

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORITIS**

#### **A. Kajian Teori**

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

Menurut Wardhana (1995, h. 27), pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya.

Pengertian pencemaran udara berdasarkan Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997 pasal 1 ayat 12 mengenai Pencemaran Lingkungan yaitu pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pencemaran yang berasal dari pabrik, kendaraan bermotor, pembakaran sampah, sisa pertanian, dan peristiwa alam seperti kebakaran hutan, letusan gunung api yang mengeluarkan debu, gas, dan awan panas.

Sedangkan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI nomor 1407 tahun 2002 tentang Pedoman Pengendalian Dampak Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan atau mempengaruhi kesehatan manusia.

Bahan pencemar di udara dapat berbentuk partikulat dan gas. Dalam bentuk gas dapat dibedakan menjadi: (1) golongan Belerang (Sulfur Dioksida, Hidrogen Sulfida); (2) golongan Nitrogen (Nitrogen Oksida, Nitrogen Monoksida, Amoniak, dan Nitrogen Dioksida); (3) golongan Karbon (Karbon Dioksida,

Karbon Monoksida, dan Hirokarbon); (4) golongan gas yang berbahaya (Benzene, Vinil Klorida, uap air raksa) (Nugrahani, 2012, h. 36).

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami dan aktivitas manusia atau disebut juga kegiatan antropogenik. Contoh sumber alami adalah akibat letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu, spora tumbuhan dan sebagainya. Untuk kegiatan antropogenik, sumber-sumber pencemaran dibagi dalam pencemaran akibat aktivitas transportasi, industri, dari persampahan, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran, dan rumah tangga.

Menurut Andrews (1972) dalam Udayana (2004, h. 7), sumber polusi udara dapat dikelompokkan dalam tiga golongan, yaitu:

- a. Gesekan permukaan seperti gesekan (gosokan) dari beberapa materi misalnya aspal, tanah, besi dan kayu yang membuang partikel padat ke udara dalam berbagai ukuran.
- b. Penguapan yang berasal dari cairan yang mudah menguap misalnya bensin, minyak cat dan uap yang dihasilkan oleh industri logam, kimia, dan lain-lain.
- c. Pembakaran, seperti pembakaran bahan bakar fosil misalnya minyak, solar, bensin, batu bara, pembakaran hutan dan sebagainya. Pembakaran tersebut merupakan proses oksidasi sehingga menghasilkan gas-gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  atau senyawa hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna.

Di Indonesia, kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun

terhadap lingkungan, seperti timbal/timah hitam (Pb), suspended particulate matter (SPM), oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida fotokimia (O<sub>x</sub>). Kendaraan bermotor menyumbang hampir 100% timbal, 13-44% suspended particulate matter (SPM), 71-89% hidrokarbon, 34-73% NO<sub>x</sub>, dan hampir seluruh karbon monoksida (CO) ke udara Jakarta. Sumber utama debu berasal dari pembakaran sampah rumah tangga, di mana mencakup 41% dari sumber debu di Jakarta. Sektor industri merupakan sumber utama dari sulfur dioksida. Di tempat-tempat padat di Jakarta konsentrasi timbal bisa 100 kali dari ambang batas (Sumber Dishub Provinsi Lampung)

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkannya gas CO, NO<sub>x</sub>, hidrokarbon, SO<sub>2</sub> dan tetraethyl lead, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter-parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, partikulat, NO<sub>x</sub>, HC, Pb dan SO<sub>x</sub> (Soedomo, 2001, h. 5).

Emisi pencemaran udara yang dihasilkan oleh transportasi tentunya bersifat racun yang dapat mempengaruhi makhluk hidup disekitarnya, baik manusia maupun tanaman. Udara yang tercemar dengan partikel dan gas yang dihasilkan akibat kegiatan transportasi ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya pada manusia, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal

dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit.

Sedangkan pada tanaman partikel dan gas tersebut dapat mempengaruhi morfologis dan fisiologis dari tanaman itu sendiri. Pada umumnya, secara morfologis, dampak pencemaran udara terhadap tanaman antara lain berupa gejala klorosis (daun menguning atau warna daun memudar), nekrosis (kematian sel berupa bercak), gangguan pertumbuhan, dan penurunan luas daun (Backhaus, *et al.*, 2000 dalam Nugrahani, 2012, h. 43). Serta secara fisiologis, bahan pencemar yang dihasilkan akibat kegiatan transportasi salah satunya dapat menghambat laju fotosintesis pada tanaman.

## **2. Toleransi Tanaman terhadap Pencemaran Udara**

Setiap tanaman memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Kondisi lingkungan tempat tanaman berada selalu mengalami perubahan. Perubahan yang terjadi mungkin saja masih berada dalam batas toleransi tanaman tersebut, tetapi seringkali tanaman mengalami perubahan lingkungan yang dapat menyebabkan menurunnya produktivitas dan bahkan kematian tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa setiap tanaman memiliki faktor pembatas dan daya toleransi terhadap lingkungan (Purwadi, 2011 dalam Ai dan Banyo, 2011, h. 169).

Tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan hidupnya. Karakteristik anatomi dan fisiologi dari tanaman memberikan peluang keberhasilan untuk menyesuaikan kehidupan di habitat tertentu. Sehingga adaptasi anatomi dan

fisiologi tanaman terhadap lingkungannya dapat dijadikan indikator terhadap perubahan lingkungan hidup tanaman.

Adaptasi anatomi dan fisiologi pada tanaman bervariasi bergantung dari tempat hidupnya. Namun demikian jenis tanaman yang berbeda menunjukkan sensitifitas yang berbeda pula terhadap perubahan lingkungan bahkan terhadap bahan pencemar khususnya pencemaran udara. Pada umumnya tanaman lebih sensitive terhadap polutan daripada manusia. Tanaman yang sensitif dapat menjadi indikator, sedangkan tanaman yang tahan dapat menjadi akumulator polutan di dalam tubuhnya, tanpa mengalami kerusakan. Akan tetapi jika polutan di udara mempunyai konsentrasi yang tinggi, baik tanaman sensitif maupun tanaman yang tahan terhadap polusi akan mengalami kerusakan pada anatomi dan fisiologi dari tanaman tersebut, seperti klorosis dan nekrosis serta penurunan kandungan kadar klorofil pada daun.

Tanaman terutama pepohonan dapat menyerap polutan udara secara efektif, asalkan tingkat polusi tersebut tidak sedemikian tinggi sehingga dapat merusak atau bahkan mematikannya (Udayana, 2004, h. 20). Sehingga tanaman memiliki tingkat toleransi masing-masing terhadap pencemaran udara.

Toleransi tanaman merupakan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan. Menurut Nugrahani dan Sukartinigrum (2008) dalam Nugrahani dan Endang (2010, h. 1), toleransi tanaman terhadap bahan pencemaran mencerminkan kemampuan tanaman sebagai penyerap bahan pencemar udara tanpa memperlihatkan kerusakan eksternal apapun. Tingkat toleransi terhadap polusi udara ini bervariasi antar spesies.

Toleransi tanaman terhadap pencemaran udara bergantung dari respon fisiologis tanaman tersebut. Respon fisiologis tanaman terhadap pencemaran udara berbeda-beda bergantung dari jenis polutan dan lamanya tanaman terpapar bahan pencemar udara tersebut. Rinawati (1991) *dalam* Kusuma (2011, h. 7) menyebutkan bahwa setiap pohon memiliki respon-respon yang berbeda terhadap masing-masing pencemar udara baik itu dalam bentuk gas ataupun partikel. Perbedaan tersebut tergantung dari jenis pohon dan susunan genetiknya. Dan faktor-faktor lain yang ikut berperan diantaranya adalah tingkat pertanaman pohon, jarak terhadap sumber pencemar, konsentrasi bahan pencemar, dan durasi paparan pencemar.

Bahan pencemar dapat menyebabkan terjadinya kerusakan fisiologis di dalam tanaman jauh sebelum terjadinya kerusakan fisik. Kerusakan fisiologi tersebut dapat berupa penurunan kemampuan tanaman dalam menyerap air, pertanaman sel yang lambat, atau pembukaan stomata yang tidak sempurna. Pencemaran udara juga mempengaruhi luas daun suatu tanaman. Luas daun suatu tumbuhan akan mengalami penurunan jika terpapar polusi. Terhambatnya laju pertanaman dan perluasan daun maka akan menurunkan hasil fotosintesis (Koslowski dan Mudd, 1975 *dalam* Siregar, 2005, h. 8).

Pohon bertindak sebagai penghilang polusi udara tetapi kinerja yang lebih baik berasal dari spesies yang toleran terhadap polusi (Miria dan Khan, 2013 *dalam* Mahechaet.al, 2013, h. 7927) . Dengan memonitor toleransi tanaman terhadap polusi udara mereka dapat digunakan sebagai penyaring dan dapat digunakan sebagai indikator biologis atau monitor polusi udara . Kemudian

mereka dapat digunakan secara efektif oleh para perencana dan pengembang sabuk hijau dalam mengelola polusi udara perkotaan (Mahecha, 2013, h. 7927).

### **3. *Air Pollution Tolerance Index (APTI)***

*Air Pollution Tolerance Index (APTI)* adalah suatu angka yang menunjukkan tingkat toleransi tanaman terhadap polusi (Singh *et al.*, 1991 *dalam* Udayana, 2004, h. 22). Proses fisiologi tanaman dapat menjadi faktor untuk menunjukkan tingkat toleransi tanaman terhadap pencemaran udara. Tidak ada faktor-faktor biokimia mandiri yang memberi informasi terpercaya tentang status toleran tanaman, namun kombinasi dari semua faktor menjadi rumus yang dikenal sebagai Indeks Toleransi Pencemaran Udara yang memberikan informasi lebih yang dapat diandalkan (Sarala dan Sabitha, 2011 *dalam* Agbaire dan Akporhonor, 2014, h. 63).

Menurut Singh *et al.* (1991) *dalam* Dwiputri (2015, h. 39) kandungan asam askorbat total, klorofil total, pH, dan kadar air daun yang diformulasikan ke dalam nilai APTI, merupakan parameter fisiologi tanaman yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat toleransi tanaman terhadap pencemar udara.

#### **a. Asam Askorbat**

L-asam askorbat (vitamin C) merupakan vitamin penting dalam diet manusia dan tersedia melimpah dalam jaringan tanaman (Noctor dan Foyer, 2005 *dalam* Dwiputri 2015, h. 11). Daun-daun hijau pada tanaman mengandung asam askorbat yang sama banyaknya dengan klorofil. Asam askorbat berfungsi dalam proses fisiologi tanaman salah satunya sebagai anti oksidan yang mencegah terjadinya

oksidasi pada tanaman juga sebagai pertahanan tubuh tanaman. Jika proses oksidasi sampai berlangsung, maka akan terbentuk suatu senyawa yang dapat meracuni tanaman itu sendiri. Selain itu askorbat juga berfungsi sebagai pereduksi untuk beberapa radikal bebas sehingga dapat meminimalkan kerusakan yang disebabkan oleh *oxidative stress* (Mc Kersie dan Leshem, 1994 dalam Dwiputri, 2015, h. 11). Udayana (2004, h. 23), menyebutkan bahwa tanaman yang toleran mempunyai kandungan asam askorbat yang tinggi walaupun dalam kondisi terpolusi.

Sesuai dengan pernyataan Lima *et. al.* (2000, h, 277) bahwa tanaman yang toleran terhadap polusi udara memiliki kandungan asam askorbat tinggi karena asam askorbat memiliki fungsi sebagai anti oksidan atau reduksi kuat yang dapat mencegah terjadinya reaksi oksidasi.

Beban polusi bergantung peningkatan kadar asam askorbat pada seluruh jenis tanaman yang menyebabkan peningkatan laju produksi spesies reaktif oksigen (ROS) ketika proses foto oksidasi (Tripathi dan Guatam, 2007, h. 131). Asam askorbat memainkan peran penting dalam sintesis dinding sel, pertahanan dan pembelahan sel. Hal ini juga memainkan peran penting dalam fiksasi karbon fotosintesis (Lewin, 1976 dalam Agbaire dan Akporhonor, 2014, h. 63).

#### **b. Klorofil**

Klorofil merupakan zat hijau daun yang sangat berperan dalam proses fotosintesis. Kandungan klorofil pada setiap tanaman berbeda-beda bergantung dari umur daun, morfologi, tingkat polusi, serta kondisi biotik dan abiotik. Pada lingkungan yang terpapar polusi udara, keberadaan polusi dapat menurunkan



kandungan klorofil pada daun. Karena masuknya polusi pada daun dapat merusak kutikula sehingga akan menghambat proses respirasi, dengan demikian proses fotosintesis pada tanaman pun akan terhambat. Pada jenis tanaman yang toleran terhadap polusi, memiliki kandungan klorofil yang tinggi. Karena secara fisiologis, tanaman dapat menolak atau menetralkan polutan sehingga tidak merusak klorofil pada tanaman.

Klorofil adalah salah satu bagian penting utama produksi energi pada tumbuhan hijau dan jumlah mereka secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Deplesi klorofil menyebabkan penurunan produktivitas tanaman dan kemudian tanaman ini menunjukkan tingkat semangat yang rendah (Agbaire dan Akporhonor, 2014, h. 63).

Kadar klorofil dalam tanaman bervariasi dari satu spesies dan spesies lainnya bergantung umur daun, tingkat polusi seperti halnya kondisi biotik dan abiotik lainnya (Dwiputri, 2015, h. 38). Kandungan klorofil akan menurun selama produksi ROS (*Reactive Oxygen Species*) pada kloroplas di bawah kondisi yang tidak mendukung. Kandungan klorofil yang lebih tinggi diduga mendukung toleransi tumbuhan terhadap polutan (Kurniati dan Irwanto, 2015, h. 1613). Turk dan Wirth (1975) dalam Agbaire dan Akporhonor (2014, h. 63) mengatakan bahwa efisiensi fotosintesis sangat bergantung pada pH daun. Proses fotosintesis berkurang pada tanaman ketika pH daun rendah.

### **c. Derajat Keasaman Daun (pH)**

Derajat keasaman daun (pH) merupakan media respon fisiologi dalam kondisi stres, sehingga pH dapat menjadi indikator toleransi tanaman karena berperan

penting dalam berbagai reaksi fisiologis tanaman. Jenis tanaman yang toleran mengandung pH daun yang cukup tinggi, yaitu sekitar 6-7 walaupun dalam kondisi terpolusi. Penyerapan gas polutan melalui stomata dalam konsentrasi tinggi, seperti  $\text{SO}_2$ , diduga dapat menyebabkan proses asidifikasi pada tanaman, yaitu proses pembentukan asam dari senyawa sederhana. Sehingga melalui proses asidifikasi menyebabkan pH dalam sitoplasma menurun. Untuk menstabilkan pH dalam sitoplasma tetap dalam kisaran yang optimum, maka terjadi pembongkaran asam organik (dekarboksilasi). Terjadinya proses dekarboksilasi berarti mengurangi hasil fotosintesis, yang tercermin dalam penambahan luas daun tanaman terpolusi lebih rendah daripada tanaman kontrol (tidak terpolusi) (Sulistijorini *et al.*, 2008).

Turk dan Wirth (1975) dalam Agbaire dan Akporhonor (2014, h. 63) mengatakan bahwa efisiensi fotosintesis sangat bergantung pada pH daun. Proses fotosintesis berkurang pada tanaman ketika pH daun rendah.

#### **d. Kadar Air**

Tanaman akan mengalami defisit air jika berada dalam lingkungan dengan konsentrasi tinggi, sehingga akan tampak layu. Kadar air pada tanaman berkaitan dengan permeabilitas sel. Kadar air pada tanaman juga mempengaruhi membukadan menutupnya stomata. Jika kekurangan air stomata pada daun akan menutup dan  $\text{CO}_2$  tidak dapat masuk ke dalam daun sehingga proses fotosintesis akan terganggu. Polutan yang terdapat di udara dapat meningkatkan permeabilitas sel yang disebabkan oleh kehilangan air dan terlarutnya bahan nutrisi, akibatnya daun cepat mengalami penuaan (*senescence*), sehingga dimungkinkan tanaman

yang memiliki kandungan air relatif tinggi dalam kondisi terpolusi akan toleran terhadap polutan.

Kadar air pada tanaman juga mempengaruhi sintesis pada daun. seperti yang dinyatakan oleh Hendriyani dan Setiari (2009) dalam Nio Song dan Banyo (2011, h. 170) bahwa kurangnya ketersediaan air akan menghambat sintesis klorofil pada daun akibat laju fotosintesis yang menurun dan terjadinya peningkatan temperatur dan transpirasi yang menyebabkan disintegrasi klorofil.

Rao (1979) dalam Singh *et al.* (1991) dalam Udayana (2004, h. 23) menjelaskan bahwa asam askorbat bersama-sama dengan pH daun berperan penting dalam menentukan sensitifitas tanaman terhadap SO<sub>2</sub>. Penurunan pH menyebabkan penurunan energi, sedangkan asam askorbat melindungi fungsi kloroplas dan klorofil dari polutan. A(T+P) bagian dari formula yang menggambarkan kekuatan kloroplas melawan polutan setelah polutan masuk ke dalam tanaman. Kandungan air relatif (KAR) pada formula A(T+P) menunjukkan kemampuan membran sel dalam mempertahankan permeabilitasnya di dalam kondisi terpolusi. Gabungan dari keempat parameter tersebut menunjukkan indeks terbaik pada tingkat kepekaan tanaman terhadap polusi pada kondisi lapang.

Kelompok tanaman berdasarkan nilai toleransinya menurut Kurniati dan Irwanto (2015, h. 1612) diantaranya tanaman dengan nilai APTI 30-100 termasuk ke dalam tanaman dengan respon toleran, 17-29 adalah intermediet toleran, 1-16 adalah sensitif, dan tanaman dengan nilai APTI <1 termasuk ke dalam tanaman dengan respon sangat sensitif.

#### **4. Faktor Lingkungan**

Tingkat toleransi tanaman pada pencemaran udara bergantung dari respon fisiologi tanaman itu sendiri. Respon fisiologi tanaman sangat berkaitan dengan kondisi lingkungan dimana tanaman tersebut tumbuh. Beberapa faktor lingkungan dapat mempengaruhi laju proses fisiologi pada tanaman.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi proses fisiologi tanaman dibedakan menjadi dua, yaitu biotik dan abiotik. Pada kondisi tanaman dengan lingkungan yang terpapar polusi udara, faktor abiotik lebih mempengaruhi proses fisiologi tanaman dibanding faktor biotik. Faktor abiotik tersebut diantaranya yaitu suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya.

##### **a. Suhu Udara**

Suhu mempengaruhi beberapa proses fisiologis penting: bukaan stomata, laju transpirasi, laju penyerapan air dan nutrisi, fotosintesis, dan respirasi. Peningkatan suhu sampai titik optimum akan diikuti oleh peningkatan proses fisiologis tanaman tersebut. Setelah suhu melewati titik optimum, proses fisiologi tersebut akan dihambat baik secara fisik maupun kimiawi, sehingga mengakibatkan turunnya aktifitas enzim. Maka suhu udara mempengaruhi kecepatan reaksi fisiologis pada tanaman. Ibrahim dan Hizqiyah (2013, h. 40) menyebutkan bahwa naiknya suhu akan meningkatkan laju respirasi sehingga kadar CO<sub>2</sub> dalam daun meningkat, pH akan turun dan stomata tertutup.

Suhu optimum (15°C hingga 30°C) merupakan suhu yang paling baik untuk pertumbuhan. Suhu minimum ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) merupakan suhu terendah di mana

tanaman masih dapat tumbuh. Suhu maksimum ( $30^{\circ}\text{C}$  hingga  $38^{\circ}\text{C}$ ) merupakan suhu tertinggi dimana tanaman masih dapat tumbuh.

Suhu yang ekstrim dapat merusak tanaman. Suhu yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat mematikan tanaman. Kerusakan akibat suhu tinggi dapat dihubungkan dengan kekeringan (desikasi) dan kehilangan air pada tanaman. Suhu udara lingkungan yang tinggi dapat mempunyai efek mematikan tanaman akibat dari koagulasi protein.

Suhu tumbuhan pada umumnya tidak berbeda banyak dengan lingkungannya. Kenaikan suhu udara akan mempengaruhi kelembaban relatifnya. Meningkatnya suhu pada siang hari, biasanya menyebabkan perbedaan tekanan uap air dalam rongga daun dengan di udara menjadi semakin besar dan laju transpirasi meningkat (Ibrahim dan Rizqiyah, 2013 h. 34)

#### **b. Kelembaban Udara**

Kelembaban udara akan berpengaruh terhadap laju penguapan atau transpirasi. Transpirasi tanaman sangat erat hubungannya dengan penyerapan unsur hara dari dalam tanah. Apabila transpirasi cepat, penyerapan unsur hara juga akan cepat. Akan tetapi apabila kelembaban udara tinggi menyebabkan transpirasi menjadi lambat, sehingga penyerapan unsur hara juga akan lambat.

Kelembaban menunjukkan banyak sedikitnya uap air di udara, yang biasanya dinyatakan dengan kelembaban relatif. Makin banyak uap air di udara, akan makin kecil perbedaan tekanan uap air dalam rongga daun dengan di udara, akan makin lambat laju transpirasi. Sebaliknya apabila tekanan uap air di udara makin rendah atau kelembaban relatifnya makin kecil, akan makin besar

perbedaan uap air di rongga daun dengan di udara, dan transpirasi akan berjalan lebih cepat (Ibrahim dan Hizqiyah, 2013, h. 34). Kelembaban udara yang tinggi dapat menstimulir pertumbuhan jamur, fungi, bakteri, yang dapat merugikan tanaman.

### **c. Intensitas Cahaya**

Radiasi cahaya matahari merupakan faktor utama diantara faktor abiotik lainnya. Tidak hanya sebagai sumber energi primer, tetapi juga karena berpengaruh terhadap faktor abiotik lainnya seperti suhu dan kelembaban udara. Karena radiasi cahaya matahari mempengaruhi faktor abiotik lainnya, maka cahaya matahari dapat mempengaruhi pula proses fisiologis pada tanaman, seperti fotosintesis dan transpirasi. Dijelaskan oleh Ibrahim dan Hizqiyah (2013, h. 34) bahwa radiasi cahaya mempengaruhi membukanya stomata sehingga dengan terbukanya stomata pada siang hari, transpirasi akan berjalan dengan lancar.

Cahaya matahari memang tersedia secara melimpah untuk dapat digunakan dalam fotosintesis, namun absorpsi cahaya matahari secara berlebihan dapat menyebabkan terbentuknya produk yang bersifat toksis bagi tanaman sendiri. Cahaya bukan merupakan faktor esensial untuk sintesis asam askorbat dalam tanaman. Dalam tanaman terdapat suatu mekanisme yang mengubah sukrosa, heksosa, dan prazat lain menjadi asam askorbat. Cahaya, suhu, dan karbondioksida mempengaruhi akumulasi asam askorbat dalam tanaman. Suatu prazat asam askorbat dihasilkan oleh proses fotosintesis dan senyawa ini kemudian diubah secara hayati menjadi asam askorbat (Nasution, 2010, h. 23).

Keragaman intensitas cahaya dapat mengubah laju pembentukan prazat dan hal ini tidak mempengaruhi perubahan prazat menjadi asam askorbat atau jumlah yang terbentuk dalam proses metabolisme tanaman. Keragaman suhu dapat mengubah aktivitas metabolisme atau laju pembentukan prazat, tetapi nampaknya tidak berpengaruh penting pada jumlah asam askorbat yang disintesis dari prazat ini. Hal tersebut dapat menjelaskan mengapa sering terjadi dalam pertentangan dalam pustaka tentang pengaruh cahaya terhadap asam askorbat. Cahaya nampaknya merupakan satu-satunya faktor lingkungan yang mempengaruhi kadar asam askorbat dalam sayuran daun dan buah (Harris, R., 1989 *dalam* Nasution, 2010, h. 24).

##### **5. Tanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.)**

Tanaman mahoni merupakan tanaman tahunan, dengan tinggi rata-rata 5 - 25 meter (bahkan ada yang mencapai lebih dari 30 meter), berakar tunggang dengan batang bulat, percabangan banyak, dan kayunya bergetah (Ardaliyus, 2012)

Menurut Dien (1983) *dalam* Sitepu (2007, h. 4), sistematika tanaman mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Class	: Angiospermae
Ordo	: Meliales
Famili	: Meliaceae
Genus	: <i>Swietenia</i>
Spesies	: <i>Swietenia macrophylla</i> King.



**Gambar 2.1. Tanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.)**

(Sumber:<http://www.natureloveyou.sg/Swietenia%20macrophylla/Main.html>)

Mahoni merupakan jenis pohon yang tumbuh di daerah lembab, menyebar secara alami dan dibudidayakan. Merupakan jenis asli dari Meksiko (Yucatan), bagian tengah dan utara Amerika Selatan (Wilayah Amazona). Penanaman secara luas terutama di Asia Selatan dan Pasifik, juga diintroduksi di Afrika Barat (Nurhasybi dan Sudrajat, 2001 *dalam* Wijaksana, 2008, h. 3). Sedangkan di Indonesia, menurut Martawijaya *et. al.* (1981 *dalam* Wijaksana, 2008, h. 3), pohon mahoni menyebar di seluruh Pulau Jawa. Mahoni dapat ditemukan tumbuh liar di hutan jati dan tempat-tempat lain yang dekat dengan pantai, atau ditanam di tepi jalan sebagai pohon pelindung.

Pohon mahoni bisa mengurangi polusi udara sekitar 47% – 69% sehingga disebut sebagai pohon pelindung sekaligus filter udara dan daerah tangkapan air. Daun-daunnya bertugas menyerap polutan-polutan di sekitarnya. Sebaliknya, dedaunan itu akan melepaskan oksigen (O<sub>2</sub>) yang membuat udara di sekitarnya menjadi segar. Ketika hujan turun, tanah dan akar-akar pepohonan itu akan mengikat air yang jatuh, sehingga menjadi cadangan air. Buah mahoni mengandung flavonoid dan saponin. Buahnya dilaporkan dapat melancarkan



peredaran darah sehingga para penderita penyakit yang menyebabkan tersumbatnya aliran darah disarankan memakai buah ini sebagai obat, mengurangi kolesterol, penimbunan lemak pada saluran darah, mengurangi rasa sakit, pendarahan dan lebam, serta bertindak sebagai antioksidan untuk menyingkirkan radikal bebas, mencegah penyakit sampar, mengurangi lemak di badan, membantu meningkatkan sistem kekebalan, mencegah pembekuan darah, serta menguatkan fungsi hati dan memperlambat proses pembekuan darah. Sifat Mahoni yang dapat bertahan hidup di tanah gersang menjadikan pohon ini sesuai ditanam di tepi jalan (Sumber Tahura Ir. H. Djuanda Bandung).

#### **6. Tanaman Tanjung (*Mimusops elengi* L.)**

Tanaman Tanjung (*Mimusops elengi* L.) termasuk famili Sapotaceae dikenal sebagai pohon serba guna kayunya dikenal awet, keras dan kuat untuk konstruksi jembatan, kapal laut, lantai, rangka dan daun pintu. Bagian tanaman lain juga dapat dimanfaatkan seperti akar, kulit, daun dan bunganya sebagai bahan obat-obatan. Pohon tanjung memiliki tajuk yang rindang serta indah sehingga baik untuk ditanam di halaman rumah atau di tepi jalan.

Tanaman Tanjung berukuran sedang, tumbuh hingga ketinggian 15 m. Daun-daun tunggal, tersebar, bertangkai panjang; daun yang termuda berambut coklat, yang segera gugur. Helaihan daun bundar telur hingga melonjong, panjang 9-16 cm, seperti jangat, bertepi rata namun menggelombang. Bunga berkelamin dua, sendiri atau berdua menggantung di bawah daun berbau enak semerbak. Kulit bagian dalam berserat, merah muda atau kemerahan.

Pohon Tanjung dengan ketinggian 5 – 10 meter, mirip dengan keluarga buah Sawo, daunnya berwarna hijau tua dan mengkilat, ditengarai tanjung berasal India, Sri Lanka dan Burma. Telah masuk ke nusantara semenjak berabad-abad yang silam, dari semenanjung Malaya dan sekaang tersebar di Asia Tenggara. Pohon tanjung berbunga harum semerbak dan bertajuk rindang, biasa ditanam di taman-taman dan sisi jalan. Bunga tanjung sangat terkenal karena baunya harum, dan sering dipakai oleh gadis-gadis melayu/disunting pada rambutnya. Buahnya berwarna hijau jika masih muda, dan jika sudah masak berwarna kuning kemerahan, bisa dimakan dengan rasa manis agak sepat. (Steenis, 2003 dalam Purba, 2011, h. 14)

Sistematika tumbuhan Tanjung (*Mimusops elengi* L.) menurut Purba (2011, h. 15) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
Divisi : Spermatophyta  
Class : Dicotyledoneae  
Ordo : Ebenales  
Famili : Sapotaceae  
Genus : *Mimusops*  
Species : *Mimusops elengi* L

Tanaman Tanjung (*Mimusops elengi* L.) merupakan salah satu jenis tanaman pohon yang cukup prospektif untuk dipergunakan dalam program pengembangan hutan kota, karena memiliki multi fungsi. Tanaman tanjung memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pencemaran debu semen dan kemampuan yang tinggi dalam menyerap (adsorpsi) dan menyerap (absorpsi) debu semen, tidak peka terhadap pencemaran udara walaupun kemampuan jerapannya terhadap timbal rendah,

dapat menghasilkan bau harum yang dapat menetralsir bau busuk, bunganya dapat diambil dan dimanfaatkan masyarakat guna meningkatkan taraf gizi/kesehatan dan penghasilan masyarakat dan mempunyai nilai estetika. Oleh karena itu tanaman tanjung dapat dipergunakan dalam program pengembangan hutan kota di kawasan pabrik, di kawasan dengan pencemaran udara yang tinggi, di kawasan tempat penimbunan sampah atau di kawasan pemukiman kumuh dan padat (Departemen Kehutanan RI, 2009 *dalam* Metananda, 2012)



**Gambar 2.2. Tanaman Tanjung (*Mimusops elengi* L.)**

(Sumber: <http://www.natureloveyou.sg/Mimusops%20elengi/Main.html>)

Tanaman tanjung banyak dimanfaatkan sebagai pohon pelindung yang terdapat pada jalan–jalan protokol. Selain itu buah tanjung banyak dimakan oleh burung sehingga penyebaran bibitnya mudah menyebar karena bantuan burung yang memakan buahnya dan menjatuhkannya di tempat yang lain. Tanaman tanjung termasuk pada tanaman yang sensitif, sehingga tanaman ini tidak cocok untuk ditempatkan di pinggi jalan atau jalur convergen (penyatuan dua jalan). Pemilihan jenis yang baik seharusnya memiliki fungsi pereduksi polutan, pengarah dan Landmark dari kategori tanaman toleran sampai sedang (Udayana 2004 *dalam* Metananda, Arya Arismaya, 2012).

## **7. Jalan L. L. RE. Martadinata Kota Bandung**

Kota Bandung terletak pada koordinat  $107^{\circ}$  BT dan  $6^{\circ} 55'$  LS. Luas kota Bandung adalah 16.767 hektare. Kota ini secara geografis terletak di tengah-tengah Provinsi Jawa Barat, dengan demikian sebagai Ibu Kota Provinsi, Bandung mempunyai nilai strategis terhadap daerah-daerah sekitarnya. Kota Bandung terletak pada ketinggian  $\pm 768$  m di atas permukaan laut rata-rata (*mean sea level*), dengan di daerah utara pada umumnya lebih tinggi daripada di bagian selatan. Ketinggian disebelah utara  $\pm 1050$  dpl, sedangkan di bagian selatan  $\pm 675$  dpl. Bandung dikelilingi oleh pegunungan, sehingga Bandung merupakan suatu cekungan (Bandung Basin) (Anonim, 2009).

Daerah Bandung merupakan daerah yang juga memerlukan suatu studi yang lebih mendalam. Keadaan topografis dan geografis daerah Bandung yang sangat khusus, ditandai dengan cekungan dan lembah, akan memberikan suatu karakteristik meteorologi regional yang tersendiri. Inversi temperatur dan aliran udara bolak-balik akan sangat mungkin terjadi, baik secara periodik maupun menerus. Akumulasi pencemar udara, baik primer maupun sekunder, akan mungkin juga terjadi karenanya. (Soedomo M, 2001, h. 61)

Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara. Masuknya zat pencemar ke dalam udara tepat secara alamiah, misalnya asap pembakaran hutan, akibat gunung berapi, debu meteorit dan pancaran garam dari laut; juga sebagian besar disebabkan oleh kegiatan manusia, misalnya akibat aktivitas transportasi, industri, membuang sampah, baik akibat

proses dekomposisi ataupun pembakaran serta kegiatan rumah tangga (Soedomo M, 2001, h. 3).

Pencemaran udara di Indonesia disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor (60-70%), industri (10-15%), dan sisanya berasal dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain (Kusnoputranto 1996 *dalam* Dwiputri, 2015, h. 1). Menurut Sastrawijaya (2000, h. 170), pembakaran bensin yang tidak sempurna pada kendaraan bermotor akan menghasilkan banyak bahan yang tidak diinginkan dan meningkatkan pencemaran.

Jumlah Kendaraan Bermotor di Jawa Barat khususnya Bandung mengalami peningkatan yang cukup drastis dan menjadikan kota Jawa Barat masuk 5 besar pengguna Kendaraan Bermotor terbanyak di Indonesia. Untuk Bandung sendiri saat ini, setidaknya ada 1,25 juta kendaraan bermotor di Kota Bandung. Dari jumlah tersebut sekitar 94% nya adalah kendaraan pribadi (Sumber BPS Bandung tahun 2014). Dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor maka akan semakin meningkatkan penurunan kualitas udara di kota Bandung akibat emisi yang dihasilkan.

Penurunan kualitas lingkungan perkotaan yang ditandai dengan semakin meningkatnya pencemaran udara yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat perkotaan. Jenis dan bahaya polutan bagi kehidupan manusia antara lain Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Logam berat seperti Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu) dan Seng (Zn); Benzena, Formaldehid, Trichloroetilen serta Xylen. Sumber pencemaran udara di perkotaan yang paling potensial adalah kendaraan bermotor, yang menghasilkan gas-gas

hasil emisi kendaraan bermotor berupa CO, SO<sub>x</sub>. Partikel dan gas NO<sub>x</sub> (Lutfi, 2009 dalam Qonita, Faizah Indah, 2014, h. 1).

Vegetasi atau komunitas tumbuhan yang tersedia di alam, merupakan solusi yang paling menjanjikan untuk mengatasi pencemaran udara. Oleh karena itu, melakukan aksi penghijauan harus segera dilakukan agar pencemaran udara tidak semakin parah. Semua tumbuhan hijau akan mengubah gas CO<sub>2</sub> menjadi O<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis. Namun selain berhijau daun, pemilihan jenis tanaman penghijauan seyogyanya juga mempertimbangkan fungsinya sebagai peneduh yang dapat memperbaiki iklim mikro, dan juga dapat berfungsi sebagai barrier/penahan terhadap penyebaran polusi udara dari kendaraan (Martuti, 2013, h. 37).

Diketahui ada lima tanaman pohon dan lima jenis tanaman perdu yang bisa mereduksi polusi udara. Menurut penelitian di laboratorium, kelima jenis pohon itu bisa mengurangi polusi udara sekitar 47 – 69%. Mereka adalah pohon *Filicium decipiens*, mahoni (*Swietenia mahagoni*), kenari (*Canarium commune*), salam (*Syzygium polyanthum*), dan antinganting (*Elaeocarpus grandiflorus*). Sementara itu, jenis tanaman perdu yang baik untuk mengurangi polusi udara adalah puring (*Codiaeum variegatum*), werkisiana, nusa indah (*Mussaenda sp*), soka (*Ixora javanica*), dan kembang sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis*) (Sukowati, 2012. h. 75).

Seperti yang ada pada Jalan L. L. RE. Martadinata, yang merupakan salah satu jalan protokol di Kota Bandung. Jalan L. L. RE. Martadinata merupakan jalan yang berada pada kawasan bisnis, pendidikan dan perumahan. Jalan ini juga

mempunyai tingkat aktivitas manusia dan kendaraan yang cukup tinggi. Hampir setiap akhir pekan, jalan L. L. RE. Martadinata ini dijejali kendaraan yang sebagian besar berasal dari Jakarta. Kondisi ini mengakibatkan kemacetan, terutama di pusat-pusat perbelanjaan yang terkenal dengan deretan FO (*Factory Outlet*) untuk memanjakan para wisatawan. Sehingga mengakibatkan kemacetan dan peningkatan polusi udara. Dalam penelitiannya, Windi Ria Sari (2011, h. 65) mengungkapkan bahwa volume kendaraan tertinggi terjadi pada periode waktu 17.45-18.00 sebesar 1135,1 smp/jam.

Menurut pemantauan yang dilakukan oleh LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) mengenai kualitas udara kota Bandung, selama kurun waktu lima tahun (2005-2009) terlihat bahwa air hujan di Martadinata dan Kebon Kalapa bersifat lebih asam dibandingkan Pasteur (Jl Dr Djundjuran) dan Dago, sebagaimana tampak pada grafik di bawah ini (Sumber: penelitian mengenai Hujan Asam, Tuti Budiwati dkk, 2005-2009).



**Gambar 2.3. Perbandingan Nilai pH Kota Bandung Tahun 2005-2009**

Derajat keasaman (pH) air hujan di Martadinata tampak semakin menurun selama lima tahun (2005–2009) bila dibandingkan dengan pH hujan di lokasi lainnya. Hal ini tampaknya berkaitan dengan semakin banyaknya arus transportasi

yang ada di sekitar jalan L. L. RE. Martadinata. Seperti diketahui, di lokasi tersebut banyak terdapat mal dan pusat perbelanjaan yang setiap akhir pekan dipadati pengunjung. Penurunan nilai pH air hujan ini mengakibatkan terjadinya hujan asam.

Pembangunan ruang terbuka hijau juga telah dilakukan di sepanjang Jalan L. L. RE. Martadinata ini, yaitu dengan menanam Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) dan Tanjung (*Mimusops elengi* L.) sebagai tanaman tepi jalan, yang paling dominan, yang berfungsi sebagai tanaman peneduh dan penyerap bahan pencemaran udara, terutama emisi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor. Wali Kota Bandung, Ridwan Kamil juga berusaha untuk mengurangi jumlah kendaraan dan polusi udara dengan membangun pedestrian berstandar internasional. Dengan dibangunnya pedestrian ini, diharapkan budaya berjalan kaki warga Bandung akan meningkat.

## **B. Analisis dan Pengembangan Materi Pelajaran**

Penelitian mengenai nilai APTI (*Air Pollution Tolerance Index*) pada tanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan Tanjung (*Mimusops elengi*) yang terdapat di tepi jalan L. L. RE. Martadinata Kota Bandung berkaitan dengan salah satu materi Biologi kelas X semester 2 yaitu Perubahan Lingkungan/Iklim dan Daur Ulang Limbah dengan sub materi pencemaran udara dalam Kompetensi Dasar nomor 3.10. Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan perubahan tersebut bagi kehidupan.



Beberapa aspek yang akan dibahas mengenai analisis dan pengembangan materi pelajaran yang diteliti berkaitan dengan materi Perubahan Lingkungan/Iklim dan Daur Ulang Limbah di antaranya keluasan dan kedalaman materi, karakteristik materi, bahan dan media pembelajaran, strategi pembelajaran, dan sistem evaluasi.

### **1. Keluasan dan Kedalaman Materi**

Pencemaran terjadi bila dalam lingkungan terdapat bahan yang dapat menimbulkan perubahan pada lingkungan yang tidak diharapkan, baik bersifat fisik, kimiawi, maupun biologis sehingga kesehatan manusia, serta aktivitas manusia maupun organisme lainnya. Bahan penyebab pencemaran juga dapat berupa fisik, kimiawi, biologis, maupun berbentuk perilaku manusia. Bahan penyebab pencemaran tersebut disebut bahan pencemar atau polutan.

Berdasarkan mediumnya secara umum pencemaran dapat diklasifikasikan menjadi: pencemaran air, pencemaran tanah, pencemaran udara, dan pencemaran sosial budaya. Pencemaran suara berdasarkan mediumnya termasuk klasifikasi pencemaran udara. Sedangkan berdasarkan lokasinya kita mengenal pula adanya pencemaran daerah pemukiman, pencemaran daerah industri dan sebagainya (Mulyadi, 2010, h. 148)

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, tentang pengendalian pencemaran udara, yang dimaksud dengan 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 ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

#### a. Jenis dan Sumber Pencemaran Udara

Pencemar udara dibedakan menjadi dua yaitu pencemar primer dan pencemaran sekunder. **Pencemaran primer** adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara. Karbon monoksida adalah salah satu contoh pencemar udara primer karena ia merupakan hasil dari pembakaran. **Pencemar sekunder** adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Pembentukan ozon dalam smog fotokimia adalah sebuah contoh dari pencemaran udara sekunder. Atmosfer merupakan sebuah sistem yang kompleks, dinamik, dan rapuh. Belakangan ini pertumbuhan keprihatinan akan efek dari emisi polusi udara dalam konteks global dan hubungannya dengan pemanasan global (*global warming*) dan deplesi ozon di stratosfer semakin meningkat (Dishub Provinsi Lampung).

Sumber pencemaran udara menurut Rahman, dkk (2004) dalam Joviana (2009, h. 9) dikelompokkan ke dalam tiga kelompok besar, yaitu:

- 1) Sumber pencemaran udara menetap (*point source*) seperti asap pabrik, instalasi pembangkit tenaga listrik, asap dapur, pembakaran sampah rumah tangga dan lain sebagainya
- 2) Sumber pencemaran udara yang tidak menetap (*non point source*), seperti gas buang kendaraan bermotor, pesawat udara, kereta api, dan kegiatan-kegiatan lain yang menghasilkan gas emisi dengan lokasi berpindah-pindah

- 3) Sumber pencemar udara campuran (*compound area source*) yang berasal dari titik tetap dan titik tidak tetap seperti bandara, terminal, pelabuhan dan kawasan industri.

Ada beberapa jenis pencemaran udara berdasarkan bentuk menurut Sunu(2001)*dalam* Mahmudah (2010, h. 8), yaitu:

- 1) Berdasarkan bentuk a. Gas, adalah uap yang dihasilkan dari zat padat atau zat cair karena dipanaskan atau menguap sendiri. Contohnya: CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>.
- 2) Partikel, adalah suatu bentuk pencemaran udara yang berasal dari zarahzarah kecil yang terdispersi ke udara, baik berupa padatan, cairan, maupun padatan dan cairan secara bersama-sama. Contohnya: debu, asap, kabut, dan lain-lain



**Gambar 2.4. Salah satu sumber pencemaran udara**

(Sumber: <https://irfanprasayulannisarica.wordpress.com/2014/02/25/pencemaran-udara-pondahuluan/>)

#### **b. Dampak Pencemaran Udara**

- 1) Dampak terhadap Kesehatan

Substansi pencemar yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Jauhnya penetrasi zat pencemar ke dalam tubuh bergantung kepada jenis pencemar. Partikulat berukuran besar dapat tertahan di saluran pernapasan bagian atas, sedangkan partikulat berukuran kecil dan gas

dapat mencapai paru-paru. Dari paru-paru, zat pencemar diserap oleh sistem peredaran darah dan menyebar ke seluruh tubuh.

Dampak kesehatan yang paling umum dijumpai adalah ISNA (infeksi saluran napas atas), termasuk di antaranya, asma, bronkitis, dan gangguan pernapasan lainnya. Beberapa zat pencemar dikategorikan sebagai toksik dan karsinogenik.

## 2) Dampak terhadap tanaman

Tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran udara tinggi dapat terganggu pertumbuhannya dan rawan penyakit, antara lain klorosis, nekrosis, dan bintik hitam. Partikulat yang terdeposisi di permukaan tanaman dapat menghambat proses fotosintesis.



**Gambar 2.5. Dampak pencemaran udara terhadap tanaman**

(Sumber: <https://envair.wordpress.com/2015/02/26/dampak-pencemaran-udara-terhadap-hewan-dan-tumbuhan/>)

## 3) Hujan Asam

Derajat keasaman atau pH biasa air hujan adalah 5,6 karena adanya CO<sub>2</sub> di atmosfer. Pencemar udara seperti SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dapat bereaksi dengan air hujan membentuk asam dan menurunkan pH air hujan. Dampak dari hujan asam ini antara lain:

- a) Mempengaruhi kualitas air permukaan
- b) Merusak tanaman

c) Melarutkan logam-logam berat yang terdapat dalam tanah sehingga memengaruhi kualitas air tanah dan air permukaan

d) Bersifat korosif sehingga merusak material dan bangunan

#### 4) Efek Rumah Kaca

Efek rumah kaca disebabkan oleh keberadaan CO<sub>2</sub>, CFC, metana, ozon, dan N<sub>2</sub>O di lapisan troposfer yang menyerap radiasi panas matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi. Akibatnya panas terperangkap dalam lapisan troposfer dan menimbulkan fenomena pemanasan global. Dampak dari pemanasan global adalah pencairan es di kutub, perubahan iklim regional dan global, dan perubahan siklus hidup flora dan fauna.

#### 5) Kerusakan Ozon

Lapisan ozon yang berada di stratosfer (ketinggian 20-35 km) merupakan pelindung alami bumi yang berfungsi memfilter radiasi ultraviolet B dari matahari. Pembentukan dan penguraian molekul-molekul ozon (O<sub>3</sub>) terjadi secara alami di stratosfer. Emisi CFC yang mencapai stratosfer dan bersifat sangat stabil menyebabkan laju penguraian molekul-molekul ozon lebih cepat dari pembentukannya, sehingga terbentuk lubang-lubang pada lapisan ozon (Handiswan, 2014)

**Tabel 2.1. Dampak bahan pencemaran udara terhadap manusia**

NO	BAHAN PENCEMAR	SUMBER	DAMPAK/AKIBAT PADA INDIVIDU/MASYARAKAT
1.	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	Batu bara atau bahan bakar minyak yang mengandung Sulfur. Pembakaran limbah pertanian. Proses dalam industri.	Menimbulkan efek iritasi pada saluran nafas sehingga menimbulkan gejala batuk dan sesak nafas.

2.	Hidrogen Sulfa (H <sub>2</sub> S)	Dari kawah gunung yang masih aktif.	Menimbulkan bau yang tidak sedap, dapat merusak indera penciuman (nervus olfactory)
3.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nitrogen Oksida (N<sub>2</sub>O)</li> <li>· Nitrogen Monoksida (NO)</li> <li>· Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Berbagai jenis pembakaran.</li> <li>· Gas buang kendaraan bermotor.</li> <li>· Peledak, pabrik pupuk.</li> </ul>	Menggangu sistem pernapasan. Melemahkan sistem pernapasan paru dan saluran nafas sehingga paru mudah terserang infeksi.
4.	Amoniak (NH <sub>3</sub> )	Proses Industri	Menimbulkan bau yang tidak sedap/menyengat. Menyebabkan penyakit sistem pernapasan, Bronchitis, merusak indera penciuman.
5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)</li> <li>· Karbon Monoksida (CO)</li> <li>· Hidrokarbon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Semua hasil pembakaran.</li> <li>· Proses Industri</li> </ul>	Menimbulkan efek sistematis, karena meracuni tubuh dengan cara pengikatan hemoglobin yang amat vital bagi oksigenasi jaringan tubuh akibatnya apabila otak kekurangan oksigen dapat menimbulkan kematian. Dalam jumlah kecil dapat menimbulkan gangguan berfikir, gerakan otot, gangguan jantung.
6.	Debu – Partikel	Debu domestik maupun dari industri Gas buang kendaraan bermotor Peleburan timah hitam Pabrik battere	Menimbulkan iritasi mukosa, Bronchitis, menimbulkan fibrosis paru. Dampak yang ditimbulkan amat membahayakan, karena dapat meracuni sistem pembentukan sel darah merah. Menimbulkan gangguan pembentukan sel darah merah Pada anak kecil menimbulkan penurunan kemampuan otak. Pada orang dewasa menimbulkan anemia dan gangguan tekanan darah tinggi.
7.	Benzen	Kendaraan bermotor Daerah industri	Menimbulkan gangguan syaraf pusat.

8.	Partikel polutan bersifat biologis berupa: bakteri, jamur, virus, telur cacing.	Daerah yang kurang bersih lingkungannya	Pada pencemaran udara yang berAC dijumpai beberapa jenis bakteri yang mengakibatkan penyakit pernapasan.
----	---	---	--

(Sumber: <http://buletinlitbang.dephan.go.id/index.asp?mnorutisi=8&vnomor> dalam Mulyadi, 2010, h. 186-191)

### c. Pencegahan terhadap Pencemaran Udara

Terjadinya pencemaran udara, tentu harus segera ditanggulangi dengan melakukan pencegahan sedini mungkin agar tidak berdampak buruk pada manusia. Dalam melakukan pencegahan secara tepat tergantung pada sifat dan sumber polutan udara. Pada dasarnya caranya dibedakan menjadi mengurangi polutan dengan alat-alat, mengubah polutan, melarutkan polutan, dan mendispersikan polutan.

Menurut dr.drh. Mangku Sitepoe (1997) dalam Khailani (2014, h. 12), ada lima dasar dalam mencegah atau memperbaiki pencemaran udara berbentuk gas.

- 1) Absorpsi. Melakukan solven yang baik untuk memisahkan polutan gas dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Biasanya absorbennya air, tetapi kadang-kadang dapat juga tidak menggunakan air (dry absorben).
- 2) Adsorpsi. Mempergunakan kekuatan tarik-menarik antara molekul polutan dan zat adsorben. Dalam proses adsorpsi dipergunakan bahan padat yang dapat menyerap polutan. Berbagai tipe adsorben antara lain Karbon Aktif dan Silikat.
- 3) Kondensasi. Dengan kondensasi dimaksudkan agar polutan gas diarahkan mencapai titik kondensasi, terutama dikerjakan pada polutan gas yang bertitik

kondensasi tinggi dan penguapan yang rendah (Hidrokarbon dan gas organik lain).

- 4) Pembakaran. Mempergunakan proses oksidasi panas untuk menghancurkan gas Hidrokarbon yang terdapat di dalam polutan. Hasil pembakaran berupa Karbon Dioksida dan air. Adapun proses pemisahannya secara fisik dikerjakan bersama-sama dengan proses pembakaran secara kimia.
- 5) Reaksi kimia. Banyak dipergunakan pada emisi golongan Nitrogen dan Belerang. Membersihkan gas golongan Nitrogen, caranya dengan diinjeksikan Amoniak yang akan bereaksi kimia dengan NO<sub>x</sub> dan membentuk bahan padat yang mengendap. Untuk menjernihkan golongan Belerang dipergunakan *copper oksid* atau kapur dicampur arang.

Sementara itu, pencegahan pencemaran udara berbentuk partikel menurut Handiswan (2014) dapat dilakukan melalui enam konsep, diantaranya:

- 1) “Membersihkan” (Scrubbing). Mempergunakan cairan untuk memisahkan polutan. Alat scrubbing ada berbagai jenis, yaitu berbentuk plat, masif, fibrous, dan spray.
- 2) Menggunakan filter. Dimaksudkan untuk menangkap polutan partikel pada permukaan filter. Filter yang dipergunakan berukuran sekecil mungkin. Filter bersifat semipermeable yang dapat dibersihkan, kadang-kadang dikombinasikan dengan pembersihan gas dan filter polutan partikel.
- 3) Mempergunakan presipitasi elektrostatis. Cara ini berbeda dengan cara mekanis lainnya, sebab langsung ke butir-butir partikel. Polutan dialirkan di antara pelat yang diberi aliran listrik sehingga presipitator yang akan



mempresipitasikan polutan partikel dan ditampung di dalam kolektor. Pada bagian lain akan keluar udara yang telah dibersihkan.

- 4) Mempergunakan kolektor mekanis. Dengan menggunakan tenaga gravitasi dan tenaga kinetis atau kombinasi keduanya untuk mengendapkan partikel. Sebagai kolektor dipergunakan gaya sentripetal yang memakai siklon.
- 5) Program langit biru. Yaitu program untuk mengurangi pencemaran udara, baik pencemaran udara yang bergerak maupun stasioner. Dalam hal ini, ada tiga tindakan yang dilakukan terhadap pencemaran udara akibat transportasi yaitu: Pertama, mengganti bahan bakar kendaraan. Bahan bakar disel dan premium pembakarannya kurang sempurna sehingga terjadi polutan yang berbahaya. Dalam program langit biru, hal ini dikaitkan dengan penggantian bahan bakar ke arah bahan bakar gas yang memberikan hasil pembakaran lebih baik. Kedua, mengubah mesin kendaraan. Mesin dengan bahan bakar disel diganti dengan mesin bahan bakar gas. Ketiga, memasang alat-alat pembersihan polutan pada kendaraan bermotor.
- 6) Menggalakan penanaman pohon. Mempertahankan paru-paru kota dengan memperluas pertamanan dan penanaman berbagai jenis pohon sebagai penangkal pencemaran. Sebab tumbuhan akan menyerap hasil pencemaran udara (CO<sub>2</sub>) dan melepaskan oksigen sehingga mengisap polutan dan mengurangi polutan dengan kehadiran oksigen.
- 7) Bentuk pencegahan yang lain adalah membiasakan diri untuk mengkonsumsi makanan mengandung serat tinggi. Serat makanan dapat menetralkan zat pencemar udara dan mengurangi penyerapan logam berat melalui sistem

pencernaan kita. Dan yang paling penting pemerintah hendaknya komitmen terhadap mengganti bensin bertimbal dengan bensin tanpa Timbal.

## **2. Karakteristik Materi**

Materi Perubahan Lingkungan/Iklim dan Daur Ulang Limbah cenderung bersifat konkret sehingga mengajarkan konsep-konsep dalam materi ini dapat dilakukan dengan observasi langsung di lapangan, juga dapat dibantu dengan menggunakan contoh-contoh yang konkret menggunakan gambar, video, atau pun dengan melakukan praktikum untuk membantu peserta didik dalam memahami pelajaran.

Kurikulum 2013 menerapkan proses pembelajaran yang terdiri atas lima pembelajaran pokok yaitu: mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengkomunikasikan. Pada Bab Perubahan Lingkungan/Iklim dan Daur Ulang Limbah ini peserta didik dapat dilatih berpikir menghadapi suatu kasus nyata dan diajak untuk berpikir kritis guna menganalisis, memberikan solusi, dan memecahkan masalah yang ada pada suatu kasus pada bab tersebut. Beberapa tahapan pembelajaran pokok dalam Kurikulum 2013 dapat dicapai dengan cara pembelajaran berpikir kritis (Puspitadewi, 2014, h. 353).

Definisi berpikir kritis menurut Sutrisno (2012) dalam Puspitadewi (2014, h. 353) yaitu cara berpikir yang mandiri, yang menghasilkan suatu interpretasi, analisis, atau kesimpulan terhadap suatu hal atau permasalahan. Berpikir kritis harus memenuhi karakteristik kegiatan berpikir yang meliputi: analisis, sintesis, pengenalan masalah dan pemecahannya, kesimpulan, dan penilaian.

Dede Rosyada (2004, h. 170) dalam Diyas Sari (2012, h. 23) mengungkapkan bahwa, kemampuan berpikir kritis (*critical thinking*) adalah menghimpun berbagai informasi lalu membuat sebuah kesimpulan evaluatif dari berbagai informasi tersebut. Inti dari kemampuan berpikir kritis adalah aktif mencari berbagai informasi dan sumber, kemudian informasi tersebut dianalisis dengan pengetahuan dasar yang telah dimiliki peserta didik untuk membuat kesimpulan.

Masalah dapat mendorong keseriusan, *inquiry*, dan berpikir dengan cara yang bermakna dan sangat kuat atau *powerful* (Rusman, 2013, h. 230 dalam Assayidiyah, 2014, h. 8). Siswono (2009) dalam Tomi Utomo, dkk (2014, h. 6) menyatakan bahwa ada hubungan antara pemecahan masalah dengan kemampuan berpikir kreatif karena berpikir kreatif merupakan suatu proses yang digunakan ketika mendatangkan (memunculkan) suatu ide baru dengan menggabungkan ide-ide yang sebelumnya dilakukan.

Permasalahan terkait perubahan lingkungan dan daur ulang limbah masih menjadi masalah yang krusial hingga saat ini. Selain itu, masalah perubahan lingkungan dan daur ulang limbah pun merupakan masalah yang berkaitan dengan dunia nyata (*real world problem*). Sehingga diharapkan melalui konsep ini bukan hanya berpikir kreatif siswa saja yang dapat termunculkan melalui pemberian solusi terhadap masalah-masalah terkait perubahan lingkungan dan daur ulang limbah. Namun, siswa pun menjadi lebih peduli terhadap lingkungannya (Ulfah, 2016, h. 36).

Kompetensi dasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu KD nomor 3.10. Menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan-perubahan

tersebut bagi kehidupan, yang mana dari KD tersebut perubahan perilaku hasil belajar yang diharapkan pada peserta didik mencakup ranah kognitif, afektif, dan psikomotor.

Keterkaitan penelitian ini terhadap kegiatan pembelajaran Biologi yaitu pencemaran udara yang ada pada sub bab pencemaran udara yang terdapat dalam materi Perubahan Lingkungan dan Daur Ulang Limbah. Pada kegiatan pembelajaran, siswa diharapkan mampu menganalisis dampak dari pencemaran udara khususnya terhadap tanaman dan cara menanggulangi pencemaran udara di lingkungan sekitar.

### **3. Bahan dan Media**

Media pembelajaran adalah alat bantu proses belajar mengajar. Segala sesuatu yang dapat dipergunakan untuk merangsang pikiran, perasaan, perhatian dan kemampuan atau keterampilan belajar sehingga dapat mendorong terjadinya proses belajar. Pemanfaatan berbagai media dalam proses pembelajaran dapat membantu guru dalam menyampaikan materi dan mempermudah siswa dalam memahami materi yang diterima. Seorang guru harus dapat menentukan media yang pas untuk setiap materi yang akan disampaikan dalam suatu pembelajaran.

Media pembelajaran yang digunakan dalam pembelajaran terkait dengan penelitian ini yaitu :

#### **a. Buku teks Biologi kelas X**

Buku teks merupakan salah satu variabel penting dalam keberhasilan pembelajaran. Buku teks memegang peranan penting dalam proses pembelajaran,

kurikulum dan instruksi pembelajaran terutama di negara berkembang (Chiapetta et al. 2007; Penney et al. 2003; Mahmood 2011 *dalam* Ariningrum, 2013, h. 1). Buku teks berguna dan merupakan sumber yang mudah dicari sehingga murid dan guru dapat memanfaatkannya sesuai dengan apa yang diperlukan (Mahmood 2011 *dalam* Ariningrum, 2013, h. 1).

Buku teks atau textbook berdasarkan Permendiknas No. 11 Tahun 2005 adalah buku acuan wajib untuk digunakan di satuan pendidikan dasar dan menengah atau perguruan tinggi yang memuat materi pembelajaran dalam rangka peningkatan keimanan, ketakwaan, akhlak mulia, dan kepribadian, penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi, peningkatan kepekaan dan kemampuan estetis, peningkatan kemampuan kinestetis dan kesehatan yang disusun berdasarkan standar nasional pendidikan. Buku teks berperan sebagai buku sumber, memberi petunjuk kegiatan, memberi motivasi, memberi pertanyaan-pertanyaan, menghubungkan materi pelajaran dengan pengalaman kehidupan sehari-hari.

b. LKS (Lembar Kegiatan Siswa)

Lembar Kegiatan Siswa merupakan suatu bahan ajar cetak berupa lembar-lembar kertas berisi materi, ringkasan, dan petunjuk-petunjuk pelaksanaan tugas pembelajaran yang harus dikerjakan oleh peserta didik yang mengacu pada kompetensi dasar yang harus dicapai (Prastowo, 2013 *dalam* Aviyanti, 2015, h. 817). Dalam menyediakan pengalaman belajar bagi peserta didik untuk melakukan berbagai kegiatan yaitu dengan mengembangkan LKS yang akan membimbing siswa untuk memahami materi yang diberikan.

c. Video tentang pencemaran udara

Media video pembelajaran adalah media yang menyajikan audio dan visual yang berisi pesan-pesan pembelajaran baik yang berisi konsep, prinsip, prosedur, teori aplikasi pengetahuan untuk membantu pemahaman terhadap suatu materi pembelajaran. media video pembelajaran sebagai bahan ajar bertujuan untuk :1) Memperjelas dan mempermudah penyampaian pesan agar tidak terlalu verbalistik, 2) Mengatasi keterbatasan waktu, ruang, dan daya indera peserta didik maupun instruktur, 3) Dapat digunakan secara tepat dan bervariasi (Cheppy Riyana, 2007 dalam Ayuningrum, 2012, h. 21-22)

Melalui video tentang pencemaran sebagai salah satu media pembelajaran, diharapkan pesan atau isi pelajaran dapat tersampaikan, serta merangsang pikiran, perasaan, perhatian, dan kemampuan siswa sehingga dapat mendorong proses belajar.

Selain buku teks Biologi kelas X, LKS, dan video tentang pencemaran udara, bahan dan media pembelajaran lain yang digunakan sebagai penunjang media pembelajaran yang telah disebutkan diantaranya laptop, proyektor, power point, dan bahan praktikum.

#### **4. Strategi Pembelajaran**

Strategi pembelajaran adalah cara-cara yang akan dipilih dan digunakan oleh seorang pengajar untuk menyampaikan materi pembelajaran yang bertujuan untuk

memudahkan peserta didik menerima dan memahami materi pembelajaran, yang pada akhirnya tujuan pembelajaran dapat dikuasainya di akhir kegiatan belajar.

Strategi pembelajaran harus mengandung penjelasan tentang metode atau prosedur dan teknik yang digunakan selama proses pembelajaran berlangsung. Artinya, metode atau prosedur dan teknik pembelajaran merupakan bagian dari strategi pembelajaran.

Model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) merupakan model pembelajaran dengan serangkaian aktivitas yang menuntun siswa untuk memecahkan suatu permasalahan yang diberikan guru. Keunggulan model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) ini sesuai dengan hasil penelitian Purnamaningrum *et.al* (2012, h. 46) bahwa penerapan PBL mampu meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa, hal ini dibuktikan dengan meningkatnya kemampuan siswa dalam menyampaikan banyak gagasan, kemampuan siswa dalam mengajukan banyak pertanyaan, kemampuan siswa dalam merancang langkah-langkah secara terperinci meningkat dari sebelum diterapkannya PBL.

Hasil penelitian Hastuti (2015, h. 118) juga menyebutkan bahwa model *Problem Based Learning* (PBL) secara signifikan meningkatkan hasil belajar biologi pada ranah kognitif, afektif, dan psikomotorik.

*Problem Based Learning* (PBL) diartikan sebagai rangkaian aktivitas yang menekankan kepada proses penyelesaian masalah yang dihadapi secara ilmiah.

Terdapat tiga ciri utama dari PBL, yaitu:

a. PBL merupakan rangkaian aktivitas pembelajaran, artinya dalam implementasi PBL ada sejumlah kegiatan yang harus dilakukan siswa, seperti

siswa aktif berpikir, berkomunikasi, mencari dan mengolah data, dan akhirnya menyimpulkan.

b. Aktivitas pembelajaran diarahkan untuk menyelesaikan masalah. PBL menempatkan masalah sebagai kata kunci dari proses pembelajaran. Artinya, tanpa masalah maka tidak mungkin ada proses pembelajaran.

c. Pemecahan masalah dilakukan dengan menggunakan pendekatan berpikir secara ilmiah. Berpikir dengan menggunakan metode ilmiah adalah proses berpikir deduktif dan induktif. Proses berpikir ini dilakukan secara sistematis dan empiris. Sistematis artinya berpikir ilmiah dilakukan melalui tahapan-tahapan tertentu, sedangkan empiris artinya proses penyelesaian masalah didasarkan pada data dan fakta yang jelas (Ulfah, 2016, h. 18).

Jika dibandingkan dengan model pembelajaran langsung, maka model *Problem Based Learning* tampak lebih menekankan keterlibatan siswa dalam belajar, sehingga siswa aktif terlibat dalam proses pembelajaran dan penilaian untuk pembuatan keputusan. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian Semara Putera (2012, h. 8-9) yang menemukan bahwa model *Problem Based Learning* lebih unggul dalam meningkatkan hasil belajar biologi daripada model pembelajaran langsung. Ia juga mengungkapkan bahwa pada model *Problem Based Learning*, siswa dapat memahami konsep-konsep yang mereka pelajari melalui pengalaman langsung dan nyata yang menghubungkan antar konsep dalam biologi dengan permasalahan nyata dalam kehidupan sehari-hari serta memberikan kesempatan untuk menunjukkan kemampuan terbaik mereka. Siswa terlatih untuk mengemban suatu tanggung jawab, mempertajam keahlian berpikir



dalam tingkatan yang lebih tinggi melalui identifikasi masalah, analisis masalah, dan menciptakan solusi.

## 5. Sistem Evaluasi

Berdasarkan karakteristik materi Perubahan Lingkungan/Iklim dan Daur Ulang Limbah yang termasuk ke dalam materi yang konkret maka sistem evaluasi yang sesuai yaitu penilaian dalam ranah kognitif, afektif, maupun psikomotor karena penilaian tersebut termasuk ke dalam penilaian berbasis portofolio.

Portofolio dapat dipandang sebagai suatu proses sosial pedagogis, yaitu sebagai *collection of learning experience* yang terdapat di dalam pikiran peserta didik, baik yang berwujud pengetahuan (*cognitive*), keterampilan (*psychomotor*) maupun sikap dan nilai (*affective*). Artinya, portofolio bukan hanya berupa benda nyata, melainkan mencakup “segala pengalaman batiniah” yang terjadi pada diri peserta didik (Arifin, 2012, h. 230)

Popham (1994) dalam Arifin (2012, h. 231) menjelaskan “penilaian portofolio merupakan penilaian secara berkesinambungan dengan metode pengumpulan informasi atau data secara sistematis atas hasil pekerjaan peserta didik dalam kurun waktu tertentu”.

Sebagaimana yang telah diungkapkan oleh Arifin (2012, h. 256) penilaian portofolio dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

Portofolio perorangan dan portofolio kelompok. Jika dilihat dari sistem, portofolio dapat dibagi dua jenis, yaitu portofolio proses dan portofolio produk. Salah satu bentuk portofolio proses adalah portofolio kerja (*working portfolio*) yaitu bentuk yang digunakan untuk memilih koleksi *evidence* peserta didik, memantau kemajuan atau perkembangan, dan menilai peserta didik dalam mengelola kegiatan belajar mereka sendiri. Portofolio produk hanya menekankan pada penguasaan (materi) dari tugas yang dituntut dalam standar kompetensi, kompetensi dasar, dan sekumpulan indikator pencapaian

hasil belajar, serta hanya menunjukkan *evidence* yang paling baik, tanpa memperhatikan bagaimana dan kapan *evidence* tersebut diperoleh. Portofolio produk terdiri atas dua jenis, yaitu portofolio tampilan dan portofolio dokumen. Portofolio tampilan merupakan sekumpulan hasil karya peserta didik atau dokumen terseleksi yang dipersiapkan untuk ditampilkan kepada umum. Sedangkan portofolio dokumen menyediakan informasi baik proses maupun produk yang dihasilkan oleh peserta didik dan digunakan untuk memilih koleksi *evidence* peserta didik yang sesuai dengan kompetensi dan akan dijadikan dasar penilaian.

Arifin (2012, h. 382) mengungkapkan bahwa salah satu manfaat hasil evaluasi adalah untuk memberikan umpan balik (*feedback*) kepada semua pihak yang terlibat dalam pembelajaran, baik secara langsung maupun tidak langsung. Umpan balik dapat dijadikan sebagai alat bagi guru untuk membuat belajar peserta didik menjadi lebih baik dan meningkatkan kinerjanya. Umpan balik tersebut dapat dilakukan secara langsung, tertulis atau demonstrasi.