

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sekam Padi (*Oryza sativa* L.)**

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian (*serealia*) berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam (endospermium dan embrio). Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan (*Poaceae*), meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam (misalnya jagung dan gandum).

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Penggunaan energi sekam bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran untuk bahan bakar bagi rumah tangga petani. Penggunaan Bahan Bakar Minyak yang harganya terus meningkat akan berpengaruh terhadap biaya rumah tangga yang harus dikeluarkan setiap harinya. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras giling antara 50-63,5% data bobot awal gabah. Sekam dengan persentase yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan.

Sekam memiliki kerapatan jenis (*bulk densil*)  $125 \text{ kg/m}^3$ , dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 k. kalori. Sekam memiliki bulk density 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300-3600 k. kalori/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU (Houston, 1972). Untuk lebih memudahkan diversifikasi penggunaan sekam, maka sekam perlu dipadatkan menjadi bentuk yang lebih sederhana, praktis dan tidak voluminous. Bentuk tersebut adalah arang sekam maupun briket arang sekam. Arang sekam dapat dengan mudah untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang tidak berasap dengan nilai kalori yang cukup tinggi. Briket arang sekam mempunyai manfaat yang lebih luas lagi yaitu di samping sebagai bahan bakar ramah lingkungan, sebagai media tumbuh tanaman hortikultura khususnya tanaman bunga.

Komposisi utama sekam padi terdiri atas selulosa 33-34% berat, lignin 19-47% berat, jika dibakar dengan oksigen akan menghasilkan abu sekam 13-29% berat, sekam padi yang mengandung silika cukup tinggi yaitu 87-97% berat abu sekam padi (Hartono, 2002). Sekam padi tersusun atas berbagai unsur logam dan nonlogam. Kandungan unsur karbon 41,44% berat dan oksigen 37,32% berat dalam sekam padi lebih dominan dibanding dengan unsur yang lain (Hartono, 2002).



Gambar 2.1 Sekam padi

Salah satu Provinsi dengan kapasitas produksi padi di Indonesia adalah Sumatera Selatan. Data penghasil padi di Provinsi Sumatera Selatan dan produksinya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Produksi Padi di Provinsi Sumatera Selatan

Kabupaten/Kota	Luas Lahan (Ha)	Produksi (Ton)
Ogan Komering Ulu	7.196	34.744
Ogan Komering Ilir	132.641	612.706
Muara Enim	26.138	117.997
Lahat	30.207	150.312
Musi Rawas	42.706	249.603
Musi Banyuasin	45.197	225.249
Banyuasin	253.034	1.231.803
Ogan Komering Ulu Selatan	39.602	197.973
Ogan Komering Ulu Timur	141.729	861.235
Ogan Ilir	45.253	173.244
Empat Lawang	28.883	123.746
Pali	5.629	20.551
Musi Rawas Utara	2.950	11.700
Palembang	5.814	25.912
Prabumulih	511	1.472
Pagar Alam	8.694	43.040
Lubuk Linggau	5.482	25.208

(BPS Provinsi Sumatera Selatan, 2015)

Proses penggilingan padi menghasilkan beras dan beberapa produk sampingnya. Dari penggilingan padi, diperoleh beras dan hasil sampingan lainnya, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil Penggilingan Padi

Hasil Penggilingan	Total (% Berat)
Menir	5
Sekam padi	15-20
Dedak atau bekatul	8-12
Jitai atau tonggok	0,46
Beras giling	50-63,5

(BPS Sumatera Selatan , 2015)

Sekam padi yang sering dikatakan sebagai limbah pengolahan padi ini sering diartikan sebagai bahan buangan atau bahan sisa dari proses pengolahan hasil pertanian. Pemanfaatan sekam padi tersebut masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu (Hananta, 2016).

Sekam padi memiliki kandungan kimia didalamnya yang bisa dimanfaatkan. Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam padi mengandung beberapa unsur penting di dalamnya (Hananta, 2016). Komposisi kimia sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Sekam Padi

Komposisi Kimia Sekam Padi	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

(BPS Provinsi Sumatera Selatan, 2015)

## 2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif, adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan satu gram

dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar  $500 \text{ m}^2$  (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, tetapi beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri.

Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang cukup tinggi berkisar antara 100 sampai dengan  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Bahkan ada peneliti yang mengklaim luas permukaan karbon aktif yang dikembangkan memiliki luas permukaan melebihi  $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Bisa dibayangkan dalam setiap gram zat ini mengandung luas permukaan puluhan kali luasan lapangan sepak bola. Hal ini dikarenakan zat ini memiliki pori – pori yang sangat kompleks yang berkisar dari ukuran mikro dibawah 20 Å (Angstrom), ukuran meso antara 20 sampai 50 Angstrom dan ukuran makro yang melebihi 500 Å (pembagian ukuran pori berdasarkan IUPAC). Sehingga luas permukaan disini lebih dimaksudkan luas permukaan internal yang diakibatkan dari adanya pori – pori yang berukuran sangat kecil. Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar seperti pada bidang adsorpsi (penyerapan), dan pada bidang reaksi dan katalisis. Contoh yang mudah dari karbon aktif adalah yang banyak dikenal dengan sebutan norit yang digunakan untuk mengatasi gangguan pencernaan. Prinsip kerja norit adalah ketika masuk kedalam perut dia akan mampu menjerap bahan – bahan racun dan berbahaya yang menyebabkan gangguan pencernaan. Kemudian menyimpannya di dalam permukaan porinya sehingga nantinya keluar nantinya bersama tinja. Secara umum karbon aktif ini dibuat dari bahan dasar batu bara dan biomasa. Intinya bahan dasar pembuat karbon aktif haruslah mengandung unsur karbon yang besar. Dewasa ini karbon aktif yang berasal dari biomasa banyak dikembangkan para peneliti karena bersumber dari bahan yang terbarukan dan lebih murah. Bahkan karbon aktif dapat dibuat dari limbah biomasa seperti kulit kacang-kacangan, limbah padat pengepresan biji – bijiaan, ampas, kulit buah dan lain sebagainya. Proses pembuatan arang aktif dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu pengaktifan secara fisika dan secara kimia. Pengaktifan secara fisika pada dasarnya dilakukan dengan cara memanaskan bahan baku pada

suhu yang cukup tinggi ( $600^{\circ}\text{C}$ - $900^{\circ}\text{C}$ ) dengan konsentrasi udara (oksigen) yang sedikit, kemudian pada suhu tinggi tersebut dialirkan media pengaktif seperti uap air dan  $\text{CO}_2$ . Sedangkan pada pengaktifan kimiawi, bahan baku sebelum dipanaskan dicampur dengan bahan kimia tertentu seperti  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dan lain sebagainya. Biasanya pengaktifan secara kimiawi tidak membutuhkan suhu tinggi seperti pada pengaktifan secara fisis, tetapi diperlukan tahap pencucian setelah diaktifkan untuk membuang sisa-sisa bahan kimia yang dipakai. Sekarang ini telah dikembangkan penggabungan antara metode fisika dan kimia untuk mendapatkan sekaligus kelebihan dari kedua tipe pengaktifan tersebut.

Karbon aktif merupakan adsorben yang efektif digunakan karena luas permukaan area yang tinggi dan volume pori yang besar (Zhao, 2002), meskipun memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan adsorben lainnya. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, tetapi beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri. Hal ini dapat diakali dengan memilih bahan baku karbon yang menggunakan limbah biomassa (Musapatika, 2010). Salah satu limbah biomassa yang dapat digunakan adalah Sekam Padi.



Gambar 2.2. Karbon Aktif (Musapatika, 2010)

### 2.2.1 Jenis-Jenis Karbon Aktif

Berdasarkan penggunaannya, karbon aktif terbagi menjadi 2 jenis yaitu karbon aktif untuk untuk fasa cair dan karbon aktif untuk fasa uap.

- Karbon aktif untuk untuk fasa cair

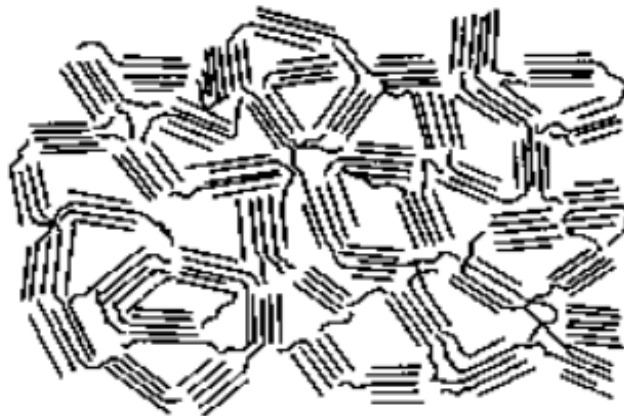
Karbon aktif untuk fasa cair biasanya berbentuk serbuk. Karbon aktif untuk fasa cair biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis rendah seperti kayu, batubara lignit, dan bahan yang mengandung lignin seperti limbah hasil pertanian. Karbon aktif jenis ini banyak digunakan untuk pemurnian larutan dan penghilangan rasa dan bau pada zat cair misalnya untuk penghilangan polutan berbahaya seperti gas amonia dan logam berbahaya pada proses pengolahan air.

- Karbon aktif untuk fasa uap

Karbon aktif untuk fasa uap biasanya berbentuk butiran/granular. Karbon aktif jenis ini biasanya dibuat dari bahan yang memiliki berat jenis lebih besar seperti tempurung kelapa, batubara, dan residu minyak bumi. Karbon aktif jenis ini digunakan dalam adsorpsi gas dan uap misalnya adsorpsi emisi gas hasil pembakaran bahan bakar pada kendaraan seperti CO dan NOx. Karbon aktif yang digunakan untuk fasa uap dapat diperoleh dari bahan yang memiliki densitas kecil, seperti serbuk gergaji (Sembiring, 2003).

### 2.2.2 Struktur Fisik Karbon Aktif

Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin). Karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas lapisan bidang datar dimana atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal.



Gambar 2.3 Ilustrasi Skema Struktur Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003)

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahapan, yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Kinoshita, 1988).

#### 1. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven.

#### 2. Karbonisasi

Karbonisasi (pengarangan) adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, biasanya dilakukan di dalam furnace. Tujuan utama dalam proses ini adalah untuk menghasilkan butiran yang mempunyai daya serap dan struktur yang rapi. Karbonisasi akan menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik bahan baku dan pengeluaran pengotor. Sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap ini. Pelepasan unsur-unsur yang volatil ini akan membuat struktur pori-pori mulai terbentuk/pori-pori mulai terbuka. Seiring karbonisasi, struktur pori awal akan berubah.

Karbonisasi melibatkan dua proses utama yaitu proses pelunakan dan penyusutan. Kedua proses ini berkaitan dengan sifat-sifat hasil akhir produk karbonisasi. Selama proses pelunakan akan terjadi pembentukan pori yang diikuti dengan dekomposisi yang sangat cepat pada interval suhu yang sangat pendek.

Setelah proses pelunakan, arang akan mulai mengeras, kemudian menyusut dimana penyusutan arang juga memiliki peran dalam pengembangan porositas. Suhu saat pelunakan terjadi dan tingkat pelunakannya akan tergantung pada bahan dasar dan rata-rata pemanasannya. Karbonisasi dihentikan bila tidak mengeluarkan asap lagi. Penambahan suhu memang diperlukan untuk mempercepat reaksi pembentukan pori pembatasan suhu pun harus dilakukan. Suhu yang terlalu tinggi, seperti di atas 1000°C akan mengakibatkan banyaknya abu yang terbentuk sehingga dapat menutupi pori-pori dan membuat luas permukaan berkurang serta daya adsorpsinya menurun. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonasi yaitu (Kinoshita, 1988) :

a. Waktu karbonisasi

Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka reaksi pirolisis semakin sempurna sehingga hasil arang semakin turun tetapi cairan dan gas makin meningkat. Waktu karbonisasi berbeda-beda tergantung pada jenis-jenis dan jumlah bahan yang diolah.

b. Suhu karbonisasi

Suhu karbonisasi yang berpengaruh terhadap hasil arang karena semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh makin berkurang tapi hasil cairan dan gas semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh makin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan.

3. Aktivasi

Pada proses karbonisasi, daya adsorpsi karbon tergolong masih rendah karena masih terdapat residu yang menutupi permukaan pori dan pembentukan pori-pori belum sempurna. Maka dari itu, perlu dilakukan proses aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan daya adsorpsi karbon aktif. Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses aktivasi yaitu (Sembiring dan Sinaga, 2003) :

a. Waktu perendaman

Perendaman dengan bahan aktivasi ini dimaksudkan untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, karena adanya lignin dapat membentuk senyawa.

b. Konsentrasi aktivator

Semakin tinggi konsentrasi larutan kimia aktivasi maka semakin kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa untuk keluar melewati mikropori karbon semakin porous yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi karbon aktif tersebut. Karbon semakin banyak mempunyai mikropori setelah dilakukan



aktivasi, hal ini terjadi karena aktivator telah mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi keluar dari mikropori arang, sehingga permukaannya semakin porous.

c. Ukuran bahan

Semakin kecil ukuran atau diameter arang maka akan semakin besar daya serap karbon aktif tersebut karena pori-porinya semakin banyak.

### 2.2.3 Analisa Karbon Aktif

#### 1. Analisa Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu karakteristik yang sangat penting terhadap mutu karbon aktif. Kadar air pada karbon aktif dapat mempengaruhi daya serap (adsorpsi) baik terhadap cairan maupun gas. Kadar air pada karbon aktif dipengaruhi oleh suhu dan waktu aktivasi. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu aktivasi menyebabkan kadar air pada karbon aktif semakin rendah (Rumidatul, 2006).

Tujuan penetapan kadar air yang terkandung didalam karbon aktif yaitu untuk mengetahui sifat hidroskopis dari karbon aktif. Terikatnya molekul air yang ada didalam karbon aktif oleh aktivator menyebabkan pori-pori pada karbon aktif semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah. Bertambahnya luas permukaan pada karbon aktif mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif sehingga semakin baik kualitas dari karbon aktif tersebut (Prasetyo dan Nasrudin, 2013).

#### 2. Analisa Kadar Zat Menguap

Kadar zat menguap merupakan parameter untuk mengukur banyaknya zat yang menguap pada proses pemanasan. Parameter tersebut dapat mengukur tingkat adsorpsi karbon aktif. Semakin tinggi zat menguap pada karbon aktif menyebabkan proses penyerapan gas atau cairan pada karbon aktif semakin menurun. Kadar zat menguap merupakan zat hasil dekomposisi senyawa-senyawa selain air yang terdapat dalam karbon aktif (Subadra dan Tahir, 2005).

Penetapan kadar zat menguap ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan senyawa yang dapat menguap yang terkandung dalam

karbon aktif. Kadar zat menguap yang tinggi dapat mengurangi daya serap terhadap gas atau larutan (Rumidatul, 2006).

### 3. Analisa Kadar Abu

Kadar abu menunjukkan jumlah oksida-oksida logam yang tersisa pada pemanasan tinggi. Abu yang terbentuk berasal dari mineral-mineral yang terikat kuat dengan karbon aktif, misalnya kalsium, kalium, dan magnesium (Rumidatul, 2006).

Tujuan penetapan kadar abu adalah untuk mengetahui kandungan sisa dari pembakaran yang sudah tidak memiliki unsur karbon dan nilai kalor lagi. Pada dasarnya semakin besar konsentrasi aktivator yang digunakan, maka semakin luas permukaan karbon aktif karena pori yang dihasilkan semakin banyak. Dalam pembentukan pori, proses pembakaran pada permukaan karbon menghasilkan abu, sehingga semakin banyak pori yang dihasilkan maka kadar abu yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan tar dan mineral yang terdapat pada pori karbon aktif terlarut pada saat proses aktivasi dengan aktivator  $ZnCl_2$  sehingga kadar abu menurun (Subadra dan Tahir, 2005).

### 4. Kadar Karbon Terikat

Pengujian kadar karbon terikat bertujuan untuk mengetahui banyaknya karbon yang terdapat arang aktif. Besar kecilnya kadar karbon terikat yang dihasilkan, selain dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar zat menguap dan kadar abu juga dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin bahan yang dapat dikonversi menjadi atom karbon (Fauziah, 2009).

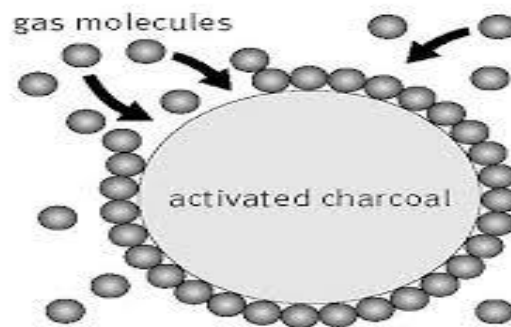
Menurut standar nasional Indonesia (SNI 06-3730, 1995) karbon aktif yang memenuhi standar memiliki kadar air maksimal 15%, kadar zat menguap maksimal 25% dan kadar abu maksimal 10% serta karbon terikat minimal 65%.

## 2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terkait kepada suatu padatan atau cairan (zat penyerap/adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terserap/adsorbat) pada

permukaannya. Kecepatan atau besar kecilnya adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya :

- Macam Adsorben
- Macam zat yang diadsorpsi
- Luas permukaan adsorben
- Konsentrasi zat yang diadsorpsi
- Temperatur



Gambar 2.4 Proses Adsorpsi Gas oleh Karbon Aktif (Borhan, 2015)

Peristiwa adsorpsi merupakan peristiwa dimana suatu zat menarik zat lain yang berada di sekitarnya untuk berinteraksi dan berikatan dengan zat tersebut. Proses adsorpsi ini dapat terjadi antara zat yang berada dalam satu fase seperti padat dengan padat atau zat yang berbeda fase misalnya padat dengan cair. Sedangkan peristiwa yang berkebalikan dengan adsorpsi yaitu desorpsi yang merupakan proses pelepasan suatu materi dari material lain. Adanya peristiwa adsorpsi ini akan membuat zat yang awalnya menyebar ke lingkungan menjadi terkumpul dan terikat pada satu media adsorpsi yang dinamakan sebagai adsorben dimana material adsorben ini memiliki kemampuan dalam menarik zat lain yang cocok untuk berinteraksi dengan material tersebut. Sedangkan zat lain yang tertarik atau terikat ke dalam material adsorben dinamakan sebagai adsorbat.

Terjadinya adsorpsi melibatkan interaksi antar permukaan pada suatu molekul dimana material adsorben memiliki permukaan dengan tendensi untuk menarik material lain sehingga material adsorbat yang telah terikat akan menempel pada permukaan adsorben.

Terjadinya adsorpsi dikarenakan adanya ketidakstabilan atau dalam bahasa ilmiah dinamakan residual forces pada permukaan suatu zat adsorben dimana

adanya kestabilan itu membuatnya cenderung berikatan dengan zat lain yang cocok untuk mencapai kestabilan. Maka dari itu, pada umumnya material adsorben memiliki gugus yang dinamakan dengan sisi aktif dimana gugus ini berperan penting pada proses adsorpsi yaitu dalam berinteraksi dengan molekul adsorbat. Selain adanya interaksi ini, adsorpsi juga bisa disebabkan karena keberadaan rongga atau pori pada material adsorben. Material seperti karbon aktif dan zeolit merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan besar di dalamnya. Akibatnya, adsorbat dapat masuk ke dalam pori dan memenuhi rongga yang ada sehingga akan terjebak di dalam pori tersebut. Selanjutnya material yang telah berada dalam adsorben dapat distabilkan posisinya dengan berbagai interaksi seperti ikatan hidrogen, interaksi dipol, interaksi elektrostatik, interaksi van der Waals, dan lain sebagainya.

Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya. Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben. Pada proses adsorpsi, molekul adsorbat bergerak melalui bulk fasa gas menuju permukaan padatan dan berdifusi pada permukaan pori padatan adsorben. Proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan, tidak masuk dalam fasa bulk/ruah. Proses adsorpsi terutama terjadi pada mikropori (pori-pori kecil), sedangkan tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke permukaan mikropori ialah makropori.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi:

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben (Treybal, 1980).

#### 1. Jenis Adsorbat

##### a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul merupakan hal yang sangat penting diperhatikan supaya proses adsorpsi dapat terjadi dan berjalan dengan baik. Ukuran molekul adsorbat nantinya mempengaruhi ukuran pori dari adsorben yang digunakan. Molekul-molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil dari diameter pori adsorben.

b. Kepolaran Zat

Sifat kepolaran dari adsorbat dan adsorben juga mempengaruhi proses adsorpsi. Misalnya karbon aktif, adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul polardibandingkan dengan molekul non-polar pada kondisi diameter yang sama.

2. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian Adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi, adsorben sering kali ditingkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

3. Temperatur

Proses adsorpsi merupakan proses eksotermis, maka dengan peningkatan temperatur pada tekanan tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorpsi.

4. Tekanan adsorbat

Untuk setiap jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekular yang terjadi, tekanan adsorbat akan mempengaruhi jumlah molekul adsorbat. Pada adsorpsi fisika, bila tekanan adsorbat meningkat, jumlah molekul adsorbat akan bertambah. Namun pada adsorpsi kimia, jumlah molekul adsorbat akan berkurang bila tekanan adsorbat meningkat.

## 2.4 Jenis-jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat,

adsorpsi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

- Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Pada adsorpsi fisika, gaya tarik-menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (intermolekular) lebih kecil dari pada gaya tarik-menarik antar molekul fluida tersebut sehingga gaya tarik-menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Keseimbangan antara permukaan padatan dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat reversible. Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori (Murti, 2008).

- Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan yang terbentuk sangat kuat sehingga spesi aslinya tidak dapat ditemukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk, maka adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasanya merupakan ikatan kovalen (Prabowo, 2009).

Menurut Langmuir, molekul adsorbat ditahan pada permukaan adsorben oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben, maka akan terbentuk suatu lapisan dimana lapisan tersebut akan menghambat proses adsorpsi selanjutnya oleh adsorben sehingga efektifitas berkurang. Adsorpsi kimia biasanya digunakan untuk penentuan daerah pusat aktif dan kinetika reaksi permukaan (Murti, 2008).

## 2.5 Mekanisme Adsorpsi

Menurut Reynolds (1982), mekanisme penyerapan adsorben terhadap zat terlarut terbagi menjadi 4 tahap diantaranya :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.

## 2.6 $ZnCl_2$ (Seng Klorida)

Seng klorida ialah nama dari senyawa kimia dengan rumus  $ZnCl_2$  dan hidratnya. Seng klorida, dari mana sembilan bentuk kristal dikenal, adalah tak berwarna atau putih, dan sangat larut dalam air.  $ZnCl_2$  itu sendiri higroskopis dan bahkan *deliquescent*. Oleh karena itu sampel harus dilindungi dari sumber kelembaban, termasuk adanya uap air dalam udara biasa. Seng klorida menemui aplikasinya yang luas dalam pengolahan tekstil, fluks metalurgi, dan sintesis kimia. Seng klorida komersial sebenarnya mengandung air dan produk dari hidrolisis sebagai pengotor. Sampel tersebut dapat dimurnikan melalui sublimasi dalam aliran gas hidrogen klorida, diikuti dengan pemanasan sublimatnya pada suhu  $400^\circ C$  dalam aliran gas nitrogen kering. Lelehan  $ZnCl_2$  anhidrat pada suhu  $500-700^\circ C$  melarutkan logam seng, dan, pada pendinginan cepat lelehannya, terbentuklah kaca diamagnetik berwarna kuning.

Aktivasi secara kimiawi dalam pembuatan karbon aktif dengan menggunakan  $ZnCl_2$  sudah sangat sering digunakan untuk menghasilkan karbon aktif yang memiliki permukaan yang luas untuk menyerap dan pori – pori yang besar. Aktivator  $ZnCl_2$  dapat menghasilkan karbon aktif yang memiliki mikropori maksimum pada kondisi operasi suhu  $< 500^\circ C$  (Esterlita dan Herlina, 2015).

Aktivator  $ZnCl_2$  menghasilkan mikropori maksimal dibandingkan dengan aktivator  $H_3PO_4$  dan  $KOH$ , sehingga  $ZnCl_2$  dapat digunakan sebagai zat aktivator

pada pembuatan arang aktif (Esterlita dan Herlina, 2015). Mekanisme aktivator  $ZnCl_2$  yang merupakan larutan bersifat garam asam akan melarutkan mineral pada arang hasil karbonisasi dengan mendegradasi selulosa didalamnya. Aktivator  $ZnCl_2$  menghidrasi dan menghasilkan struktur aromatik sehingga akan membentuk pori dari proses tersebut (Caturla, dkk., 1991).

Secara umum, sintesis karbon aktif dari biomassa dengan menggunakan aktivasi kimia terdiri dari beberapa tahap, yaitu pencucian dan pengeringan, pengecilan ukuran, perendaman dengan agen aktivasi (impregnasi) yang diikuti pengeringan, karbonisasi, pencucian, dan pengeringan. Dalam proses impregnasi yang diikuti pengeringan,  $ZnCl_2$  mendehidrasi biomassa yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kehitaman dan tekstur campuran yang menjadi lengket (Karimnezhad, dkk., 2014).

Selama proses karbonisasi,  $ZnCl_2$  juga berfungsi sebagai agen dehidrasi, menghambat pembentukan tar, dan juga mengarahkan reaksi pembentukan char pada temperatur di bawah  $500^\circ C$  (Liu, dkk., 2016).  $ZnCl_2$  berfungsi sebagai asam Lewis yang meningkatkan terjadinya reaksi kondensasi aromatik (polimerisasi), dan menghambat pembentukan senyawa volatil, sehingga meningkatkan perolehan karbon aktif (Alothman, dkk., 2011). Hal ini lah yang menyebabkan perolehan karbon aktif pada sintesis dengan menggunakan  $ZnCl_2$  lebih besar dibandingkan dengan KOH, hal ini disebabkan karena KOH bersifat sebagai katalis yang mendorong reaksi oksidasi biomassa pada proses karbonisasi (Yang dan Lua, 2003).



Gambar 2.5  $ZnCl_2$  (Esterlita dan Herlina, 2015).



## 2.7 Polusi Udara Akibat Kendaraan Bermotor

Menurut Soedomo (2001), definisi Pencemaran udara (*air pollution*) bila kita pelajari diberbagai kepustakaan (literatur) ternyata tidak ada satu pun yang sama satu dengan yang lainnya, maka ada beberapa definisi sebagai bahan-bahan perbandingan yaitu sebagai berikut.

1. Menurut Henry C. Perkins (1974), pencemaran udara mengartikan hadirnya satu atau beberapa kontaminan di dalam udara atmosfer, seperti antara lain oleh debu, busa, gas, kabut, bau-bauan, asap atau uap dalam kualitas yang banyak, dengan berbagai sifat maupun lama berlangsungnya di udara tersebut, sehingga dapat menimbulkan gangguan-gangguan terhadap kehidupan manusia, tumbuh-tumbuhan atau binatang maupun benda, atau tanpa alasan jelas mudah dapat mempengaruhi kelestarian kehidupan organisme maupun benda.
2. Menurut Soedirman (1975), pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan atau zat-zat asing di udara dalam jumlah yang dapat menyebabkan perubahan komposisi atmosfer normal.
3. Menurut Ensiklopedia Internasional, pencemaran udara adalah keadaan dimana kedalam udara atmosfer oleh suatu sumber, baik melalui aktivitas manusia maupun alamiah dibebaskan satu atau beberapa bahan atau zat-zat dalam kuantitas maupun batas waktu tertentu yang secara karakteristik dapat memiliki kecenderungan dapat menimbulkan ketimpangan susunan udara atmosfer secara ekologis sehingga mampu menimbulkan gangguangangguan bagi kehidupan satu atau kelompok organisme maupun benda-benda.

Polusi udara atau juga dikenal dengan pencemaran udara adalah sebuah kondisi terdapatnya ada satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di udara (atmosfer) yang jumlahnya berada pada titik yang membahayakan. Dalam hal ini, polusi udara bisa berdampak pada kesehatan manusia, tumbuhan, dan juga hewan. Selain itu, pencemaran pada udara juga menimbulkan dampak bahaya lain, karena dapat merusak properti dan juga mengganggu estetika dan kenyamanan lingkungan. Pencemaran udara adalah salah satu jenis pencemaran lingkungan hidup, di samping pencemaran suara, pencemaran air, pencemaran cahaya dan

pencemaran tanah. Pencemaran udara memiliki penyebab yang sangat beragam, tergantung lokasi pencemaran udara tersebut terjadi. Di Indonesia, pencemaran udara lebih dari 70% berasal dari emisi kendaraan bermotor (Soemirat, 2002).

Kendaraan bermotor akan menghasilkan gas pembuangan yang kemudian terkumpul di udara. Pencemaran udara yang satu ini jika terjadi dalam skala besar, akan menyebabkan gangguan lingkungan dan membawa dampak yang cukup mengkhawatirkan. Diantaranya muncul zat-zat kimia berbahaya seperti timbal (Pb), oksida fotokimia (Ox), oksigen nitrogen (NOx), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan masih banyak lagi (Soedomo, 2001).

Aktivitas transportasi khususnya kendaraan bermotor merupakan sumber utama pencemaran udara di daerah perkotaan. Transportasi darat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap setengah dari total emisi, untuk sebagian besar timbal, CO, HC, dan NOx di daerah perkotaan, dengan konsentrasi utama terdapat di daerah lalu lintas yang padat, dimana tingkat pencemaran udara sudah dan/atau hampir melampaui standar kualitas udara *ambient* (Soedomo, dkk., 1990). Kendaraan bermotor menyumbang hampir keseluruhan timbal dan karbon monoksida, 71-89% hidrokarbon, 34-73% NOx, dan 13-44% *suspended particulate matter*. Selain itu, debu yang terbang di udara juga dapat menjadi salah satu bagian penyebab polusi udara. Misalnya debu dari hasil pembakaran sampah rumah tangga yang merupakan penyebab dari sulfur dioksida. Pada tahun 2020 setengah dari jumlah penduduk Indonesia akan menghadapi permasalahan pencemaran udara perkotaan, yang didominasi oleh emisi dari kendaraan bermotor (BPLHD, 2001).



Gambar 2.6 Polusi Udara Akibat Kendaraan Bermotor (Sukarsono,2004)

Kendaraan bermotor adalah kendaraan yang digerakkan oleh peralatan teknik untuk pergerakannya, dan digunakan untuk transportasi darat. Umumnya kendaraan bermotor menggunakan mesin pembakaran dalam (perkakas atau alat untuk menggerakkan atau membuat sesuatu yg dijalankan dengan roda, digerakkan oleh tenaga manusia atau motor penggerak, menggunakan bahan bakar minyak atau tenaga alam). Kendaraan bermotor memiliki roda, dan biasanya berjalan di atas jalanan. Berdasarkan UU No. 14 tahun 1992 , yang dimaksud dengan peralatan teknik dapat berupa motor atau peralatan lainnya yang berfungsi untuk mengubah suatu sumber daya energi tertentu menjadi tenaga gerak kendaraan bermotor yang bersangkutan (Sukarsono, 2004).

Meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor pribadi bukan hanya berimbas pada bertambahnya tingkat kemacetan, tetapi juga bertambah kotornya udara di sekitar kita. Sejauh ini, terdapat beberapa polutan utama yang mencemari dan menurunkan kualitas udara kawasan perkotaan di negeri ini yakni nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), nitrat oksida (NO), partikel debu, karbon monoksida (CO) serta timbal (Pb). Zat-zat polutan tersebut sebagian besar dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Nitrogen dioksida, nitrat oksida, partikel debu serta karbon monoksida dapat mengiritasi paru-paru dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap serangan infeksi pernafasan, dapat mengakibatkan pembengkakan paru-paru dan gangguan jantung serta meningkatkan risiko kanker paru. Sementara itu, timbal berpotensi membuat terjadinya penurunan fungsi mental, mengganggu fungsi ginjal, mengganggu saluran pencernaan, menurunkan fertilitas dan berpotensi menurunkan kecerdasan anak-anak serta memicu kerusakan saraf otak. Dengan demikian, anak-anak yang kerap menghirup udara yang telah terkontaminasi timbal diyakini kecerdasan otaknya akan menurun (Sukarsono,2014).

### **Macam- Macam Pecemaran Udara**

Polusi udara atau pencemaran udara dibedakan menjadi dua macam, yaitu pencemaran udara primer dan sekunder (KLH, 2009) :

#### **1. Pencemaran Udara Primer**

Pencemaran udara primer adalah substansi polusi udara yang diciptakan langsung dari sumber pencemarannya. Misalnya karbon monoksida (CO)

yang merupakan salah satu zat kimia pencemar udara primer yang dihasilkan langsung dari proses pembakaran.

## 2. Pencemaran Udara Sekunder

Pencemaran udara sekunder adalah substansi polusi udara yang tercipta dari reaksi polutan-polutan primer di udara. Salah satu contohnya adalah pembentukan ozon yang terjadi dalam proses fotokimia yang terjadi secara sekunder.

### **Zat Polutan**

Polusi udara dapat disebabkan oleh berbagai macam hal akibat kandungan zat polutan (KLH,2009) :

#### 1. Karbon Monoksida (CO)

Salah satu zat yang berbahaya di udara adalah CO atau karbon monoksida. Zat ini banyak ditemukan di perkotaan karena terbentuk dari proses pembakaran atau transportasi yang menggunakan bahan bakar solar. Gas ini juga terjadi dalam pembakaran dengan mesin diesel. Karbon monoksida dapat mengganggu kesehatan, menyebabkan penurunan fungsi otak, hingga kematian.

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

Karbon dioksida adalah salah satu zat yang dikenal secara luas sebagai zat sisa. Zat ini jika terbentuk dalam jumlah yang besar akan naik dan menyebabkan polusi. Efeknya adalah dapat menciptakan efek rumah kaca. Hal ini dikarenakan zat karbon dioksida akan bercampur dengan debu, jasad renik, dan titik air.

#### 3. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen oksida merupakan sebuah senyawa gas yang ada di atmosfer bumi (NO<sub>2</sub> dan NO). baik NO<sub>2</sub> atau NO, keduanya berbahaya untuk makhluk hidup. Gas NO merupakan salah satu polutan yang sulit diamati secara visual, karena tidak memiliki warna, rasa, dan bahkan bau. Sementara itu, NO<sub>2</sub> juga mudah diamati, karena memiliki bau menyengat dan memiliki warna kecokelatan atau kemerahan. Polutan NO<sub>x</sub> ini timbul dari kegiatan pembangkit listrik, pembuangan mobil, pembakaran, pengelasan, dan semisalnya. Senyawa ini akan menguap dan membentuk

kabut asap. Jika berpadu dengan sulfur oksida, akan berpotensi menyebabkan hujan asam.  $\text{NO}_2$  beracun, dan sifat racunnya 4 kali lebih kuat daripada efek racun dari  $\text{NO}$ .  $\text{NO}_2$  dapat merusak paru-paru, dan juga mengakibatkan kematian.

#### 4. Ammonia ( $\text{NH}_3$ )

Salah satu polutan yang ada di udara adalah ammonia. Ammonia merupakan senyawa yang berbentuk gas dengan aroma yang sangat menyengat. Ammonia mudah mencair, dan sumbernya adalah refuksi gas nitrogen dari proses difusi udara, maupun limbah industri. Ammonia dalam jumlah besar dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Efek racunnya bisa menyebabkan berbagai gangguan, mulai dari iritasi mata, tenggorokan, kulit, menyebabkan sesak napas, radang tenggorokan, asma, tekanan darah tinggi, hingga kebutaan.

#### 5. Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan salah satu zat berbahaya yang bisa muncul dalam bentuk apapun. Merkuri bisa terdai dari proses pembangkit listrik dan lainnya. Merkuri beracun dan bisa berada di tanah ataupun air. Jika merkuri berbentuk gas, maka akan lebih berbahaya lagi. Hal ini dikarenakan efek racun yang dapat menyebabkan masalah perkembangan, masalah ginjal, tiroid, reproduktif, hingga neuropsikologis.

Menurut Pasal 1 ayat (3) Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, sumber pencemar adalah setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sumber penyebab terjadinya pencemaran udara dikelompokkan menjadi :

1. Sumber bergerak berasal dari kegiatan transportasi/kendaraan bermotor.
2. Sumber bergerak spesifik, yang berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal laut, dan kendaraan berat lainnya.
3. Sumber tidak bergerak, yang berasal dari sumber emisi tetap pada suatu tempat, misalnya cerobong asap dari suatu pabrik.
4. Sumber tidak bergerak spesifik, yang berasal dari kebakaran hutan/lahan dan pembakaran sampah.

Sumber pencemar udara umumnya dikelompokkan dalam beberapa golongan (Soedomo, 2001) :

1. Sumber titik, yang termasuk dalam kelompok ini adalah titik cerobong asap industri dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).
2. Sumber garis, yang merupakan integrasi dari sumber-sumber titik yang tak terhingga banyaknya sehingga dapat dianggap menjadi sumber garis yang seluruhnya memancarkan pencemar udara misalnya jalan raya yaitu cemaran NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, dan partikulat.
3. Sumber area, yang merupakan integrasi dari banyak sumber titik dan sumber garis misalnya pada kawasan industri yang sejenis dan daerah penimbunan sampah.

### **Faktor-faktor yang mempengaruhi penyebaran polutan**

Penyebaran polutan di atmosfer dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Stull (2000), penyebaran polutan di atmosfer melibatkan tiga mekanisme utama yaitu gerakan udara secara global, fluktuasi kecepatan turbulensi yang akan menyebarkan polutan ke seluruh arah, dan difusi massa akibat perbedaan konsentrasi. Penyebaran cemaran dari suatu sumber emisi selain dipengaruhi oleh karakteristik sumber emisi juga dipengaruhi oleh karakteristik meteorologi dan topografi setempat (Sastrawijaya, 2009).

Konsentrasi pencemar di udara bergantung kepada kondisi cuaca. Kecepatan dan arah angin berhembus, distribusi suhu vertikal, dan kelembaban adalah unsur-unsur yang berperan dalam perubahan cuaca ini. Kecepatan angin mempengaruhi distribusi pencemar. Konsentrasi pencemar akan berkurang jika angin kencang dan membagikan pencemar ini secara mendatar atau tegak lurus. Permukaan daratan juga mempengaruhi kecepatan angin, apakah berbukit-bukit atau berlembah-lembah. Lorong sempit bagi angin dapat meningkatkan kecepatan hembusan angin. Perubahan suhu juga merupakan faktor pengubah yang besar. Pergolakan ke atas akan membawa pencemar ke daerah yang suhunya lebih rendah. Pencemar akan menurun konsentrasinya dan kemudian disebarkan oleh angin (Sastrawijaya, 2009).

Menurut Rahmawati (1999), faktor-faktor yang berperan dalam penyebaran polutan adalah sebagai berikut:

1. Arah dan kecepatan angin

Angin merupakan faktor utama dalam persebaran polutan karena dapat mengakibatkan suatu zat berpindah tempat. Arah angin dapat digunakan untuk menentukan daerah penerima dispersi zat, sedangkan kecepatan angin dapat digunakan untuk menentukan jangkauan daerah penerima.

2. Suhu Udara dan Tutupan Awan

Suhu udara dan tutupan awan dalam proses dispersi zat pencemar akan mempengaruhi stabilitas udara. Gradien perubahan suhu udara akan berpengaruh sangat kuat terhadap kestabilan atmosfer. Pada proses dispersi stabilitas udara akan mempengaruhi tipe atau bentuk polutan ke daerah penerima. Terdapat beberapa kondisi atmosfer dalam kaitannya dengan stabilitas udara, yaitu kondisi tidak stabil terjadi apabila laju penurunan suhu di lingkungan lebih besar dari laju penurunan suhu udara kering yang sifatnya konstan, kondisi stabil terjadi bila laju penurunan suhu udara kering, dan kondisi netral terjadi bila laju penurunan suhu lingkungan sama dengan laju penurunan suhu udara kering.

## **2.8 Gas CO dan NO**

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor. Hal ini bila tidak segera ditanggulangi, perubahan tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia, kehidupan, hewan serta tumbuhan (Soedomo, 2001).

Kualitas udara telah mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Hal itu terjadi karena emisi gas buang yang keluar melalui knalpot telah mencemari udara. Emisi tersebut diantaranya CO dan NO yang merupakan kelompok gas yang berbahaya (Budiyono, 2001). NO berpotensi menyebabkan hujan asam sehingga menimbulkan kerusakan hutan, menghancurkan hasil panen, merusak lahan pertanian, korosi bangunan, dan masalah-masalah kesehatan (Sukarsono, 2004). Sementara gas CO dapat menyebabkan rasa sakit pada mata, gangguan saluran pernapasan, dan paru-paru (Arisma, 2010).

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Ia terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Karbon monoksida mudah terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida. Walaupun ia bersifat racun, CO memainkan peran yang penting dalam teknologi modern, yakni merupakan prekursor banyak senyawa karbon.

Molekul NO sering juga diproduksi oleh polutan dari asap rokok, kendaraan dan lain-lain, sehingga sering dianggap bersifat toksik dan sangat reaktif. Selain itu, NO dapat diproduksi oleh neuron selama 80 tahun di dalam otak manusia tanpa menimbulkan efek keracunan, kadar NO yang cukup diperlukan tubuh untuk memelihara hati dari kerusakan iskemik akibat sepsis, namun produksi NO saat terjadi iskemia otak akan merusak neuron yang sama.

Berbagai mitigasi telah dilakukan oleh pemerintah dalam mengatasi emisi gas CO dan NO diantaranya meningkatkan efisiensi energi kendaraan bermotor. Akan tetapi, jumlah kendaraan tersebut meningkat pesat sehingga membuat upaya ini kurang efektif (Angraeni, 2013). Sebuah penelitian menyebutkan bahwa pelarut amina dapat digunakan sebagai adsorben, namun zat ini memiliki kapasitas adsorpsi gas yang rendah dan berpotensi menimbulkan korosi (Murshid, 2011). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan karbon aktif sebagai adsorben emisi gas CO dan NO karena tersedia dalam jumlah besar dan memiliki harga yang murah.

NO<sub>x</sub> termasuk kriteria polutan yang diemisikan dari berbagai sumber di suatu kawasan terutama sektor transportasi. Sebagai gambaran umum, sektor transportasi menyumbang pencemar NO<sub>x</sub> sebesar 69% di perkotaan, diikuti industri dan rumah tangga (Soedomo, dkk., 1992). Menurut catatan, sekitar 10% pencemar udara setiap tahun adalah nitrogen oksida. Ada tujuh kemungkinan hasil reaksi bila nitrogen bereaksi dengan oksigen, antara lain adalah NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan NO<sub>3</sub>. Dari semuanya yang jumlahnya cukup banyak



hanyalah tiga, yaitu  $N_2O$ ,  $NO$ , dan  $NO_2$ , dan yang menjadi perhatian dalam pencemaran udara hanyalah  $NO$  dan  $NO_2$ . Kadar  $NO_2$  di dalam  $NO_x$  sekitar 10% (Pitts, 1986). Secara alami  $NO_x$  masuk ke atmosfer melalui halilintar, proses biologis dan dari sumber zat pencemar.  $NO_x$  sangat merusak kualitas udara bila konsentrasinya terlalu tinggi (Achmad, 2004).

$NO_2$  merupakan gas yang toksik bagi manusia dan pada umumnya gas ini dapat menimbulkan gangguan sistem pernapasan.  $NO_2$  dapat masuk ke paru-paru dan membentuk asam nitrit ( $HNO_2$ ) dan asam nitrat ( $HNO_3$ ) yang dapat merusak jaringan mukosa. Terpaparnya  $NO_2$  pada kadar 5 ppm setelah 5 menit dapat menimbulkan sesak nafas dan pada kadar 100 ppm dapat menimbulkan kematian (Chahaya, 2003). Udara yang telah tercemar oleh gas  $NO_2$  tidak hanya berbahaya untuk manusia dan hewan, tetapi juga berbahaya bagi kehidupan tanaman. Karena kelarutan  $NO_2$  dalam air lebih rendah bila dibanding  $SO_2$ , maka  $NO_2$  akan menembus ke dalam saluran pernapasan lebih dalam (KLH, 2009). Gas  $NO$  yang ada di udara belum lama diketahui, kemungkinan sumbernya adalah pembakaran yang dilakukan pada suhu tinggi. Mula-mula terbentuk  $NO$  tetapi zat ini akan mengalami oksida lebih lanjut oleh oksigen atau ozon, lambat atau cepat, dan menghasilkan  $NO_2$ . Pengaruhnya dalam pencemaran semakin besar (Sastrawijaya, 2009).

Sumber polusi yang utama berasal dari transportasi, dimana hampir 60% dari polutan yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15% terdiri dari hidrokarbon. Polutan yang utama adalah karbon monoksida yang mencapai hampir setengahnya dari seluruh polutan udara yang ada. Karbon monoksida ( $CO$ ) adalah pencemar primer berbentuk gas yang tidak berwarna, tidak memiliki rasa, tidak berbau, dan memiliki berat jenis yang lebih kecil dari udara serta sangat stabil dan mempunyai waktu tinggal 2-4 bulan.  $CO$  berbentuk gas yang tidak berwarna dalam suhu udara normal.  $CO$  mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu hemoglobin (Satria, 2006).

Gas  $CO$  (Karbon Monoksida) dapat berbentuk cairan pada suhu dibawah -  $129^{\circ}C$ . 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, gas CO dapat pula terbentuk dari proses industri (Saputra, 2009).

Karbon monoksida (CO) adalah suatu gas tidak berwarna, tidak berbau yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna material yang mengandung zat arang atau bahan organik, baik dalam alur pengolahan hasil jadi industri, ataupun proses di alam lingkungan. Ia terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen (Anggraeni, 2009).

Karbon monoksida dihasilkan pada pembakaran tidak sempurna. Contoh, 4 sampai 7 persen dari gas buangan kendaraan bermotor dan gas dari cerobong asap merupakan CO. Senyawa ini sangatlah beracun karena dapat berikatan kuat dengan hemoglobin dan menghambat proses pengangkutan oksigen ke jaringan-jaringan tubuh. Karbon monoksida berikatan 200 kali lebih kuat dengan hemoglobin daripada oksigen dan oleh karenanya sangat sulit untuk melepaskannya ketika telah berikatan dengan darah (Anggraeni, 2009).

Berkaitan dengan karakteristik CO yang afinitasnya terhadap hemoglobin 250-300 kali lebih kuat daripada afinitas oksigen, CO akan membentuk ikatan karboksihemoglobin, sehingga menghambat distribusi oksigen ke jaringan tubuh, maka organ yang sangat sensitif terhadap keracunan karbon monoksida adalah organ-organ dengan kebutuhan oksigen paling banyak (Anggraeni, 2009).

Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut :

- a. Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon

Oksidasi tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna dimana dihasilkan karbon dioksida. Pembentukan karbon monoksida hanya terjadi jika reaktan yang ada terdiri dari karbon dan oksigen murni. Jika yang terjadi adalah pembakaran komponen yang mengandung karbon di udara, prosesnya lebih kompleks dan terdiri dari beberapa tahap reaksi.

Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat daripada reaksi kedua, oleh karena itu CO merupakan intermediet pada reaksi pembakaran tersebut dan dapat merupakan produk akhir jika jumlah  $O_2$  tidak cukup untuk melangsungkan reaksi kedua. CO juga dapat 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 menghasilkan beberapa tempat atau area yang kekurangan oksigen. Semakin rendah perbandingan antara udara dengan minyak bakar, semakin tinggi jumlah karbon monoksida yang dihasilkan.

- b. Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi

Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi dapat menghasilkan karbon monoksida. Reaksi ini sering terjadi pada suhu tinggi yang umum terdapat pada industri-industri, misalnya pada pembakaran di dalam furnas. CO yang diproduksi dengan cara ini mempunyai keuntungan dan diperlukan pada beberapa proses, misalnya pada furnas cepat, dimana CO bertindak sebagai komponen pereduksi dalam produksi besi dari besi oksida.

- c. Pada suhu tinggi,  $CO_2$  terurai menjadi karbon monoksida dan O

Suhu tinggi merangsang pembentukan CO dan O. Sebagai contoh, pada suhu  $29600^\circ C$  terjadi disosiasi  $CO_2$  sebanyak 1 persen menjadi CO dan O, sedangkan pada suhu  $24950^\circ C$  sebanyak 5 persen  $CO_2$  yang terdisosiasi menjadi CO dan O. Jika campuran ekuilibrium pada suhu tinggi tiba-tiba didinginkan, CO akan tetap berada dalam campuran yang telah didinginkan tersebut karena dibutuhkan waktu yang lama untuk mencapai ekuilibrium yang baru pada suhu rendah.

Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan estimasi, jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan

sepertiganya berasal dari sumber tidak bergerak seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Didalam laporan WHO (1992), dinyatakan paling tidak 90% dari CO diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor. Selain itu asap rokok juga mengandung CO, sehingga para perokok dapat memajan dirinya sendiri dari asap rokok yang sedang dihisapnya (Anggraeni, 2009). Sumber lain CO adalah gas arang batu yang mengandung kurang lebih 5% CO, alat pemanas berbahan bakar gas, lemari es gas, kompor gas, dan cerobong asap yang bekerja tidak baik (Anggraeni, 2009).

Di kota-kota besar, sumber utama penghasil CO adalah kendaraan bermotor seperti mobil, truk, bus, dan sepeda motor karena pembakaran Bahan Bakar Minyak (BBM) yang tidak sempurna. CO dapat terbentuk secara alamiah maupun sebagai hasil sampingan kegiatan manusia. Setiap lima liter bensin dapat menghasilkan 1-1,5 kg CO. Bayangkan saja jika di suatu kota dengan sejuta mobil dan setiap mobil menghabiskan 10 liter bensin sehari. Maka bisa dipastikan betapa banyaknya kadar CO di udara yang dihasilkan dari buangan asap kendaraan (Sastrawijaya, 2009).

Atmosfer berfungsi sebagai media penyebaran polutan udara. Dua besaran utama yaitu suhu dan kelengasan atau kelembaban pada atmosfer, merupakan suatu ukuran sebenarnya dari energi termal dan status air atmosfer. Keduanya terikat pada dasar-dasar daur air dan daur energi yang mencakup proses hantaran, konversi, penyimpanan energi, dan massa dengan energi tata surya sebagai sumber energi utamanya (Sasongko, 2000).

Penyebaran pencemaran udara berhubungan dengan keadaan atmosfer, sedangkan keadaan atmosfer tergantung pada perubahan sistem cuaca, sirkulasi angin regional dan turbulensi, dan efek mikrometeorologi. Parameter-parameter penting yang diperlukan dalam menetapkan potensi penyebaran pencemaran udara adalah ketinggian, tinggi pembalikan, kecepatan angin tahunan, potensi tinggi cemaran udara yang dapat mempengaruhi suatu wilayah, dan kegiatan harian. Adapun efek mikrometeorologi tergantung pada insolasi solar, topografi, kekasaran permukaan, lahan yang digunakan, dan radiasi panjang gelombang (Mikkelsen, 2003).

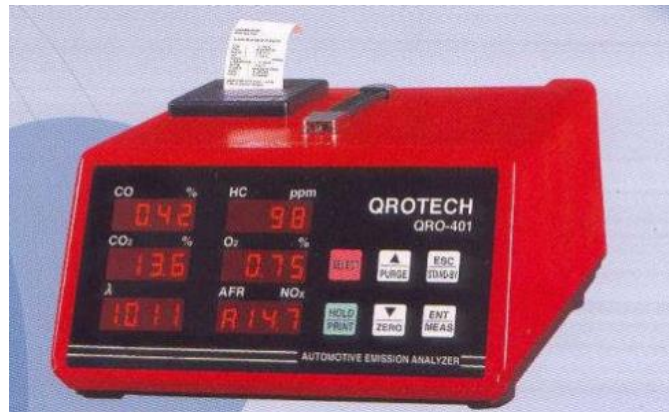
## 2.9 Alat Ukur Emisi Gas Buang (*Portable Gas Analyzer*)

*Gas analyzer* adalah alat yang digunakan untuk menganalisis, mengukur kadar atau konsentrasi gas tertentu apakah kadar dari gas tersebut masih dalam ambang batas yang diperbolehkan atau melebihi batas yang dapat membahayakan lingkungan dan makhluk hidup. Pada bidang otomotif, *gas analyzer* digunakan untuk mengukur kadar atau konsentrasi emisi gas buang dan digunakan sebagai indikator apakah kadar atau konsentrasi emisi gas buang sebuah kendaraan masih layak atau tidak. Karena emisi gas buang yang berada di atas batas aman yang diperbolehkan akan membahayakan lingkungan sekitar dan manusia. Secara umum, gas-gas yang dapat diukur oleh *gas analyzer* adalah HC ( hidrokarbon ), CO ( karbon monoksida ), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>) (Martawati dan Hardiyana, 2017).

Alat uji emisi kendaraan ini digunakan sebagai gas detector polutan yang menguji gas yaitu CO, CO<sub>2</sub>, NO dan NO<sub>x</sub>. Secara umum, emisi dapat diartikan sebagai pancaran, misalnya: pancaran sinar, elektron atau ion. Berdasarkan peristiwanya, dapat terjadi akibat terganggunya suatu sistem yang melampaui suatu batas energi sehingga terjadi suatu emisi. Alat *gas detector* tersebut digunakan pada kendaraan yang bermesin diesel dan bensin yang terdapat banyak polusi selain itu juga digunakan pada uji emisi mesin pada industri plastik, resin, pigmen, zat warna, pestisida dan pemrosesan karet, dan lainnya. Model *Portable gas analyzer* mudah dibawa dilapangan sangat praktis dengan fungsi utama mengukur dan menganalisa gas beracun. Berikut Analisa Uji Emisi Gas Buang :

- Uji Gas Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). Kedua Gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara yang berbahaya bagi manusia. Ketika nitrogen dioksida hadir, nitrogen oksida juga ditemukan ; gabungan dari NO dan NO<sub>2</sub> secara kolektif mengacu kepada nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).
- Uji Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang berpotensi menyebabkan hujan asam sehingga menimbulkan kerusakan hutan, menghancurkan hasil panen, merusak lahan pertanian, korosi bangunan, dan masalah-masalah kesehatan.

- Uji Gas CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida), Seperti yang anda tahu, gas karbondioksida sangat penting untuk proses fotosintesis tumbuhan.
- Uji Gas CO (Karbon monoksida) adalah gas pencemar udara yang sangat berbahaya bagi tubuh. Ia dapat berikatan dengan hemoglobin dalam tubuh, sehingga pengikatan oksigen oleh darah menjadi terganggu. Bahkan kalau manusia menghirup gas CO dalam kadar tinggi, resikonya adalah kematian. Jika dalam kadar sedikit, menghirup CO dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, mata berkunang-kunang, lemas dan mual-mual.



Gambar 2.7 Portable Gas Analyzer (Qrotech Service Manual, 2015)