luar (selama langkah penutupan) meninggalkan silinder yang siap melakukan langkah masukan selanjutnya.



Gambar.2.7. Siklus mesin pembakaran dalam empat langkah

Dari gambar diatas diketahui bahwa terdapat 4 tahapan, yaitu:

- (a) Langkah masukan: piston turun, menyebabkan vakum sebagian didalam silinder, campuran bensin dan udara mengalir kedalam silinder melalui katup masukan yang terbuka.
- (b) Langkah kompresi: katup masukan menutup, dan campuran terkompresi saat piston naik.
- (c) Penyalaan: percikan api menyalakan campuran.

Langkah pembuangan: katup pembuangan membuka dan piston naik, mendorong campuran yang terbakar keluar dari silinder. Sekarang mesin siap lagi untuk langkah masukan berikutnya, dan siklus terus berulang

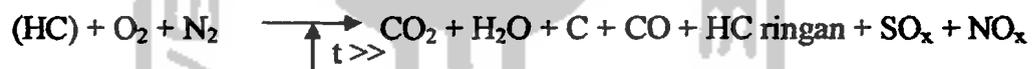
2.10.2. Proses Pembakaran Pada kendaraan Bermotor

Menurut Strehlow (1985) dalam pembakaran kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar campuran persenyawaan hidrokarbon (HC) memenuhi reaksi sebagai berikut :

1. Reaksi dengan pembakaran sempurna



2. Reaksi dengan pembakaran tidak sempurna

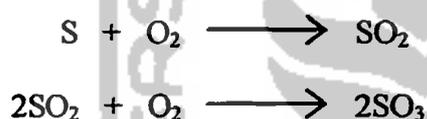


Apabila pembakaran dapat berlangsung sempurna seperti pada reaksi pertama maka semua atom oksigen (O_2) yang ada dalam udara bereaksi dengan atom-atom dari bahan bakar, sedangkan nitrogen yang ada tetap tidak bereaksi dengan oksigen, pada reaksi pembakaran sempurna hasil reaksinya tidak terdapat CO ataupun NO_x . tetapi pada kenyataannya dalam setiap pembakaran selalu terdapat hasil pembakaran berupa CO, NO_x , SO_x ataupun HC. Berarti pembakaran berlangsung tidak sempurna. (Rohmanti, 2005)

2.11. Mekanisme Pembentukan SO_x dan HC Dari Kendaraan Bermotor

Mekanisme pembentukan SO_x menurut Agung (2003), jauh lebih sederhana dibandingkan dengan zat-zat pencemar lingkungan lainnya. Hal ini karena SO_x merupakan produk alami dari proses pembakaran apabila bahan bakar yang digunakan mengandung sulfur. Produk pembakaran ini sebagian besar akan berbentuk SO₂ dan sebagian kecil akan berbentuk SO₃, jadi dalam hal ini yang lebih dominan adalah gas SO₂. Di udara SO₂ akan berubah lebih lanjut menjadi SO₃. (Rohmanti, 2005).

Secara keseluruhan reaksi pembentukan SO_x dari sulfur yang terkandung dalam bahan bakar dapat dituliskan dalam reaksi sebagai berikut:

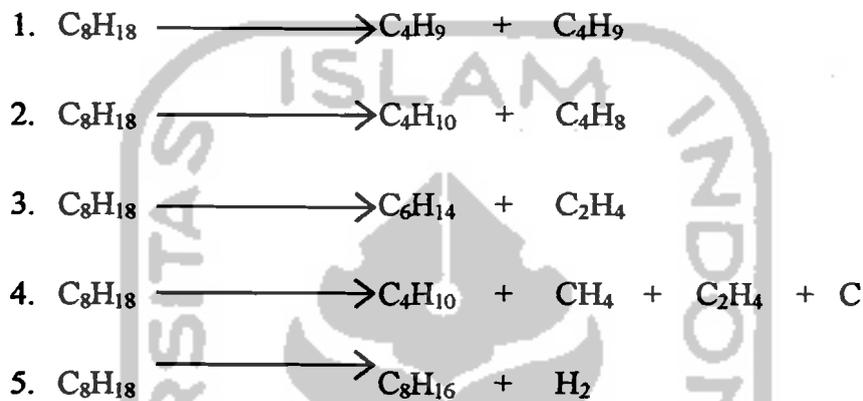


Menurut Obert (1982), reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermik, dengan jumlah kalor yang dilepaskan 296.800 kJ/kgm pada suhu 25 °C. Pada reaksi pembentukan SO₂ sejumlah kecil sulfur trioksida (SO₃) juga terbentuk pada reaksi pembakaran. Perbandingan pembakaran bahan bakar fosil dengan pembentukan SO₂ / SO₃ adalah 40 : 1 sampai 80 : 1. (Rohmanti 2005).

Hidrokarbon menjadi bahan pencemar udara dikarenakan apabila hidrokarbon dalam bahan bakar tidak tercampur saat pembakaran sehingga tidak bereaksi dengan oksigen, maka hidrokarbon ini akan keluar dengan gas buang hasil pembakaran. Kemungkinan lain, hidrokarbon yang tidak ikut



terbakar dengan oksigen akan mengalami pemecahan (*cracking*) akibat adanya suhu (panas) yang tinggi dari hasil pembakaran. Peristiwa pemecahan (*cracking*) pada suhu tinggi tersebut akan menghasilkan beberapa kemungkinan reaksi. (Wardhana, 1994). Sebagai contoh pemecahan (*cracking*) terhadap oktana C_8H_{18} akan menghasilkan reaksi-reaksi sebagai berikut :



2.12. Gaya Sentrifugal

Gaya sentrifugal adalah gaya untuk menahan benda berada disana atau menjaga benda dalam keadaan setimbang. (Sears, dkk. 1987). Benda dikatakan dalam keadaan setimbang berarti (1) bahwa benda sebagai keseluruhan tetap tidak bergerak atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, dan (2) bahwa benda sama sekali tidak berotasi atau berotasi dengan laju tetap. Sesuai dengan hukum pertama Newton "Setiap benda tetap dalam keadaan diam, atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, kecuali bila dipaksa untuk merubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang diberikan padanya"