

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Tentang Darah**

Darah adalah jaringan cair yang terdiri atas dua bagian. Bahan intraseluler adalah cairan yang disebut plasma dan didalamnya terdapat unsur-unsur padat, yaitu sel darah. Volume darah secara keseluruhan kira-kira satu perdua belas berat badan atau kira-kira 5 liter. Sekitar 55 persennya adalah cairan, sedangkan 45 persen sisanya terdiri atas sel darah. Angka ini dinyatakan dalam nilai hematokrit atau volume sel darah yang dipadatkan yang berkisar antara 40-47 %. Pada waktu sehat volume darah konstan, dan sampai batas tertentu diatur oleh tekanan osmotik dalam pembuluh darah dan dalam jaringan (Pearce, 2009 ).

Darah merupakan bagian tubuh yang jumlahnya 6 – 8 % berat badan total. Pada pria persentase ini sedikit lebih besar daripada wanita. Empat puluh lima sampai 60 % darah terdiri atas sel-sel darah, terutama eritrosit. Leukosit dan trombosit, walaupun secara fungsional sangat esensial, hanya merupakan sebagian kecil saja dari darah. Fungsi utama darah adalah sebagai media transportasi, memelihara suhu dan keseimbangan cairan, asam dan basa (Warsito, 2007).

##### **2.1.1 Komponen Darah**

###### **1. Sel darah merah (Eritrosit)**

Sel darah merah (eritrosit) merupakan cairan bikonkaf dengan diameter sekitar 8.6 mikron. Bikonkafitas memungkinkan gerakan oksigen masuk dan keluar sel secara cepat dengan jarak yang pendek antara membran dan inti sel.

Warnanya kuning kemerah-merahan, karena didalamnya mengandung suatu zat yang disebut haemoglobin. Sel darah merah tidak memiliki inti sel, mitokondria dan ribosom, serta tidak dapat bergerak. Sel ini tidak dapat melakukan mitosis, atau pembentukan protein. Eritrosit hidup selama 74-154 hari, (Gibson, 2003).



**Gambar 2.1 Sel Darah Merah (eritrosit)**  
( Sumber : [https:// www.google.com/search?q=eritrosit&client=firefox-a&rls=org.mozilla](https://www.google.com/search?q=eritrosit&client=firefox-a&rls=org.mozilla))

## **2. Sel darah putih (Lekosit)**

Bentuknya dapat berubah-ubah, mempunyai bermacam-macam inti sel, sehingga ia dapat dibedakan menurut inti selnya serta warnanya bening (tidak bewarna) (Handayani, 2008). Dalam setiap millimeter kubik darah terdapat 6.000 sampai 10.000 (rata-rata 8.000) sel darah putih (Pearce, 2011). Sel darah putih terdiri atas:

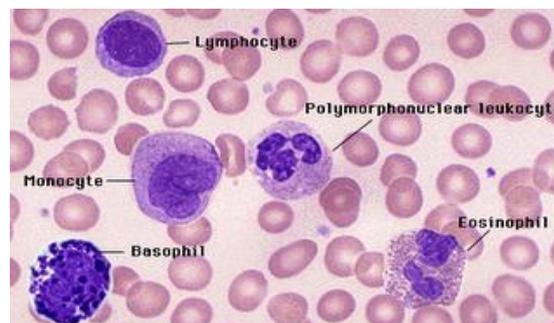
- a. Neutrofil: granula yang tidak berwarna mempunyai inti sel yang terangkai, kadang seperti terpisah-pisah, protoplasmanya banyak berbintik-bintik halus/granula, serta banyaknya sekitar 60-70 % (Handayani, 2008). Peranan netrofil adalah untuk pertahanan hospes, maka jumlah netrofil absolut yang kurang dari 1000/mm<sup>3</sup> mempengaruhi individu terhadap infeksi. Jumlah di bawah 500/mm<sup>3</sup> merupakan predisposisi terhadap infeksi yang mengancam

kehidupan yang sangat berbahaya. Netroponia dapat diakibatkan oleh pembentukan netrofil yang tidak efektif dan gangguan pembentukan netrofil (Warsito, 2007).

- b. Eosinofil: granula berwarna merah dengan pewarnaan asam, ukuran dan bentuknya hampir sama dengan neutrofil, tetapi granula dalam sitoplasmanya lebih besar, banyaknya kira-kira 24 % (Handayani, 2008). Dalam keadaan normal, eosinofil ini merupakan 2-3 % dari seluruh jumlah sel darah putih yang terdapat dalam darah. Sel eosinofil mempunyai daya fagositosis yang lemah. Eosinofil mengandung berbagai enzim yang menghambat mediator inflamasi akut. Eosinofil dianggap dapat mendetoksifikasi yang dapat menyebabkan radang yang dilepaskan oleh sel mast dan sel basofil dan mungkin juga oleh jaringan – jaringan yang rusak, jadi mencegah penyebaran proses radang lokal (Warsito, 2007).
- c. Basofil: granula berwarna biru dengan pewarnaan basa, sel ini lebih kecil daripada eosinofil, tetapi mempunyai inti yang bentuknya teratur, dalam protoplasmanya terdapat granula-granula yang besar, banyaknya kira-kira 0,5 % di sumsum merah.
- d. Limfosit: memiliki nukleus besar bulat dengan menempati sebagian besar sel limfosit berkembang dalam jaringan limfe. Ukuran dari 7 sampai dengan 15 mikron. Banyaknya 20-25 % dan fungsinya membunuh dan memakan bakteri yang masuk ke dalam jaringan tubuh.
- e. Monosit: ukurannya lebih besar dari limfosit, protoplasmanya besar, warna biru sedikit abu-abu, serta mempunyai bintik-bintik sedikit kemerahan. Inti selnya bulat atau panjang. Monosit dibentuk di dalam sumsum tulang

(Handayani, 2008). Monosit merupakan 5-8 % dari jumlah leukosit dalam darah tetapi yang ada dalam sirkulasi hanya merupakan sebagian kecil saja dari seluruh cadangan sel ini. Monosit berasal dari sel induk yang sama dengan sel induk granulosit. Sel ini mengalami maturasi di dalam sumsum tulang, beredar sebentar kemudian masuk ke dalam jaringan dan media makrofag. Ciri monosit adalah sel berukuran besar (16-20  $\mu\text{m}$ ) kromatin inti jelas, inti memanjang berlekuk atau terlipat dan sitoplasmanya banyak, berwarna biru keabu-abuan dan tembus pandang. Umur monosit adalah beberapa minggu sampai beberapa bulan.

Monosit memiliki fungsi fagosit, membuang sel – sel cedera atau mati, fragmen – fragmen sel dan mikroorganisme. Monositosis adalah kenaikan hitung monosit darah di atas  $0,8 \times 10^9/\text{L}$ . Keadaan ini mungkin terjadi karena infeksi bakteri kronis, penyakit protozia, neutropenia kronis, penyakit Hodgkin serta leukimia mielomastik dan monostik (Warsito, 2007).



**Gambar 2.2 Sel Darah Putih**

(Sumber :<https://www.google.com/search?q=leukosit&client=firefox-a&hs=toZ&rls=org.mozilla>)

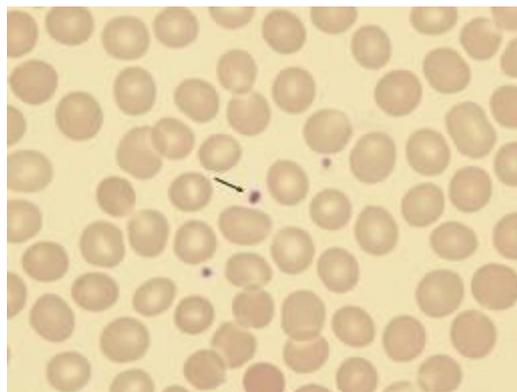
### 3. Platelet (Trombosit)

Trombosit adalah sel kecil kira-kira sepertiga ukuran sel darah merah. Terdapat 300.000 trombosit dalam setiap millimeter kubik darah berperan sangat penting dalam penggumpalan darah (Handayani, 2008). Penggumpalan trombosit

terjadi melalui beberapa tahap yaitu adesi trombosit, agregasi trombosit dan reaksi pelepasan. Apabila pembuluh darah luka, maka sel endotel akan rusak sehingga jaringan ikat di bawah endotel akan terbuka. Hal ini akan mencetuskan adesi trombosit yaitu suatu proses dimana trombosit melekat pada permukaan asing terutama serat kolagen.

Trombosit juga akan melekat pada trombosit lain dan proses ini disebut sebagai trombosit. Selama proses agresi, terjadi perubahan bentuk cakram menjadi bulat disertai pembentukan pseudopodi. Akibat perubahan bentuk ini maka granula trombosit akan terkumpul di tengah dan akhirnya akan melepaskan isinya.

Masa agregasi trombosit akan melekat pada endotel, sehingga akan membentuk sumbat trombosit yang dapat menutup luka pada pembuluh darah. Tahap terakhir untuk menghentikan perdarahan adalah pembentukan sumbat trombosit yang stabil melalui pembentukan fibrin. Jumlah trombosit darah normal dalam setiap milimeter kubik darah adalah 140.000 – 400.000 dan rata berkisar 350.000 (Warsito, 2007).



**Gambar 2.3 Trombosit ( yang ditunjukkan anak panah)**  
(Sumber :<https://www.google.com/search?q=trombosit&client=firefox-a&hs=toZ&rls=org.mozilla>)

## 2.2 Tinjauan Tentang Haemoglobin

### 2.2.1 Pengertian Haemoglobin

Haemoglobin adalah protein yang kaya akan zat besi. Haemoglobin memiliki afinitas (daya gabung) terhadap oksigen, dengan oksigen itu membentuk oksihemoglobin di dalam sel darah merah. Dengan melalui fungsi ini maka oksigen dibawa dari paru-paru ke jaringan-jaringan. Jumlah haemoglobin dalam darah normal kira-kira 15 gram setiap 100 ml darah, dan jumlah ini biasanya disebut “100 persen” (Pearce, 2011).

Haemoglobin adalah metaloprotein (protein yang mengandung zat besi) di dalam sel darah merah yang berfungsi sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh, pada mamalia dan hewan lainnya. Haemoglobin juga pengusung karbon dioksida kembali menuju paru-paru untuk dihembuskan keluar tubuh.

Molekul haemoglobin terdiri dari globin, apoprotein, dan empat gugus heme, suatu molekul organik dengan satu atom besi molekul haemoglobin tersusun dari empat sub unit yaitu 2 rantai  $\alpha$  dan 2 rantai  $\beta$ . Masing-masing globin membentuk sebuah kantong untuk molekul heme sehingga memiliki kapasitas mengikat sampai empat molekul oksigen. 2,3 Difosfogliserat mengikat 2 rantai  $\beta$  untuk menstabilkan molekul saat molekul berada dalam keadaan terdeoksigenasi (Sacher dan Mc. Phearson, 2004 dalam sumarni). Setiap gram haemoglobin mengandung 1,3 ml oksigen. 97% oksigen yang dibawa dari paru-paru dan hanya 3% yang larut dalam plasma. Sehingga haemoglobin merupakan mengangkut utama oksigen di dalam tubuh (Guyton, 1996).

Haemoglobin yang terpajan oksigen, akan membentuk oksihemoglobin hasil pengikatan molekul oksigen pada rantai alfa dan beta. Oksihemoglobin

akan diedarkan ke seluruh tubuh. Sampai di jaringan, moleku oksigen akan dilepaskan ke jaringan, disini menjadi deoksihaemoglobin atau haemoglobin tereduksi (Sloan, 1996).

### **2.2.2 Fungsi Haemoglobin**

1. Mengatur pertukaran oksigen dengan karbondioksida di dalam jaringan-jaringan tubuh.
2. Mengambil oksigen dari paru-paru kemudian dibawa ke seluruh jaringan-jaringan tubuh untuk dipakai sebagai bahan bakar.
3. Membawa karbondioksida dari jaringan-jaringan tubuh sebagai hasil metabolisme ke paru-paru untuk dibuang (Kurniawan, 2008).

### **2.2.3 Pembentukan Haemoglobin**

Molekul Haemoglobin terdiri dari dua struktur utama, yaitu heme dan globin, serta struktur tambahan. Heme struktur ini melibatkan empat atom besi dalam bentuk  $Fe^{2+}$  dikelilingi oleh cincin protoporfirin IX, karena zat besi dalam bentuk  $Fe^{3+}$  tidak dapat mengikat oksigen. Protoporfirin IX adalah produk akhir dalam sintesis molekul heme. Protoporfirin ini ini hasil interaksi suksinil koenzim A dan asam delta-aminolevulinat di dalam mitokondria dari eritrosit berinti, dengan pembentukan beberapa produk antara, yaitu porfobilinogen, uruporfirinogen, dan coproporfirin. Besi bergabung dengan protoporfirin untuk membentuk heme molekul lengkap. Cacat pada salah satu produk dapat merusak fungsi haemoglobin.

Globin terdiri dari asam amino yang dihubungkan bersama untuk membentuk rantai polipeptida. Haemoglobin dewasa terdiri atas rantai alfa dan

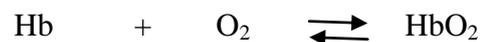
rantai beta. Rantai alfa memiliki 146 asam amino. Heme dan Globin dari molekul Haemoglobin dihubungkan oleh ikatan kimia.

Struktur tambahan adalah struktur tambahan yang mendukung molekul haemoglobin adalah 2,3-difosfoglisarat (2,3-DPG), suatu zat yang dihasilkan melalui jalur Embden Meyerhof yang anaerob selama proses glikolisis. Struktur ini berhubungan erat dengan afinitas oksigen dari haemoglobin. Setiap molekul heme terdiri dari empat struktur heme dengan besi dipusat dan dua pasang rantai globin. Struktur heme berada pada rantai globulin (Kiswari, 2014)

Pembentukan haemoglobin terjadi pada sumsum tulang melalui semua stadium pematangan. Sintesis haemoglobin dimulai dari eritroblast dan terus berlangsung sampai tingkat normoblas dan retikulosit. Retikulosit adalah stadium terakhir dari perkembangan sel darah merah yang belum matang dan mengandung jala yang terdiri dari serat-serat retikular. Sejumlah kecil haemoglobin masih dihasilkan selama 24 sampai 48 jam pematangan, retikulum kemudian larut dan menjadi sel darah merah yang matang (Kurniawan, 2008).

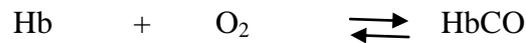
#### **2.2.4 Reaksi Haemoglobin (Hb) dengan Karbon Monoksida**

Haemoglobin mengikat oksigen, untuk membentuk oksihemoglobin, oksigen menempel pada  $\text{Fe}^{3+}$  dalam heme.



Afinitas haemoglobin terhadap  $\text{O}_2$  dipengaruhi oleh pH, suhu, dan konsentrasi 2,3-difosfoglisarat (2,3-DPG) dalam sel darah merah. 2,3-DPG dan  $\text{H}^+$  berkompetisi dengan  $\text{O}_2$  untuk berikatan dengan haemoglobin terhadap  $\text{O}_2$ .

Karbon monoksida (CO) bereaksi dengan haemoglobin membentuk karbon monoksihaemoglobin (karboksihaemoglobin).



Afinitas haemoglobin untuk oksigen jauh lebih rendah daripada afinitasnya terhadap karbon monoksida, sehingga menggantikan O<sub>2</sub> pada haemoglobin dan menurunkan kapasitas darah sebagai pengangkut oksigen (Ganong, 2002).

### 2.2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi Haemoglobin

Haemoglobin seseorang tidak hanya dipengaruhi oleh paparan Pb(timbal), kebiasaan minum teh setiap hari setelah makan, mengkonsumsi alkohol serta merokok dapat mempengaruhi kadar Haemoglobin (Mehdi *et al.*, 2000). Konsumsi teh setiap hari dapat menghambat penyerapan zat besi sehingga akan mempengaruhi terhadap kadar Haemoglobin (Gibson, 2005). Beberapa faktor lain yang mempengaruhi kadar Haemoglobin antara lain:

1. Usia: Anak-anak, orang tua, ibu yang sedang hamil akan lebih mudah mengalami penurunan kadar Haemoglobin. Pada anak-anak dapat disebabkan karena pertumbuhan anak-anak yang cukup pesat dan tidak diimbangi dengan asupan zat besi sehingga dapat menurunkan kadar Haemoglobin (National Anemia Action Council, 2009).
2. Jenis Kelamin: Perempuan lebih mudah mengalami penurunan daripada laki-laki, terutama pada saat menstruasi (Curtale *et al.*, 2000).
3. Penyakit Sistemik: Beberapa penyakit yang dapat mempengaruhi kadar Haemoglobin yaitu Leukimia, thalasemia, tuberkulosis. Penyakit tersebut dapat mempengaruhi produksi sel darah merah yang disebabkan karena terdapat gangguan pada sum-sum tulang (Hoffbrand *et al.*, 2005).

4. Pola Makan: Pola makan adalah menu makanan yang dalam keseharian oleh seseorang. Pola makan yang sehat tercantum dalam pemilihan menu makanan yang seimbang (Prasetyono, 2009). Sumber zat besi terdapat dalam makanan bersumber dari hewani dimana hati merupakan sumber yang paling banyak mengandung Fe (antara 6,0 mg sampai dengan 14,0 mg). Sumber lain juga berasal dari tumbuh-tumbuhan tetapi kecil kandungannya sehingga bisa diabaikan (Gibson, 2005). Zat besi dalam makanan berbentuk hem yaitu berikatan dengan protein atau dalam bentuk nonhem yang berbentuk senyawa besi anorganik yang kompleks. Zat besi hem lebih banyak diabsorpsi dibanding dengan zat besi nonhem. Sumber zat besi hem adalah hati, ginjal, daging, ayam, ikan dimana dalam usus diserap 15- 35%. Sumber nonhem umumnya terdapat dalam makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti sayur-sayuran, biji-bijian, kacang-kacangan, buah-buahan dan sereal, sedikit dalam daging, ikan, telur (Burgess, 1993).

#### **2.2.6 Derivat Haemoglobin (Hb)**

Menurut (Kiswari, 2014) hal 92-93 derivat haemoglobin terdiri dari hemoglobin (methemoglobin), sulfhemoglobin (SHb) dan karboxihemoglobin (carboxyhemoglobin, HbCO). Masing-masing karakteristiknya dijelaskan berikut ini:

1. Hemoglobin (Methemoglobin) adalah turunan dari Hb di mana besi ferro teroksidasi menjadi besi ferri, mengakibatkan ketidak mampuan methemoglobin untuk mengikat O<sub>2</sub> secara reversible, sedangkan rantai polipeptida tidak diubah. Seorang individu normal memiliki methemoglobin mencapai 1.5 % konsentrasi methemoglobin yang meningkat didalam darah

akan menyebabkan methemoglobinemia dan terjadi perubahan warna darah menjadi coklat, mengalami sianosis, dan akan terjadi anemia fungsional jika konsentrasinya cukup tinggi.

2. Sulfhemoglobin (SHb) merupakan campuran dari hasil oksidasi, sebagian terbentuk dari denaturasi Hb yang terjadi selama oksidatif hemolisis. Selama oksidasi Hb, sulfur dari beberapa sumber yang mungkin berbeda masuk ke dalam cincin heme pada Hb, menghasilkan hemokrom hijau. Oksidasi lebih lanjut biasanya menghasilkan denaturasi dan endapan sebagai Heinz body. SHb tidak dapat mengangkut O<sub>2</sub> tetapi dapat bergabung dengan karbon monoksida (CO) untuk membentuk karboksisulfhemoglobin. Tidak seperti methemoglobin, SHb tidak berkurang, dan tetap berada dalam sel sampai rusak. Pada sulfhemoglobinemia darah berwarna ungu muda sampai ungu.
3. Karboksihemoglobin adalah CO endogen yang diproduksi saat degradasi heme menjadi bilirubin normal yang berpengaruh sekitar 0.5% dari karboksihemoglobin (HbCO) di dalam darah, dan meningkat pada anemia hemolitik. Haemoglobin memiliki kapasitas untuk bergabung dengan CO dengan afinitas 210 kali lebih besar daripada O<sub>2</sub>. CO akan diikat oleh Hb, bahkan jika konsentrasinya di udara sangat rendah (misalnya 0,02-0.04 %).

### **2.2.7 Pemeriksaan Kadar Haemoglobin**

#### **1. Pemeriksaan Haemoglobin (Hb) Metode Sahli**

Pada metode Sahli, haemoglobin dihidrolisi dengan HCl menjadi globin ferroheme. Ferroheme oleh oksigen yang ada di udara dioksidasi menjadi ferriheme yang akan segera bereaksi dengan ion Cl membentuk ferrihemechlorid yang juga disebut hematin atau hemin yang berwarna coklat. Warna yang

terbentuk ini dibandingkan dengan warna standar (dengan mata telanjang). Untuk memudahkan perbandingan, warna standar dibuat konstan, yang diubah adalah warna hemin yang terbentuk. Perubahan warna hemin dibuat dengan cara pengenceran sedemikian rupa sehingga warnanya sama dengan warna standar. Karena yang membandingkan adalah dengan mata telanjang, maka subjektivitas sangat berpengaruh (Depkes, 2001).

**Prosedur pemeriksaan dengan metode sahli :**

**Reagensia :**

- a. HCl 0,1 N
- b. Aquadest

**Alat:**

- a. Pipet haemoglobin
- b. Alat sahli
- c. Pipet pastur
- d. Pengaduk

**Prosedur kerja :**

- a. Masukkan HCl 0,1 N ke dalam tabung Sahli sampai angka 2.
- b. Bersihkan ujung jari yang akan diambil darahnya dengan larutan desinfektan (alkohol 70%, betadin dan sebagainya), kemudian tusuk dengan lancet atau alat lain.
- c. Isap dengan pipet haemoglobin sampai melewati batas, bersihkan ujung pipet, kemudian teteskan darah sampai ke tanda batas dengan cara menggeserkan ujung pipet ke kertas saring/kertas tisu.

- d. Masukkan pipet yang berisi darah ke dalam tabung haemoglobin, sampai ujung pipet menempel pada dasar tabung, kemudian tiup pelan-pelan. Usahakan agar tidak timbul gelembung udara. Bilas sisa darah yang menempel pada dinding pipet dengan cara menghisap HCl dan meniupnya lagi sebanyak 3-4 kali.
- e. Campur sampai rata dan diamkan selama kurang lebih 10 menit.
- f. Masukkan ke dalam alat pembanding, encerkan dengan aquadest tetes demi tetes sampai warna larutan (setelah diaduk sampai homogen) sama dengan warna gelas dari alat pembanding. Bila sudah sama, baca kadar haemoglobin pada skala tabung.

## **2. Pemeriksaan Haemoglobin (Hb) Metode Cyanmethemoglobin**

Pada metode ini haemoglobin dioksidasi oleh kalium ferrosianida menjadi methemoglobin yang kemudian bereaksi dengan ion sianida membentuk cyanmethemoglobin yang berwarna merah. Intensitas warna dibaca dengan fotometer dan dibandingkan dengan standar. Karena yang membandingkan alat elektronik, maka hasilnya lebih objektif (Depkes, 2001).

Prosedur pemeriksaan dengan metode cyanmethemoglobin

### **Reagen:**

- a. Larutan kalium ferrosianida ( $K_3Fe(CN)_6$ ) 0.6 mmol/l
- b. Larutan kalium sianida (KCN) 1.0 mmol/l

### **Alat:**

- a. Pipet darah
- b. Tabung cuvet
- c. Kolorimeter

**Prosedur kerja:**

- a. Masukkan campuran reagen sebanyak 5 ml ke dalam cuvet
- b. Ambil darah kapiler seperti pada metode sahli sebanyak 0,02 ml dan masukkan ke dalam cuvet di atas, kocok dan diamkan selama 3 menit.
- c. Baca dengan panjang gelombang 546 nm.

**2.2.8 Nilai Normal Haemoglobin**

Nilai normal Haemoglobin pada setiap umur dan jenis kelamin berbeda-beda seperti yang ada pada tabel berikut :

**Tabel 2.1 Jumlah Haemoglobin Normal**

Kriteria	Kadar Hb (g/dl)
Anak umur 6 bln – 6 th	11 – 14.5
6 th – 14 th	12 – 13.5
Pria Dewasa	13 – 17
Wanita hamil	11 – 14
Wanita dewasa	12 – 15.5

(Sumber : Widman F.K, 1995 dalam Warsito 2007 ).

**2.3 Definisi Tentang Pencemaran Udara**

Polusi atau pencemaran udara adalah dimasukkannya komponen lain ke dalam udara, baik oleh kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung maupun akibat proses alam sehingga kualitas udara turun sampai pada tingkatan tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya. Setiap substansi yang bukan merupakan bagian dari komposisi udara normal disebut sebagai polutan (Chandra, 2006).

Menurut Kamar (1987), pencemaran udara adalah adanya bahan polutan di atmosfer yang dalam konsentrasi tertentu akan mengganggu keseimbangan

dinamik atmosfer dan mempunyai efek pada manusia dan lingkungan (Mukono, 2002).



**Gambar 2.4 Polusi Udara (Sumber : <https://www.google.com/search?q=pencemaran+udara&client=firefox-a&hs=IJf&rls=org.mozilla>)**

### **2.3.1 Sumber Pencemar Udara**

Menurut Chandra (2006) sumber-sumber pencemaran udara dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu (1).Pencemaran yang berasal dari proses atau kegiatan alam misalnya: kebakaran hutan,kegiatan gunung berapi, dan lainnya, (2) Pencemaran buatan manusia (berasal dari kegiatan manusia) misalnya : (a) Sisa pembakaran bahan bakar minyak oleh kendaraan bermotor berupa gas CO, CO<sub>2</sub>, NO, Karbon, Hidrokarbon, Aldehyd, dan Pb. (b) Limbah industri : Kimia, metalurgi, tambang, pupuk, dan minyak bumi. (c) Sisa pembakaran dari gas alam : Batu bara, dan minyak, seperti asap, debu, dan sulfurdioksida dan pembakaran sisa pertanian, hutan, sampah, serta limbah reaktor nuklir.

### **2.3.2 Jenis polutan berdasarkan struktur kimia dan penampang partikel**

Menurut Chandra (2006) jenis polutan dapat dibagi berdasarkan struktur kimia dan penampang partikelnya seperti berikut : (1) berdasarkan Struktur kimia meliputi (a) Partikel antara lain debu, abu, logam, Pb, nikel, kadmium, dan

berilium. (b) Gas anorganik meliputi NO, CO, SO<sub>2</sub>, ammonia dan hidrogen. (c) Gas organik meliputi Hidrokarbon, benzen, etilen, asetilen, aldehid, keton, alkohol, dan asam-asam organik. (2) berdasarkan Penampang partikel: Partikel dalam udara dapat melekat pada saluran pernapasan manusia yang tentunya dapat menyebabkan bahaya bagi kesehatan manusia.

### **2.3.3 Efek pencemaran udara**

#### **1. Efek Terhadap Kesehatan**

Efek pencemaran udara terhadap kesehatan manusia dapat terlihat baik secara cepat maupun lambat, seperti berikut :

- a. Efek cepat: Hasil studi epidemiologi menunjukkan bahwa peningkatan mendadak kasus pencemaran udara juga akan meningkatkan angka kasus kesakitan dan kematian akibat penyakit saluran pernapasan. Pada situasi tertentu, gas CO dapat menyebabkan kematian mendadak karena daya afinitas gas CO terhadap haemoglobin darah (menjadi methaemoglobin) yang lebih kuat dibandingkan daya afinitas O<sub>2</sub> sehingga terjadi kekurangan gas oksigen di dalam tubuh.
  - b. Efek lambat: Pencemaran udara diduga sebagai salah satu penyebab penyakit bronkhitis kronis dan kanker paru. Penyakit yang disebabkan oleh pencemaran udara, emfisema paru, penyakit asma dan eksema.
2. Efek Terhadap Tumbuhan dan Hewan: Tumbuhan-tumbuhan sangat sensitif terhadap gas sulfur dioksida, florin, ozon, hidrokarbon, dan CO. Apabila terjadi pencemaran udara, konsentrasi gas tersebut akan meningkat dan dapat menyebabkan daun tumbuhan berlubang dan layu. Hewan akan menjadi sakit jika memakan tumbuhan-tumbuhan yang mengandung dan tercemar florin.

### 2.3.4 Klasifikasi Bahan Pencemar Udara

Menurut Mukono (2000) bahan pencemar udara atau polutan dapat dibagi menjadi dua bagian :

#### 1. Polutan Primer

Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu, dan dapat berupa :

- a. Polutan gas terdiri dari : 1) Senyawa karbon, yaitu hidrokarbon, hidrokarbon teroksidasi, dan karbon oksida (CO atau CO<sub>2</sub>), 2) Senyawa sulfur, yaitu sulfur oksida, 3) Senyawa nitrogen, yaitu nitrogen oksida dan amoniak, 4) Senyawa halogen, yaitu fluor, klorin, hidrogen klorida, hidrokarbon terklorinasi, dan bromin. Penyebab terjadinya pencemaran lingkungan di atmosfer biasanya berasal dari sumber kendaraan bermotor atau industri. Bahan pencemar yang dikeluarkan antara lain adalah gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, ozon, CO, HC dan partikel debu. Gas NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HC dan CO dapat dihasilkan oleh proses pembakaran dari mesin yang menggunakan bahan bakar yang berasal dari bahan fosil.
- b. Partikel: Partikel yang di atmosfer mempunyai karakteristik yang spesifik, dapat berupa zat padat maupun suspensi aerosol cair di atmosfer. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, proses dispersi (misalnya proses menyemprot/spraying) maupun proses erosi bahan tertentu.

#### 2. Polutan Sekunder

Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia. Sebagai contoh adalah disosiasi NO<sub>2</sub> dan O radikal. Proses kecepatan dan arah reaksinya dipengaruhi oleh berbagai

faktor, antara lain : (a) Konsentrasi relatif dari bahan reaktan, (b) Derajat fotoaktivasi, (c) Kondisi iklim, (d) Topografi lokal dan adanya embun.

Polutan sekunder ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil diantaranya : ozon, dan formaldehid (Mukono, 2000).

### **2.3.5 Indikator Pencemaran Udara**

#### **1. Karbon monoksida**

Karbon monoksida dapat juga dipakai sebagai parameter indikator pencemar udara, terutama yang diakibatkan oleh pembakaran bahan bakar minyak oleh kendaraan bermotor.

#### **2. Oksidan (O<sub>3</sub>)**

Oksidan, misalnya saja ozon (O<sub>3</sub>) dihasilkan akibat kerja sinar matahari terhadap asap pembuangan kendaraan bermotor di kota-kota besar.

#### **3. Nitrogen dioksida**

Nitrogen dioksida merupakan gas yang dihasilkan baik akibat kegiatan manusia maupun akibat proses alam semacam aktifitas gunung berapi.

#### **4. Timah hitam atau timbal**

Sering dipakai sebagai bahan untuk menambah kekuatan dan kecepatan mobil dan biasanya ditambah ke dalam bahan bakar bensin.

### **2.3.6 Tindakan pencegahan dan pengendalian pencemaran udara**

Menurut Chandra (2006), beberapa batasan prosedur pencegahan dan pengendalian pencemaran udara yang diajukan dalam *Research into Environmental Pollution* WHO (1968), antara lain :

1. *Containment*, merupakan suatu upaya penanggulangan untuk mencegah masuknya gas-gas toksik secara langsung ke dalam udara bebas.

2. *Replacement*, Mengganti perlengkapan dan sumber energy yang banyak mengakibatkan pencemaran dengan sumber energi yang kurang mengakibatkan pencemaran.
3. *Dilution*, Suatu upaya untuk mengencerkan bahan pencemar.
4. *Legislation*, Dengan adanya peraturan dan perundangan yang dikeluarkan untuk melindungi tenaga kerja, masyarakat umu, dan untuk melestarikan lingkungan hidup.
5. *International action*, WHO telah membentuk suatu jaringan internasional berupa laboratorium-laboratorium yang bertugas memantau dan mempelajari kasus-kasus pencemaran udara (Chandra, 2006).

## **2.4 Tinjauan Tentang Karbon Monoksida (CO)**

Karbon monoksida (CO) adalah suatu komponen tidak berbau, tidak berwarna dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas  $-192^{\circ}$  C. Komponen ini mempunyai berat sebesar 96.5% dari berat air dan tidak larut di dalam air (Fardiaz, 1992). Gas karbon monoksida ini tidak menyebabkan iritasi, mudah terbakar dan merupakan gas beracun. Sifat yang sulit dideteksi ini menjadikan karbon monoksida dikenal sebagai silent killer (Selvia dkk., 2011).

### **2.4.1 Sumber Karbon Monoksida**

Lingkungan merupakan sumber utama karbon monoksida termasuk knalpot mobil, asap rokok dan bahan bakar fosil. Gas yang mengandung karbon monoksida salah satunya yaitu berasal dari gas buangan dari mesin yang menggunakan bensin yang mengandung 6% dari gas karbon monoksida. Sumber

kontribusi terbesar karbon monoksida adalah dari kendaraan bermotor sekitar 50%. Berdasarkan hasil penelitian, jumlah karbon monoksida dari sumber buatan mendekati 60 juta ton per tahun. Laporan WHO (1999) menyatakan paling tidak 90% dari karbon monoksida diudara perkotaan berasal dari emisi kendaraan bermotor (Selvia dkk, 2011).

Transportasi menghasilkan karbon monoksida yang paling banyak diantara sumber lainnya, terutama dari kendaraan yang menggunakan bensin sebagai bahan bakar. Sumber karbon monoksida yang kedua adalah pembakaran hasil-hasil pertanian seperti sampah, sisa kayu di hutan dan sisa tanaman di perkebunan. Dan sumber karbon monoksida yang ketiga setelah transportasi dan pembakaran adalah proses-proses industri. Dan industri yang merupakan sumber karbon monoksida terbesar yaitu industri baja dan besi (Fardiaz, 1992)

#### **2.4.2 Proses terbentuknya karbon monoksida**

Menurut fardiaz (1992), Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut:

1. Pembakaran bahan bakar fosil.
2. Pada suhu tinggi terjadi reaksi antara karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) yang menghasilkan gas karbon monoksida.
3. Pada suhu tinggi karbon monoksida dapat terurai kembali menjadi karbon monoksida dan oksigen.

Gas karbon monoksida dapat meracuni darah atau sistem pernapasan. Hal ini disebabkan afinitas karbon monoksida terhadap haemoglobin lebih besar daripada afinitas  $\text{O}_2$  terhadap haemoglobin. Oleh karena itu, apabila dalam udara pernapasan ada  $\text{O}_2$  dan karbon monoksida, haemoglobin lebih suka mengikat

karbon monoksida daripada mengikat  $O_2$ . Haemoglobin yang telah mengikat karbon monoksida tidak dapat mengikat  $O_2$  lagi sehingga mengganggu pengangkutan  $O_2$  dari paru-paru ke jaringan (Sumardjo, 2009).

### **2.4.3 Mekanisme Haemoglobin Mengikat Karbon Monoksida**

Dari populasi udara yang dihirup sekitar 80%-90% jumlah CO yang diabsorpsi berikatan dengan haemoglobin, membentuk karboksihaemoglobin (HbCO). HbCO menyebabkan lepasnya ikatan oksihemoglobin dan mereduksi kapasitas transport oksigen dalam darah. Afinitas (daya tarik) ikatan karbon monoksida dan haemoglobin adalah 200-250 kali dari  $O_2+Hb$ . Karbon monoksida masuk ke aliran darah melalui paru-paru dan bereaksi dengan haemoglobin.

Karboksihaemoglobin beberapa kali lebih stabil dibandingkan oksihemoglobin sehingga reaksi ini mengakibatkan berkurangnya kapasitas darah untuk menyalurkan  $O_2$  ke jaringan tubuh. Jika kita duduk di udara dengan kadar karbon monoksida 60 bpj selama 8 jam, maka kemampuan mengikat oksigen oleh darah turun sebanyak 15% , sama dengan kehilangan darah sebanyak 0,5 liter. Paparan dari karbon monoksida menghasilkan hipoxia (kekurangan oksigen) pada jaringan. Hipoxia menyebabkan efek pada otak dan perkembangan janin. Efek pada sistem kardiovaskuler terjadi pada HbCO kurang dari 5% adapun pengaruh COHb (dalam %) terhadap kesehatan antara lain yaitu: (1) Kurang dari 1,0 : tidak ada pengaruh. (2) 2,0-5,0 : berpengaruh pada sistem syaraf utama, reaksi panca indera tidak normal, pandangan kabur. (3) 5,0 : perubahan fungsi jantung. (4) 10,0-80,0 : kepala pusing, mual, berkunang-kunang, pingsan, sesak nafas, dan kematian.

