

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kadar Klorofil**

##### **2.1.1 Klorofil**

Istilah klorofil berasal dari bahasa Yunani yaitu *Chloros* artinya hijau dan *Phyllos* artinya daun. Ini diperkenalkan pada tahun 1818, dimana pigmen tersebut diekstrak dari tumbuhan dengan menggunakan pelarut organik. Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga dan bakteri fotosintetik. Senyawa ini yang berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah tenaga cahaya matahari menjadi tenaga kimia. Proses fotosintesis, terdapat 3 fungsi utama dari klorofil yaitu yg pertama memanfaatkan energy matahari, kedua memicu fiksasi CO<sub>2</sub> menjadi karbohidrat dan yang ketiga menyediakan dasar energetik bagi ekosistem secara keseluruhan. Karbohidrat yang dihasilkan fotosintesis melalui proses anabolisme diubah menjadi protein, lemak, asam nukleat, dan molekul organik lainnya (Muthalib, 2009).

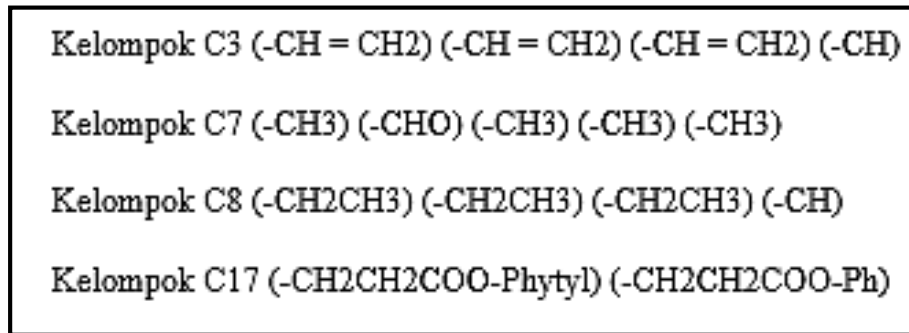
Sifat fisik klorofil adalah menerima dan atau memantulkan cahaya dengan gelombang yang berlainan (berpendar = berfluoresensi). Klorofil banyak menyerap sinar dengan panjang gelombang antara 400-700 nm, terutama sinar merah dan biru. Sifat kimia klorofil, antara lain (1) tidak larut dalam air, melainkan larut dalam pelarut organik yang lebih polar, seperti etanol dan kloroform; (2) inti Mg akan tergeser oleh 2 atom H bila dalam suasana asam, sehingga membentuk suatu persenyawaan yang disebut feofitin yang berwarna coklat (Dwidjoseputro, 1981).

Klorofil merupakan faktor utama yang mempengaruhi fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan senyawa anorganik ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi senyawa organik (karbohidrat) dan  $\text{O}_2$  dengan bantuan cahaya matahari. Klorofil merupakan pigmen utama yang terdapat dalam kloroplas. Klorofil menyebabkan cahaya berubah menjadi radiasi elektromagnetik pada spektrum kasat mata (*visible*). Misalnya, cahaya matahari mengandung semua warna spektrum kasat mata dari merah sampai violet, tetapi seluruh panjang gelombang unsumnya tidak diserap dengan baik secara merata oleh klorofil. Klorofil dapat menampung energi cahaya yang diserap oleh pigmen cahaya atau pigmen lainnya melalui fotosintesis, sehingga fotosintesis disebut sebagai pigmen pusat reaksi fotosintesis. Dalam proses fotosintesis tumbuhan hanya dapat memanfaatkan sinar matahari dengan bentuk panjang gelombang antara 400-700 nm (Ai, 2011).

Pada tumbuhan didapatkan bermacam-macam pigmen yang berperan menyerap energi cahaya. Pigmen fotosintetis terdapat dalam kloroplas yang terdiri dari klorofil a, klorofil b, xantofil, karotenoid, bakterioklorofil pada bakteri. Pigmen ini menyerap warna atau gelombang cahaya yang berbeda-beda. Masing-masing menyerap maksimum pada gelombang cahaya tertentu. Pigmen umumnya mempunyai penyerapan maksimum pada gelombang cahaya pendek dan juga panjang. Untuk memaksimalkan penyerapan energi cahaya, maka pada kloroplas terdapat kelompok pemanen cahaya yang disebut dengan antenna yang terdiri dari bermacam-macam pigmen, pigmen yang paling banyak pada kloroplas adalah klorofil. Klorofil merupakan pigmen yang berwarna hijau yang terdapat pada kloroplast. Pigmen ini berguna untuk melangsungkan fotosintesis pada tumbuhan. Aneka bentuk dan ukuran kloroplast ditemukan pada berbagai tumbuhan (Salisbury

dan Ross, 1995). Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu) yang berwarna hijau tua dan berwarna hijau muda. Klorofil-a dan b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm), sedangkan yang paling sedikit cahaya hijau (500-600 nm). Sedangkan cahaya berwarna biru dari spektrum tersebut diserap oleh karotenoid. Karotenoid ternyata berperan membantu mengabsorpsi cahaya sehingga spektrum matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik. Energi yang diserap karotenoid diteruskan kepada klorofil-a untuk diserap digunakan dalam proses fotosintesis, demikian pula dengan klorofil-b. Perbedaan klorofil a dan b adalah pada atom C3 terdapat gugusan metil untuk klorofil a dan aldehid untuk klorofil b. karena itu keduanya mempunyai penyerapan gelombang cahaya yang berbeda. Peranan pigmen klorofil adalah dalam reaksi fotosistem. Klorofil mempunyai banyak electron yang mampu berpindah ke orbit eksitasi karena menyerap cahaya (Nurdin dalam Razono, 2013).

klorofil a; menghasilkan warna hijau biru, klorofil b; menghasilkan warna hijau kekuningan, klorofil c; menghasilkan warna hijau cokelat, klorofil d; menghasilkan warna hijau merah, klorofil a dan klorofil b paling kuat menyerap cahaya bagian merah dan ungu spektrum, cahaya hijau yang paling sedikit diserap maka apabila cahaya putih menyinari struktur-struktur yang mengandung klorofil seperti misalnya daun maka sinar hijau akan dikirimkan dan dipantulkan sehingga strukturnya tampak berwarna hijau. Karoten termasuk ke dalam kromoplas yaitu plastida yang berwarna dan mengandung pigmen selain klorofil. Klorofil c terdapat pada ganggang coklat Phaeophyta serta diatome Bacillariophyta. Rumus kimia klorofil c.



Gambar 1. Rumus kimia klorofil c  
(Sumber: Campbell dalam Razono, 2013)

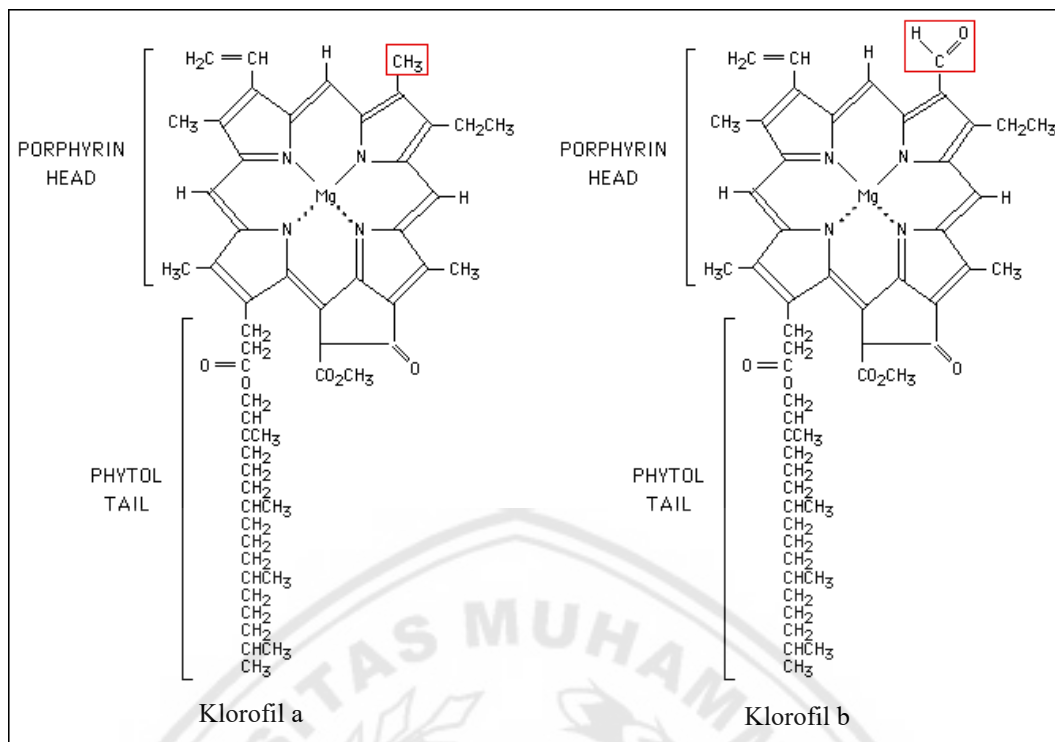
Klorofil d terdapat pada ganggang merah Rhodophyta. Akibat adanya klorofil, tumbuhan dapat menyusun makanannya sendiri dengan bantuan cahaya matahari. Fotosintesis terjadi pada semua bagian berwarna hijau pada tumbuhan karena memiliki kloroplas, tetapi tempat utama berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Pigmen warna hijau yang terdapat pada kloroplas disebut dengan klorofil dan dari zat inilah warna daun berasal. Klorofil menyerap energi cahaya yang menggerakkan sintesis molekul makanan dalam kloroplas untuk menghasilkan energi (Campbell dalam Razono, 2013).

Kadar dari klorofil yang terkandung dalam suatu organ tumbuhan dapat diukur dengan metoda spektrofotometer. Sel penutup pada lembaran daun yang mengandung klorofil, didalam stroma pada sel tersebut akan berlangsung fotosintesis yang akan menghasilkan karbohidrat (gula). Gula tersebut menyebabkan potensial osmotik cairan sel yang menurun, potensial air juga akan menurun, dengan peristiwa itu timbul tekanan turgor yang dapat menyebabkan terbentuknya stroma (Kimball, 1988).

Selain klorofil tumbuhan juga membutuhkan cahaya untuk perkembangannya. Terdapat empat macam penerima cahaya yang dikenal dalam mempengaruhi fotomorfogenesis pada tumbuhan. Pertama, fitokrom yaitu

diketahui paling kuat menyerap cahaya merah dan juga mampu menyerap cahaya biru. Kedua adalah kriptoksom, yaitu kelompok sejumlah pigmen yang serupa menyerap cahaya biru dan gelombang ultraviolet. Ketiga, penerima cahaya UV yaitu satu atau beberapa senyawa yang tidak dikenal yang menyerap radiasi ultraviolet antara kurang lebih 280-320 nm. Keempat ialah protoklorofilida, yaitu pigmen yang menyerap cahaya merah dan biru, bias tereduksi menjadi klorofil a (Sasmitamiharjdo, dalam Razono, 2013).

Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu klorofil-a ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) yang berwarna hijau tua dan klorofil-b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ) yang berwarna hijau muda. Klorofil-a dan klorofil-b paling kuat menyerap cahaya di bagian merah (600-700 nm), sedangkan yang paling sedikit cahaya hijau (500-600 nm). Sedangkan cahaya berwarna biru diserap oleh karotenoid. Karotenoid membantu menyerap cahaya, sehingga spektrum cahaya matahari dapat dimanfaatkan dengan lebih baik. Energi yang diserap oleh klorofil b dan karotenoid diteruskan kepada klorofil a untuk digunakan dalam proses fotosintesis fase I (reaksi terang) yang terdiri dari fotosistem I dan II, demikian pula dengan klorofil-b. Klorofil a paling banyak terdapat pada Fotosistem II sedangkan Klorofil b paling banyak terdapat pada Fotosistem I (Ai, 2011). Berikut ini adalah struktur fungsi klorofil a dan klorofil b:



Gambar 2. Struktur fungsi klorofil a dan klorofil b  
(Sumber: syamsulhuda-fst09.web.unair.ac.id)

**Tabel 1. Perbandingan pigmen klorofil a dan klorofil b.**

| Aspek                | Klorofil a                   | Klorofil b                |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|
| Rumus kimia          | $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$       | $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$    |
| Gugus pengikat       | CH <sub>3</sub>              | CH                        |
| Cahaya yang di serap | Cahaya biru-violet dan merah | Cahaya biru dan oranye    |
| Absorpsi maksimum    | Pada $\lambda$ 673 nm        | Pada $\lambda$ 455-640 nm |

(Sumber: Ai, 2011).

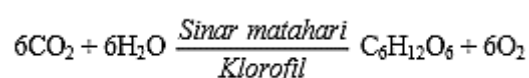
Molekul klorofil terdiri dari dua bagian yaitu kepala porfirin dan rantai hidrokarbon yang panjang, atau ekor fitol. Porfirin adalah tetrapirrol siklik, yang terdiri dari empat nitrogen yang mengikat cincin pirol yang dihubungkan dengan empat rantai metana disebut porfin (Hopkins dalam Roziaty, 2009). Perbedaan antara struktur kedua klorofil dapat dilihat pada klorofil b yang mempunyai gugus aldehid sebagai pengganti gugus methyl pada klorofil a yang terikat pada cincin II (Harbone dalam Roziaty, 2009).

Klorofil a berperan secara langsung dalam reaksi terang, mengubah energi matahari menjadi energi kmiawi, tetapi pigmen lain dalam membran tilakoid dapat

menyerap cahaya dan mentranfer energinya ke klorofil a pada reaksi terang. Salah satu pigmen aksesoris ini adalah bentuk klorofil yang lain, yaitu klorofil b. klorofil a bewarna biru-hijau sementara klorofil b bewarna kuning-hijau. Ketika foton cahaya matahari diserap oleh klorofil b, energi disalurkan ke klorofil a sehingga seolah-olah klorofil inilah yang telah menyerap foton tersebut. Pigmen aksesoris lainnya adalah karotenoid, yakni hidrokarbon yang mempunyai warna campur kuning dan jingga. Beberapa karotenoid berfungsi dalam fotoproteksi yaitu menyerap dan melepaskan energi cahaya yang berlebihan, yang jika tidak dilepas akan merusak klorofil.

### 2.1.2 Peran Klorofil dalam Fotosintesis

Fotosintesis merupakan suatu proses metabolisme dalam tanaman untuk membentuk karbohidrat yang menggunakan CO<sub>2</sub> dari udara bebas dan air dari dalam tanah dengan bantuan cahaya matahari dan klorofil. Fotosintesis adalah suatu proses penyusunan senyawa kimia dengan menggunakan energi cahaya. Proses fotosintesis akan terjadi jika ada cahaya dan pigmen perantara yaitu klorofil. Klorofil bertindak untuk menarik elektron dari cahaya matahari agar terjadi fotosintesis. Struktur kimianya sama dengan heme, suatu senyawa cincin pada haemaglobin, dimana poros Fe pada heme digantikan oleh Mg. Klorofil itu bertindak sebagai pengabsorbansi energi dari sinar matahari sehingga ia berubah menjadi molekul yang berenergi tinggi, yang dapat melepaskan elektron dari molekul air dan proton dari oksigen. Reaksi kimia fotosintesis adalah sebagai berikut.



Ada 2 fotosistem; fotosistem klorofil 1 dan fotosistem klorofil 2. Fotosistem klorofil 1 mengabsorbansi cahaya gelombang panjang (merah), fotosistem klorofil 2 mengabsorbansi cahaya gelombang pendek yang termasuk fotosistem klorofil 1 adalah klorofil a, sedangkan yang termasuk fotosistem klorofil 2 adalah klorofil a dan b, dengan kata lain klorofil a mengabsorbansi panjang dan sedikit gelombang pendek. Klorofil b hanya mengabsorbansi cahaya gelombang pendek (Yatim dalam Arrohmah, 2007).

Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil pada fotosistem II sehingga elektron-elektronnya terlepas dan elektron tersebut akan ditranfer sepanjang rantai transpor elektron. Energi dari elektron ini digunakan untuk fotofosforilasi yang menghasilkan ATP. Reaksi ini menyebabkan fotosistem II mengalami kekurangan elektron yang dapat dipenuhi oleh elektron dari hasil ionisasi air yang terjadi bersamaan dengan ionisasi klorofil. Hasil ionisasi air ini adalah elektron dan oksigen. Pada saat yang sama dengan ionisasi fotosistem II, cahaya juga mengionisasi fotosistem I, melepaskan elektron yang ditranfer sepanjang rantai transpor elektron yang akhirnya mereduksi NADP menjadi NADPH. ATP dan NADPH yang dihasilkan dalam fotosintesis memicu berbagai proses biokimia. Pada tumbuhan proses biokimia yang terpicu adalah siklus Calvin dimana karbon dioksida diubah menjadi ribulosa (kemudian menjadi gula seperti glukosa). Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak tergantung pada ada tidaknya cahaya (Arrohmah, 2007).

Ketika cahaya mengenai materi, cahaya itu dapat dipantulkan, diteruskan atau diserap. Pigmen tertentu akan menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu dan cahaya yang diserap akan hilang dengan melepaskan panas. Jika suatu



pigmen disinari dengan cahaya putih, warna yang terlihat adalah warna yang dipantulkan atau diteruskan oleh pigmen yang bersangkutan. Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya tampak pada warna biru (400-450 nm) dan merah (650-700 nm) dibandingkan hijau (500-600 nm). Tumbuhan dapat memperoleh seluruh kebutuhan energi mereka dari spektrum merah dan biru di dalam wilayah spektrum cahaya tampak dan pada wilayah antara 500-600 nm sangat sedikit cahaya yang diserap. Jadi warna hijau pada daun disebabkan karena klorofil menyerap cahaya merah dan biru serta meneruskan dan memantulkan cahaya hijau (Arrohmah, 2007).

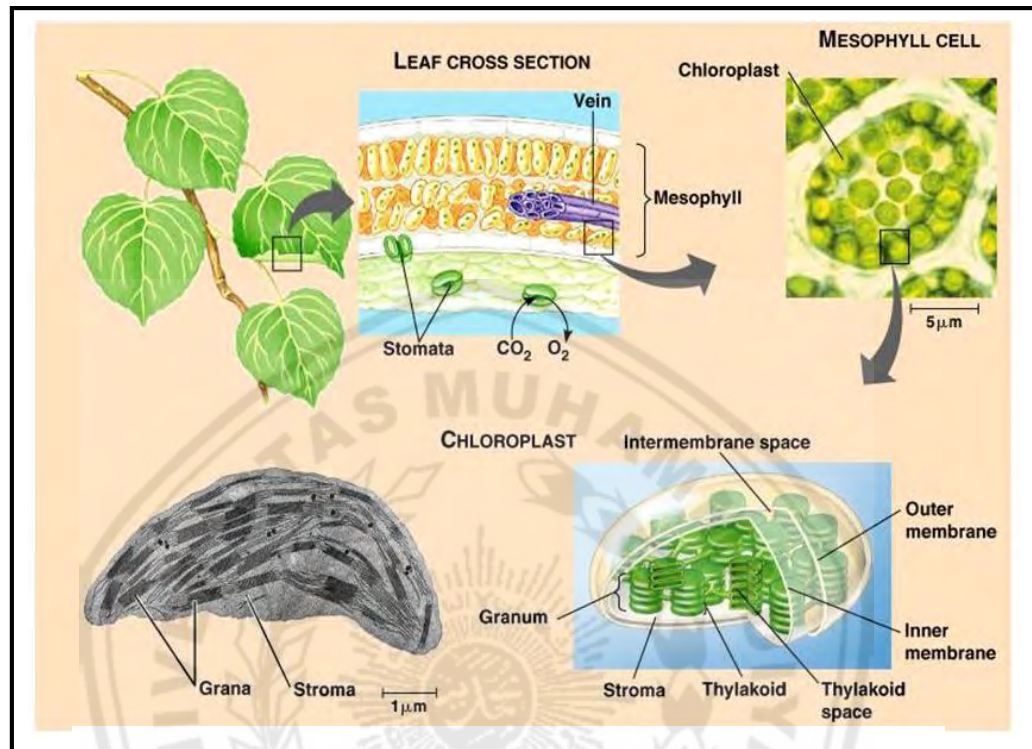
### **2.1.3 Struktur dan Fungsi Kloroplas**

Kloroplas berasal dari proplastida kecil yaitu plastida yang belum dewasa, kecil dan hampir tak berwarna, dengan sedikit atau tanpa membran dalam. Kloroplas merupakan plastida yang mengandung pigmen hijau daun yang disebut klorofil, yang hanya terdapat dalam sel-sel tumbuhan. Klorofil pada umumnya hanya terdapat pada sel-sel batang muda, buah-buahan yang belum matang dan pada daun. Irisan melintang dari daun yang khas menyingkap beberapa lapisan jaringan yang berbeda. Sel-sel ini memiliki sedikit kloroplas oleh karena itu agak transparan sehingga agak melewatkan sebagian besar cahaya mengenainya kemudian menembus sel-sel pada lapisan berikutnya. Di bawah lapisan sel epidermis tersusun sedemikian rupa sehingga sel terbuka terhadap sinar matahari. Matahari matahari adalah sumber energi dasar untuk proses fotosintesis. Cahaya ditangkap oleh klorofil pada daun tanaman. Energi cahaya menggiatkan beberapa proses sistem enzim yang terlibat dalam rangkaian fotosintesis (Kimball, 1988).

Membran ganda kloroplas dapat terlihat jelas di bawah mikroskop dan berfungsi untuk mengatur keluar masuknya ion atau senyawa dari dan ke kloroplas. Pada membran internal kloroplas terdapat pigmen fotosintesis, yang banyak pula terdapat di permukaan luar membran internal yang disebut thilakoid, yang berbentuk bulat pipih seperti kantong. Pada posisi tertentu thilakoid akan menumpuk rapi membentuk struktur yang disebut granum (jamak : grana). Thilakoid yang memanjang menghubungkan granum satu dengan yang lain di dalam matriks kloroplas yang disebut stroma (Lakitan, 2000). Pigmen utama yang terdapat di dalam membran thilakoid adalah klorofil a dan klorofil b. Selain itu, terdapat pigmen-pigmen lain seperti karotenoid dan xantofil. Membran tilakoid bersifat cair sehingga senyawa-senyawa yang ada di dalamnya relatif mobile termasuk molekul-molekul protein yang ada. Adapun fungsi yang vital dari kloroplas adalah sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Pigmen-pigmen di dalam membran tilakoid akan menyerap cahaya yang berasal dari matahari atau sumber-sumber cahaya lainnya, kemudian mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk ATP melalui serangkaian proses yang melibatkan eksitasi elektron.

Kloroplas adalah tempat dimana sebagian besar proses utama tumbuhan terjadi. Organel kloroplas berbentuk lensa yang berukuran 1-10  $\mu\text{m}$  menunjukkan dua bagian pokok yaitu; 1) Lamela (membran) terdiri dari lamela stroma (lamela ganda) dan lamela grana (lamela bertumpuk) yang keduanya merupakan bagian pekat berisi pigmen-pigmen fotosintesis, 2) Stroma, bagian cair yang kurang padat merupakan tempat terjadinya reduksi  $\text{CO}_2$ . Menurut Hopkins dalam Roziaty (2009) terdapat empat kompartemen utama kloroplas yaitu; 1) sepasang membran

pembatas bagian luar, yang secara kolektif disebut selubung, 2) matriks dan bentuk yang disebut stroma, 3) struktur membrane internal yaitu tilakoid, dan 4) ruang intra tilakoid, atau lumen. Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 3. Struktur kloroplas  
(Sumber: Wanenoer.blogspot.co.id)

#### 2.1.4 Biosintesis Klorofil

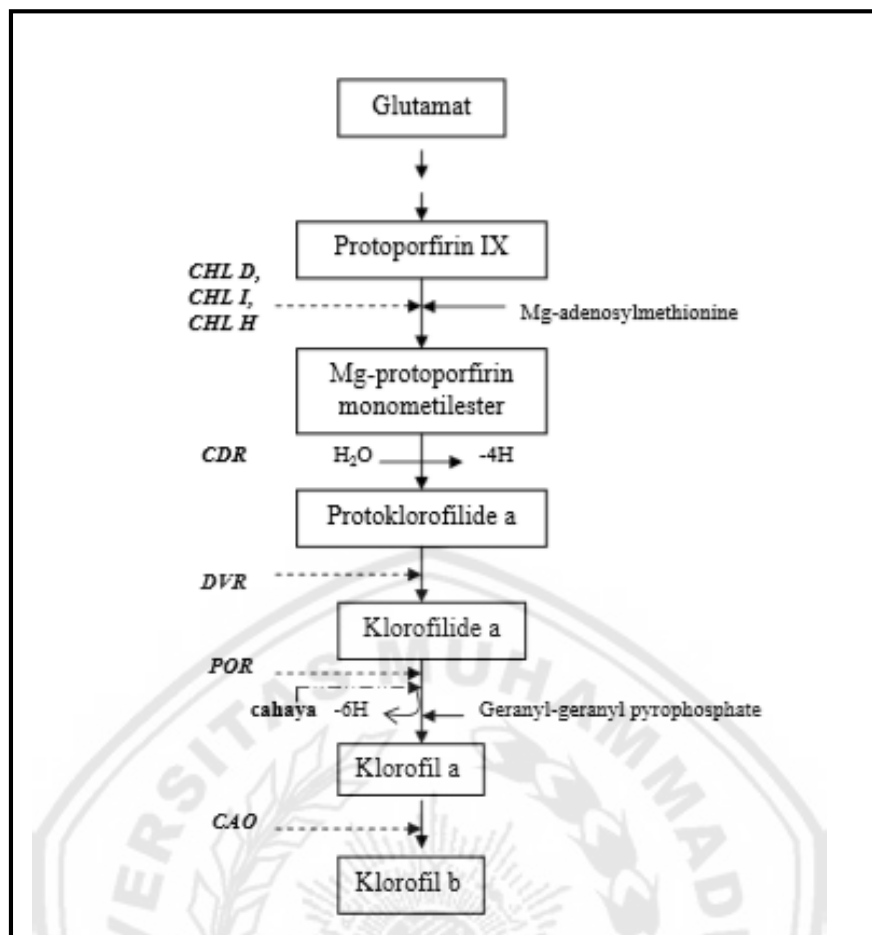
Klorofil dihasilkan dalam kloroplas pada jaringan fotosintesis daun. Prekursor dalam pembentukan senyawa pigmen klorofil adalah senyawa intermediet, glutamat, yang mengalami deaminasi menghasilkan  $\alpha$ -ketoglutarat, kemudian direduksi menjadi  $\gamma,\delta$ -dioxoalerat dan mengalami transmisi asam  $\delta$ -amino-laevulinat (ALA), sintesis ini memerlukan ATP dan NADPH (Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014).

Pelepasan air dari asam amino-laevulinat menghasilkan porphobilinogen yang mengandung struktur cincin pyrrole. Selanjutnya terjadi reaksi pelepasan  $\text{NH}_3$

dan CO<sub>2</sub> kemudian membentuk protoporphyrinogen. Pembentukan Mg<sup>2+</sup> dan adenosylmethionine pada protoporphyrin menghasilkan Mg-protoporphyrin monomethylester. Mg pada klorofil berfungsi sebagai pengatur penyerapan spektrum. Mg-protoporphyrin monomethylester mengalami dehidrasi dan reduksi menghasilkan protochlorophyllide. Penambahan H<sup>+</sup> menghasilkan chlorophyllide a menjadi klorofil a, proses ini sangat dipengaruhi oleh cahaya (Lawlor dalam Utami, 2014).

Klorofil b merupakan bentuk khusus dari klorofil a. Pembentukan klorofil b membutuhkan O<sub>2</sub> dan NADPH<sub>2</sub> dengan bantuan enzim *chlorophyll a oxygenase* (CAO). Pigmen klorofil menyusun sekitar 4% bobot kering kloroplas dan klorofil b berjumlah 1/3 dari klorofil a (Hall dan Rao dalam Utami, 2014). Klorofil a berperan sentral untuk menyerap dan menyalurkan energi cahaya ke pusat reaksi untuk mengeksitasi elektron. Klorofil b berfungsi sebagai pigmen antenna. Cahaya ditangkap oleh klorofil b yang bergabung dalam kompleks pemanen cahaya (LHC) kemudian ditransfer ke klorofil a dan pigmen antenna lain yang berdekatan dengan pusat reaksi (Salisbury dan Ross, 1995)

Pembentukan klorofil terdapat paling kurang 3 reaksi yang dikendalikan oleh gen-gen inti yaitu: lintasan reaksi antara protoporphirin 9 dan protoklorofilide yang melibatkan gen-gen *CHLD*, *CHLI*, *CHLH*, *CDR*, perubahan protoklorofilide menjadi klorofilide yang melibatkan gen-gen seperti *VDR*, *POR*, dan lintasan sintesis klorofil b yang melibatkan gen *CAO* (Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014). Berikut ini adalah bagan pembentukan klorofil:



Gambar 4. Lintasan reaksi pembentukan klorofil a dan klorofil b  
(Sumber: Malkin dan Niyogi dalam Utami, 2014)

Dua jenis klorofil yang terdapat sebagai butir-butir hijau dalam kloroplas masing-masing berwarna hijau tua untuk klorofil a dengan rumus kimia  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$  dan berwarna hijau muda untuk klorofil b dengan rumus molekul  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$  (Dwidjoseputro, 1981). Molekul klorofil terdiri dari dua bagian yaitu kepala porfirin dan rantai hidrokarbon yang panjang, atau ekor fitol. Porfirin adalah tetrapirrol siklik, yang terdiri dari empat nitrogen yang mengikat cincin pirol yang dihubungkan dengan empat rantai metana disebut porfin (Hopkins dalam Roziaty, 2009). Perbedaan antara struktur kedua klorofil dapat dilihat pada klorofil b yang mempunyai gugus aldehyd sebagai pengganti gugus methyl pada klorofil a yang terikat pada cincin II (Harbone dalam Roziaty, 2009).

### 2.1.5 Penentuan Kadar Klorofil

Salah satu cara untuk menentukan kadar klorofil daun dengan metoda atau alat spektrofotometer. Spektrofotometer termasuk dalam analisa kuantitatif yang di dasarkan pada sifat warna larutan yang terjadi, atau merupakan salah satu pembagian kalorimetri. Disini dipakai alat spektrofotometer. Metoda ini dapat digunakan apabila, sample yang di ukur harus berwarna, kestabilan warna cukup lama, intensitas warna terjadi cukup tajam, warna larutan harus bebas dari gangguan. Warna larutan yang terjadi berbanding lurus dengan konsentrasi larutan (Khopkar dalam Razione, 2013).

Cahaya yang dipantulkan atau dipancarkan oleh daun tidak efektif bagi fotosintesis, sebab untuk menghasilkan perubahan kimia cahaya itu harus diabsorpsi terlebih dahulu. Diketahui bahwa hanya bagian hijau pada tumbuhan yang melaksanakan fotosintesis daun, cukup alasan untuk menduga bahwa hanya bagian pigmen hijau kloroplaslah yang menyerap cahaya yang dipantulkan untuk proses tersebut. Cahaya yang diserap ini dapat ditentukan dengan spektrofotometer (Dwijosepturo dalam Razione, 2013).

Penyerapan relatif untuk setiap panjang gelombang oleh pigmen dapat diukur dengan spektrofotometer. Grafik penyerapan cahaya untuk kisaran panjang gelombang tertentu disebut dengan spektrum serapan (Dermawan dalam Razione, 2013). Menurut Noggle dan Fritz dalam Razione (2013), klorofil akan memperlihatkan fluoresensi berwarna merah yang berarti warna larutan tersebut tidak hijau pada cahaya yang diluruskan dan akan merah tua pada cahaya yang dipantulkan.

Pada proses fotosintesis banyak diperlukan senyawa kimia yang penting dalam mengubah cahaya menjadi energi kimia pada tumbuhan tingkat tinggi, adalah pigmen yang terdapat didalam kloroplas, melalui pigmen inilah cahaya memulai proses fotosintesis. Pigmen tersebut dalam kloroplas yaitu pada membran internal yang disebut tilakoid. Pigmen tersebut adalah klorofil a, klorofil b, dan karotenoid (Sasmitamihardjo dalam Razione, 2013). Sebagian besar spesies mengabsorpsi lebih dari 90% panjang gelombang biru. Panjang gelombang lembayung dan merah yang diabsorpsi juga dilakukan oleh kloroplas. Dalam tilakoid setiap foton dapat mengeksitasi satu electron dalam korotenoid atau klorofil (Darmawan dalam Razione, 2013).

Warna hijau pada kloroplas disebabkan oleh adanya empat tipe utama pigmen didalamnya yaitu klorofil a, dan klorofil b, berwarna hijau karena banyak menyerap warna lembayung dan merah dan memancarkan sinar hijau, selain klorofil dan xantofil dan karoten. Benda-benda berwarna menyerap cahaya dengan berbagai panjang gelombang sampai pada tingkat tertentu, dan warna yang timbul pada warna tersebut adalah cahaya yang diserap paling sedikit. Pada proses fotosintesis warna yang paling sedikit diserap adalah warnadengan cahaya hijau, warna inilah tersebar dipantulkan oleh tumbuhan sehingga tampak warna hijau (Sastamitamihardjo dalam Razione, 2013). Klorofil dibentuk dari kodensasi suksinil CoA beserta dengan asam amino glisin menjadi suatu senyawa. Setelah melalui beberapa tahap reaksi, selanjutnya dengan adanya fitol dan enzim klorofilase dirubah menjadi klorofil. Pada klorofil a terdapat gugusan metal, sedangkan pada klorofil b terdapat gugusan aldehid (Darmawan dalam Razione, 2013).

Kloroplas berasal dari proplastid kecil (plastid yang belum dewasa, kecil dan hampir tidak berwarna, dengan sedikit ataupun membrane dalam). Pada umumnya proplastid berasal hanya dari sel telur yang tidak terbuahi, sperma tidak berperan disini. Proplastid membelah pada saat embrio berkembang, dan berkembang menjadi kloroplas ketika daun dan batang terbentuk. Kloroplas muda juga aktif membelah, khususnya bila organ mengandung kloroplas terpanjang pada cahaya. Jadi, tiap sel dewasa sering terkandung beberapa ratus kloroplas yang terdapat pigmen klorofil membantu proses fotosintesis organisme (Salisbury and Ross, 1995). Klorofil tidak larut dalam air, melainkan larut dalam etanol, methanol, eter, aseton, bensol dan kloroform. Untuk memisahkan klorofil a dan klorofil b beserta pigmen-pigmen lain karotin, xantofil, organ menggunakan suatu teknik spektrofotometri.

#### **2.1.6 Degradasi Klorofil**

Klorofil bersifat labil terhadap pengaruh cahaya, suhu dan oksigen sehingga mudah terdegradasi menjadi molekul turunannya. Langkah awal degradasi klorofil adalah hilangnya magnesium dari molekul pusat atau hilangnya rantai ekor fitol. Ketika molekul klorofil mengalami degradasi, sejumlah molekul turunan akan terbentuk seperti *phaeopytins*, *chlorophyllides*, dan *phaeophorbides* yang tergantung pada molekul induknya. Molekul hasil degradasi atom Mg dari klorofil adalah feofitin, dan molekul hasil degradasi rantai ekor fitol klorofil adalah klorofilida, sedangkan feoforbida terjadi ketika klorofil telah terdegradasi atom Mg serta rantai ekor fitolnya. Atau dengan kata lain, degradasi dari feofitin atau klorofilida akan menghasilkan molekul feoforbida (Carlson dalam Arrohmah, 2007).



### 2.1.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Klorofil

Pembentukan klorofil dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut ini:

- a. Pembawa faktor, dimana pembentukan klorofil misalnya pada pembentukan pigmen-pigmen lain seperti hewan dan manusia yang dibawah oleh suatu gen tertentu di dalam kromosom. Begitu pula dengan tanaman, jika tidak ada klorofil maka tanaman tersebut akan tampak putih (albino), contoh seperti tanaman jagung.
- b. Sinar matahari, dimana klorofil dapat terbentuk dengan adanya sinar matahari yang mengenai langsung ketanaman.
- c. Oksigen, pada tanaman yang dihasilkan dalam keadaan gelap meskipun diberikan sinar matahari tidak dapat membentuk klorofil, jika tidak diberikan oksigen.
- d. Karbohidrat ternyata dapat membantu pembentukan klorofil dalam daun-daun yang mengalami pertumbuhan. Tanpa adanya karbohidrat, maka daun-daun tersebut tidak mampu menghasilkan klorofil.
- e. Nitrogen, Magnesium, dan Besi merupakan suatu keharusan dalam pembentukan klorofil, jika kekurangan salah satu dari zat-zat tersebut akan mengakibatkan klorosis pada tumbuhan.
- f. Unsur Mn, Cu, dan Zn meskipun jumlah yang dibutuhkan hanya sedikit dalam pembentukan klorofil. Namun, jika tidak ada unsur-unsur tersebut maka tanaman akan mengalami klorosis juga.
- g. Air, kekurangan air pada tumbuhan mengakibatkan desintegrasi dari klorofil seperti terjadi pada rumput dan pohon-pohon dimusim kering.

- h. Temperatur 30-40<sup>0</sup>C merupakan suatu kondisi yang baik untuk pembentukan klorofil pada kebanyakan tanaman, akan tetapi yang paling baik ialah pada temperatur antara 26-30<sup>0</sup>C (Dwidjoseputro, 1981).

## **2.2 Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.)**

### **2.2.1 Deskripsi Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.)**

Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.) adalah suatu spesies alami yang berasal dari Asia tenggara, Kamboja, Cina bagian utara, Timor Timur, Indonesia, Malaysia, Papua Nugini, Filipina, Thailand hingga Vietnam. Di budidayakan luas di daerah tropis. Sebaran pohon yang luas ditemukan di hutan primer dan beberapa hutan sekunder dataran rendah, umumnya di sepanjang sungai pasang surut dan pantai berbatu. Merupakan jenis pionir yang tumbuh baik di daerah terbuka. Tumbuh pada berbagai macam tipe tanah, dari yang subur ke tanah berbatu. Biasanya ditemukan sampai ketinggian 600 mdpl, namun masih bertahan hidup sampai 1.300 mdpl. Sering menjadi tanaman hias di taman dan sepanjang jalan (Joker, 2002).

Populasinya berkurang akibat eksploitasi berlebihan, kadang juga penebangan liar menyebabkan hilangnya habitat. Di Vietnam, populasi jenis ini telah punah selama 300 tahun. Survei ekstensif di Sri Lanka gagal menemukan jenis ini dan populasi di India, Indonesia dan Filipina menunjukkan bahwa jenis ini telah terancam. Eksploitasi atas tegakan di Semenanjung Malaysia, mungkin menyebabkan punahnya jenis ini di sana dan yang diyakini merupakan populasi terbesar yang tersisa yaitu di New Guinea ternyata telah tereksploitasi dengan parah (Joker, 2002)

### 2.2.2 Klasifikasi Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.)

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Fabales

Family : Fabaceae

Genus : *Pterocarpus*

Spesies : *Pterocarpus indicus* Willd. (Joker, 2002)

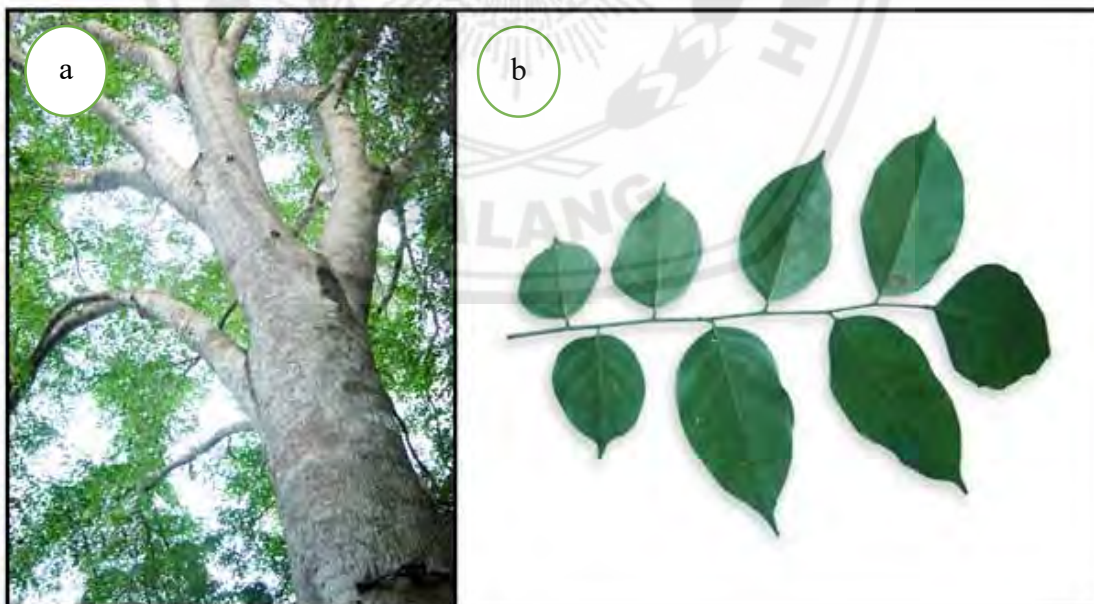


Gambar 5. Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.)  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 2.2.3 Morfologi Daun Angsana (*Pterocarpus indicus* Willd.)

Tanaman angšana termasuk famili Fabaceae dan merupakan jenis tanaman pohon tinggi. Ketinggiannya bisa mencapai 30 sampai 40 m. Diameter batang 2m. Ujung ranting tanaman ini berambut. Daunnya majemuk dan menyirip ganjil. Daun penumpu berseling. Anak daun berjumlah 5-13. Daun berbentuk bulat telur dan memanjang. Ujung daun meruncing, tumpul dan mengkilap. Pertulangan daun menyirip dan pola tulang tersier menjala. Bunga berkelamin ganda, bewarna kuning cerah dan baunya sangat harum (Joker, 2002).

Daun penumpu berbentuk lanset, panjang 1-2 cm. Daun berseling. Anakan daun 5-13, berbentuk bulat telur, memanjang, meruncing, mengkilat. Tandan bunga di bagian ujung dan duduk di ketiak, sedikit atau tidak bercabang, berambut coklat, berbunga banyak dan panjang berukuran 7-11 cm; anak tangkai 0,5-1,5 cm; bunga sangat harum (Tjitrosoepomo 1996).



Gambar 6. a. Pohon Angsana. b. Daun Angsana  
(Sumber: Keyword suggestion.com)

Daun (Folium) merupakan salah satu organ tumbuhan yang penting dan terdapat dalam jumlah besar pada suatu tanaman. Bentuk daun biasanya tipis dan melebar, kaya akan suatu zat hijau yang disebut klorofil bentuk daun yang tipis melebar dengan posisi daun pada batang yang menghadap ke atas selaras yang berperan penting pada saat peristiwa fotosintesis, transpirasi, dan respirasi bagi tumbuhan (Tjitrosoepomo, 1996).

### **2.3 Topografi Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP) Kecamatan Ngoro Kabupaten Mojokerto**

Kecamatan Ngoro terletak di wilayah Kabupaten Mojokerto yang paling timur dan merupakan salah satu Kecamatan yang dilalui jalan propinsi dari arah Mojokerto menuju Pasuruan dan Malang. Secara geografis Kecamatan Ngoro terletak antara  $07^{\circ}57'957^{\circ}$  dan  $12^{\circ}65'144^{\circ}$ LS sampai dengan  $112^{\circ}51'435^{\circ}$  BT. Kecamatan Ngoro berbatasan dengan Kecamatan Krembung Kabupaten Sidoarjo di sebelah Utara, dengan Kecamatan Trawas di sebelah selatan, dengan Kecamatan Gempol Kabupaten Pasuruan di sebelah timur, dan Kecamatan Pungging di sebelah barat (BPS Kabupaten Mojokerto, 2016).

Wilayah Kecamatan Ngoro mempunyai ketinggian rata-rata antara 10– 450 meter di atas permukaan laut, kecuali di bagian timur laut merupakan daerah yang memiliki ketinggian lebih dari 470 meter di atas permukaan laut. Luas wilayah yang mempunyai ketinggian 500 meter lebih mencapai 20,17 Ha dengan kemiringan tanah lebih dari 40 derajat (BPS Kabupaten Mojokerto, 2016).

Pertumbuhan ekonomi secara kumulatif (Januari – Juni 2015) Jawa Timur mencapai 5,22 persen dan merupakan pertumbuhan ekonomi tertinggi kedua setelah Banten di Pulau Jawa dan lebih tinggi 0,52 poin dibandingkan

pertumbuhan ekonomi Nasional (4,70 persen). Oleh karena itu, Jawa Timur mampu memberikan kontribusi terhadap 33 Provinsi (Nasional) sebesar 14,51 persen (BPPD Provinsi Jawa Timur, 2015). Pertumbuhan ekonomi Provinsi Jawa Timur di dukung dari berbagai sektor, salah satunya sektor perindustrian. Menurut BPPD Provinsi Jawa Timur (2015), perkembangan Industri di Jawa timur dari tahun 2012 sampai tahun 2015 mengalami peningkatan, hingga triwulan I 2015 jumlah unit usaha meningkat sebesar 0,50 persen dari tahun 2014 dengan jumlah tenaga kerja yang terserap sebesar 3.134.809 orang.

Beberapa daerah di Jawa Timur yang mengalami perkembangan yang pesat dari sektor industri salah satunya di Kecamatan Ngoro. Jumlah perusahaan industri pengolahandi Kecamatan Ngoro pada tahun 2015 sebanyak 734 perusahaan. Yang merupakan industri berskala besar ada 132 perusahaan (18,25%), Kemudian yang berskala sedang ada 37 perusahaan (5,65%). Untuk industri berskala kecil ada 144 perusahaan (22,78%), dan sisanya berskala kerajinan rumah tangga ada 421 perusahaan (53,32%). Untuk industri sedang berada di 16 desa. Semua desa di Kecamatan Ngoro terdapat industri, dan yang terbanyak berada di Desa Ngoro yang merupakan Kawasan Ngoro Industri Persada (NIP), dimana perusahaan mencapai 87 industri (BPS Kabupaten Mojokerto, 2016).

Kawasan Ngoro Industri Persada menghasilkan beberapa produk diantaranya yaitu: *beverage, tobacco essence, aluminium ingot, packaging, furniture, color pigment, building material, transformer, welding rof, PVC rigid film, can packaging, silica and fledspar flour industry, adhesive, hygiene product, logistic, plastic, ceramic tile, metal roof, logistic, bedsheet, computer component recycle, tobacco/cigar, wooden pallet, tatami, wood working, alluminium & copper*

*bar, paper bag, gas stove & burner, metal industry, electric guitar & amplifier, electric guitar spare part, medicine, synthetic resin, coating material, paint, plastic houseware, stainless steel houseware, water valve, water tap & accessories, moulding, faucet, bathroom & sanitary accessories, copper, zinc ingot, brass ingot, alloy ingot, gear rod, automotive component, thread, flange, steel rod, hygiene packaging, water meter, industrial cutlery, resins, ceramic tile, jewelry, tobacco processing, wiring harness, semi refined carragenan, nutrition feed, ball bearing slides, agriculture, food industry, sanitary ware, aluminium foil, chemical for paper, drum plastic, coconut powder, dan industrial plastic bag.* Selain menghasilkan produk yang berkualitas, industri sendiri juga mengeluarkan limbah berupa padat, cair dan gas atau asap. Industri yang mengeluarkan limbah gas atau asap ± 40 Industri, dan sisanya yaitu industri yang mengeluarkan limbah padat dan limbah cair. Dampak dari limbah tersebut mempunyai peluang untuk mencemari lingkungan disekitarnya. Seiring dengan meningkatnya Industri. Seiring meningkatnya Industri yang mengeluarkan limbah berupa asap dan gas, maka mengindikasikan bahwa kualitas udara di daerah tersebut menurun karena masuknya polutan ke dalam udara, sehingga menyebabkan udara menjadi berkurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan semestinya (Siregar, 2005).

## **2.4 Industri**

### **2.4.1 Jenis dan Macam-macam Industri**

Industri adalah suatu usaha atau kegiatan pengolahan bahan mentah atau barang setengah jadi menjadi barang jadi yang memiliki nilai tambah untuk mendapatkan keuntungan (Alfiah, 2009). Usaha perakitan atau assembling dan juga

reparasi adalah bagian dari industri. Hasil industri tidak hanya berupa barang, tetapi juga dalam bentuk jasa. Macam-macam industri sebagai berikut:

a. Berdasarkan tempat bahan baku

1. Industri Ekstraktif adalah industri yang bahan baku diambil langsung dari alam sekitar.
2. Industri Nonekstraktif adalah industri yang bahan baku didapat dari tempat lain selain alam sekitar.
3. Industri Fasilitatif adalah industri yang produk utamanya adalah berbentuk jasa yang dijual kepada para konsumennya.

b. Berdasarkan besar dan kecil modal

1. Industri padat modal adalah Industri yang dibangun dengan modal yang jumlahnya besar untuk kegiatan operasional maupun pembangunannya.
2. Industri padat karya adalah industri yang lebih di titik beratkan pada sejumlah besar tenaga kerja atau pekerja dalam pembangunannya serta pengoperasiannya.

c. Berdasarkan klasifikasi

Berdasarkan SK Menteri Perindustrian No.119/M/I/1986

1. Industri kimia dasar, contohnya seperti industri semen, obat-obatan, kertas, pupuk dan lain-lain.
2. Industri mesin dan logam dasar, seperti industri pesawat terbang, kendaraan bermotor, tekstil dan lain-lain.
3. Industri kecil, contohnya industri roti, kompor, makanan ringan, es, minyak goreng curah dan lain-lain.



4. Aneka industri, misalnya industri pakaian, industri makanan dan minuman dan lain-lain.
- d. Berdasarkan jumlah tenaga kerja
1. Industri Rumah Tangga adalah industri yang jumlah karyawan / tenaga kerja berjumlah antara 1-4 orang.
  2. Industri Kecil adalah industri yang jumlah karyawan / tenaga kerja berjumlah antara 5-19 orang.
  3. Industri Sedang Atau Industri Menengah industri yang jumlah karyawan / tenaga kerja berjumlah antara 20-99 orang.
  4. Industri besar adalah industri yang jumlah karyawan/ tenaga kerja berjumlah antara 100 orang atau lebih.
- e. Berdasarkan pemilihan lokasi
1. Industri yang berorientasi atau menitik beratkan pada pasar (*market oriented industry*) adalah industri yang didirikan sesuai dengan lokasi potensi target konsumen. Industri jenis ini akan mendekati kantong-kantong dimana konsumen potensial berada. Semakin dekat ke pasar akan semakin menjadi lebih baik.
  2. Industri yang berorientasi atau menitik beratkan pada tenaga kerja atau laboran (*man power oriented industry*) adalah industri yang berada pada lokasi di pusat pemukiman penduduk karena biasanya jenis industri tersebut membutuhkan banyak pekerja atau pegawai untuk lebih efektif dan efisien.
  3. Industri yang berorientasi atau menitik beratkan pada bahan baku (*supply oriented industry*) adalah jenis industri yang mendekati lokasi dimana bahan baku berada untuk memangkas atau memotong biaya transportasi yang besar.

- f. Berdasarkan produktifitas perorangan
1. Industri Primer adalah industri yang barang-barang produksinya bukan hasil olahan langsung atau tanpa diolah terlebih dahulu.
  2. Industri Sekunder adalah industri yang bahan mentah diolah sehingga menghasilkan barang-barang untuk diolah kembali.
  3. Industri Tersier adalah industri yang produk atau barangnya berupa layanan jasa.

## **2.5 Dampak Terkait Pembangunan Industri**

Pembangunan kawasan industri dalam jangka waktu panjang, akan berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan wilayah. Selain itu, kegiatan industri juga mampu mempengaruhi perilaku manusia dan kondisi lingkungan. Adapun dampak terkait adanya pembangunan industri, yaitu:

### **2.5.1 Alih fungsi lahan pembangunan industri**

Alih fungsi lahan merupakan mekanisme yang mempertemukan permintaan dan penawaran terhadap lahan. Sehingga menghasilkan kelembagaan lahan baru dengan karakteristik sistem produksi yang berbeda. Hal ini mengakibatkan kawasan pinggiran yang sebagian besar berupa lahan pertanian beralih fungsi (konversi) menjadi lahan non-pertanian dengan tingkat peralihan yang beragam antar periode dan wilayah (Nugroho dalam Sari, 2014).

### **2.5.2 Perubahan sosial dan perekonomian**

Kehidupan masyarakat umumnya akan mengalami perubahan. Perubahan yang terjadi ditentukan dengan membandingkan keadaan sebelum dan sesudah kejadian pembangunan. Perubahan yang terjadi tidak selalu sama, ada yang

mengalami secara cepat dan ada pula yang lambat. Menurut Soemarjan dalam Sari (2014) menyatakan bahwa perubahan sosial adalah segala perubahan-perubahan pada lembaga kemasyarakatan di dalam suatu masyarakat yang mempengaruhi sistem sosialnya, termasuk di dalam nilai-nilai sikap dan pola perilaku antar kelompok-kelompok di dalam masyarakat. Pada dasarnya, interaksi sosial diawali dengan proses eksternalisasi berupa pengaruh-pengaruh dari luar kemudian menciptakan obyektifikasi dalam pikiran individu berdasarkan citra yang dilihat dan dicerna oleh pikiran.

### **2.5.3 Pencemaran lingkungan**

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. 2/MENKLH/1988 dalam Sari (2014), menjelaskan bahwa pencemaran adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air/udara, dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia atau proses alam. Sehingga kualitas udara/air menjadi berkurang sehingga tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Semakin meningkatnya sektor industri, maka mengakibatkan semakin tinggi pula tingkat pencemaran air, udara, dan tanah akibat berbagai kegiatan industri tersebut.

#### **2.5.3.1 Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah adalah keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Darmono dalam Sadrach (2008) menyatakan bahwa ada dua sumber utama kontaminasi tanah yaitu kebocoran bahan kimia organik dan penyimpanan bahan kimia dalam bunker yang disimpan dalam tanah, dan penampungan limbah industri yang ditampung dalam suatu kolam besar yang terletak di atas atau di dekat sumber air tanah. Pencemaran tanah

biasanya terjadi karena: kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial; penggunaan pestisida; masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan; kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, zat kimia, atau limbah; air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat (illegal dumping). Ketika suatu zat berbahaya/beracun telah mencemari permukaan tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan dan atau masuk ke dalam tanah. Pencemaran yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun di tanah tersebut dapat berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya (Sadrach, 2008).

Limbah industri yang bisa menyebabkan pencemaran tanah berasal dari: pabrik, manufaktur, industri kecil, industri perumahan, bisa berupa limbah padat dan cair.

- a. Limbah industri yang padat atau limbah padat yang adalah hasil buangan industri berupa padatan, lumpur, bubur yang berasal dari proses pengolahan. Misalnya sisa pengolahan pabrik gula, pulp, kertas, rayon, plywood, pengawetan buah, ikan daging dll.
- b. Limbah cair yang adalah hasil pengolahan dalam suatu proses produksi, misalnya sisa-sisa pengolahan industri pelapisan logam dan industri kimia lainnya. Tembaga, timbal, perak, khrom, arsen dan boron adalah zat hasil dari proses industri pelapisan logam (Sadrach, 2008).

Limbah yang telah mencemari lingkungan akan membawa dampak yang merugikan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Kerugian secara

langsung, apabila pencemaran tersebut secara langsung dan cepat dapat dirasakan akibatnya oleh manusia. Kerugian secara tidak langsung, apabila pencemaran tersebut mengakibatkan lingkungan menjadi rusak sehingga daya dukung lingkungan terhadap kelangsungan hidup manusia menjadi menurun. Kondisinya dapat lebih parah lagi apabila daya dukung lingkungan sudah tidak mampu lagi menopang kebutuhan manusia, sehingga malapetaka bagi kehidupan manusia tidak terhindar. Sebagai contoh adalah kesuburan tanah sangat menurun sehingga mengganggu sektor pertanian yang berakibat menurunnya produksi pangan dan juga sumber air minum yang sehat sudah sulit didapatkan sehingga masyarakat kekurangan air untuk kebutuhan hidup sehari-hari (Sunu dalam Sadrach (2008)).

Pada dasarnya kontaminasi logam dalam tanah pertanian bergantung pada:

- a. Jumlah logam yang ada pada batuan tempat tanah terbentuk.
- b. Jumlah mineral yang ditambahkan pada tanah sebagai pupuk.
- c. Jumlah deposit logam dari atmosfer yang jatuh ke dalam tanah.
- d. Jumlah yang terambil pada proses panen ataupun merembes ke dalam tanah yang lebih dalam (Darmono dalam Sadrach (2008)).

### **2.5.3.2 Pencemaran Air**

Berdasarkan definisi pencemaran air, penyebab terjadinya pencemaran dapat berupa masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air sehingga menyebabkan kualitas air tercemar. Masukan tersebut sering disebut dengan istilah unsur pencemar, yang pada prakteknya masukan tersebut berupa buangan yang bersifat rutin, misalnya buangan limbah cair. Aspek pelaku/penyebab dapat yang disebabkan oleh alam, atau oleh manusia. Pencemaran yang disebabkan oleh alam tidak dapat berimplikasi hukum, tetapi Pemerintah tetap harus

menanggulangi pencemaran tersebut. Sedangkan aspek akibat dapat dilihat berdasarkan penurunan kualitas air sampai ke tingkat tertentu. Pengertian tingkat tertentu dalam definisi tersebut adalah tingkat kualitas air yang menjadi batas antara tingkat tidak tercemar (tingkat kualitas air belum sampai batas) dan tingkat cemar (kualitas air yang telah sampai ke batas atau melewati batas). Ada standar baku mutu tertentu untuk peruntukan air. Sebagai contoh adalah pada UU Kesehatan No. 23 tahun 1992 ayat 3 terkandung makna bahwa air minum yang dikonsumsi masyarakat, harus memenuhi persyaratan kualitas maupun kuantitas, yang persyaratan kualitas tentang dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 146 tahun 1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air. Sedangkan parameter kualitas air minum/air bersih yang terdiri dari parameter kimiawi, fisik, radioaktif dan mikrobiologi, ditetapkan dalam PERMENKES 416/1990 (Achmadi, 2001).

Air yang aman adalah air yang sesuai dengan kriteria bagi peruntukan air tersebut. Misalnya kriteria air yang dapat diminum secara langsung (air kualitas A) mempunyai kriteria yang berbeda dengan air yang dapat digunakan untuk air baku air minum (kualitas B) atau air kualitas C untuk keperluan perikanan dan peternakan dan air kualitas D untuk keperluan pertanian serta usaha perkotaan, industri dan pembangkit tenaga air.

### **2.5.3.3 Pencemaran Udara**

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.

Menurut Wardhana (1995), udara bersih yang dihirup hewan dan manusia merupakan gas yang tidak nampak, tidak berbau, tidak berwarna maupun berasa. Akan tetapi udara yang benar-benar bersih sulit diperoleh, terutama di kota besar yang banyak terdapat industri dan padat lalu lintas. Udara yang mengandung zat pencemar disebut udara tercemar. Kerusakan lingkungan dan kehidupan manusia. kerusakan lingkungan berarti berkurangnya daya dukung alam terhadap kehidupan yang selanjutnya akan mengurangi kualitas udara.

Menurut Siregar (2005), ada dua bentuk emisi dari dua unsur atau senyawa pencemar udara, yaitu.

1. Pencemaran udara primer (*Primary Air Pollution*), yaitu emisi unsur-unsur pencemar udara langsung ke atmosfer dari sumber-sumber diam (pabrik) maupun bergerak (kendaraan). Biasanya pencemaran udara primer ini mempunyai waktu paruh di atmosfer yang tinggi pula, misalnya CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CFC, Cl<sub>2</sub>, dan lain-lain.
2. Pencemaran udara sekunder (*Secondary Air Pollution*) yaitu, emisi pencemar udara dari hasil proses fisik kimia di atmosfer dalam bentuk fotokimia yang umumnya bersifat reaktif dan mengalami transformasi fisik-kimia menjadi unsur atau senyawa. Bentuknya pun berbeda dari saat di emisikan hingga setelah ada atmosfer, misalnya ozon (O<sub>3</sub>), aldehida, hujan asam dan lain-lain.

Sumber pencemaran dapat merupakan kegiatan yang bersifat alami (natural) dan aktivitas manusia (kegiatan antropogenik). Pencemaran udara dapat dikelompokkan berdasarkan sumber pencemarannya maupun tipe pencemar itu sendiri.

Pencemaran udara berdasarkan sumber pencemar dapat dibedakan menjadi.

1. Sumber alami

Sumber alami pada beberapa daerah dapat merupakan penyebab yang nyata, dibandingkan dengan wilayah atau daerah lainnya. Misalnya, emisi vulkanik, umumnya ditemukan di daerah pegunungan seperti  $SO_x$ ,  $H_2S$  dan partikel sulfur lainnya. Kemudian di daerah pantai banyaknya rawa dan hutan bakau akan mengakibatkan tingginya konsentrasi metana.

2. Sumber antropogenik

Sumber pencemar yang berasal dari kegiatan manusia. Misalnya, kendaraan bermotor, industri dan lain-lain (Alfiah, 2009).

Pencemaran udara berdasarkan sifatnya dapat dibedakan menjadi.

1. Pencemar spesifik

Pencemar yang berasal dari sumber spesifik di tempat tertentu, sangat tergantung dari jenis aktivitas yang ada. Adanya pencemar spesifik ini dapat di ketahui dari aktivitas atau kegiatan yang berlangsung di lokasi tertentu. Pencemar spesifik tidak dapat ditemukan di semua tempat. Misalnya, debu atau partikulat dari industri semen, amonia dari industri pupuk dan debu atau partikulat logam dari industri pertambangan dan peleburan logam.

2. Pencemaran indikatif

Pencemaran indikatif meliputi unsur-unsur pencemar yang telah dijadikan indikasi pencemaran udara secara umum, biasanya tercantum di dalam peraturan kualitas udara yang berlaku. Pencemaran indikatif bersifat umum, artinya dapat ditemukan hampir di semua tempat, namun dengan kadar yang berbeda.



Misalnya, *total suspended particulat*, karbon monoksida, total hidrokarbon, oksida nitrogen, oksida sulfur, oksidan fotokimia (Alfiah, 2009).

Pencemaran udara berdasarkan keadaan sumber pencemar dapat dibedakan menjadi.

1. Sumber tetap (*Stationary sources*)

Sumber pencemar yang tidak berpindah lokasi. Misalnya, industri, pembangkit tenaga listrik, pemukiman, komersial (rumah makan, hotel dan lain-lain) insenerasi kota.

2. Sumber bergerak (*Mobile sources*)

Sumber pencemar yang dapat berpindah tempat. Misalnya, kendaraan bermotor (mobil, sepeda motor), kereta api, pesawat terbang dan kapal laut (Alfiah, 2009).

Pencemaran udara berdasarkan distribusi ruangnya dapat dibedakan menjadi.

1. Sumber titik (*Point sources*)

Sumber pencemar yang berada di tempat tertentu. Contoh, industri dan pembangkit listrik.

2. Sumber garis (*Line sources*)

Sumber pencemar yang dapat berpindah tempat dalam mengemisikan pencemar, sehingga pencemar akan terdistribusi sepanjang jarak tertentu. Contoh, kendaraan bermotor.

3. Sumber area (*Area sources*)

Sumber pencemar dimana sumber pencemar terdistribusi dalam area tertentu. Contoh, kebakaran hutan (Alfiah, 2009).

Pencemaran udara berdasarkan pembentukan pencemar dibedakan menjadi:

#### 1. Pencemar udara primer

Pencemar udara yang komposisinya tidak mengalami perubahan dalam atmosfer, baik secara kimiawi maupun fisik dalam jangka waktu yang relatif lama, tetap sama komposisinya seperti saat di emisikan dari sumber. Pencemar jenis ini memiliki waktu tinggal yang relatif lama di atmosfer karena sifatnya yang stabil terhadap reaksi-reaksi kimia fisi atmosfer. Polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa:

Polutan gas terdiri dari.

- a. Senyawa karbon, yaitu hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan karbon dioksida (CO dan CO<sub>2</sub>).
- b. Senyawa sulfur yaitu sulfur oksida.
- c. Senyawa nitrogen yaitu nitrogen oksida dan amoniak
- d. Senyawa halogen yaitu flour, klorin, hidrogen klorida, hidrokarbon terkloronasi, dan bromine.

Partikel

Partikel yang di atmosfer merupakan karakteristik yang spesifik, dapat berupa zat padat maupun suspensi aerosol cair di atmosfer. Asap (*smoke*) seringkali dipakai untuk menunjukkan campuran bahan partikulat (*particulate matter*), uap (*fumes*), gas, dan abut (*mist*) (Mukono, 2000). Dalam kaitannya dengan masalah pencemaran lingkungan maka partikel dapat berupa keadaan-keadaan berikut.

- a. *Aerosol*, adalah istilah umum yang menyatakan adanya partikel yang terhambur dan melayang di udara.

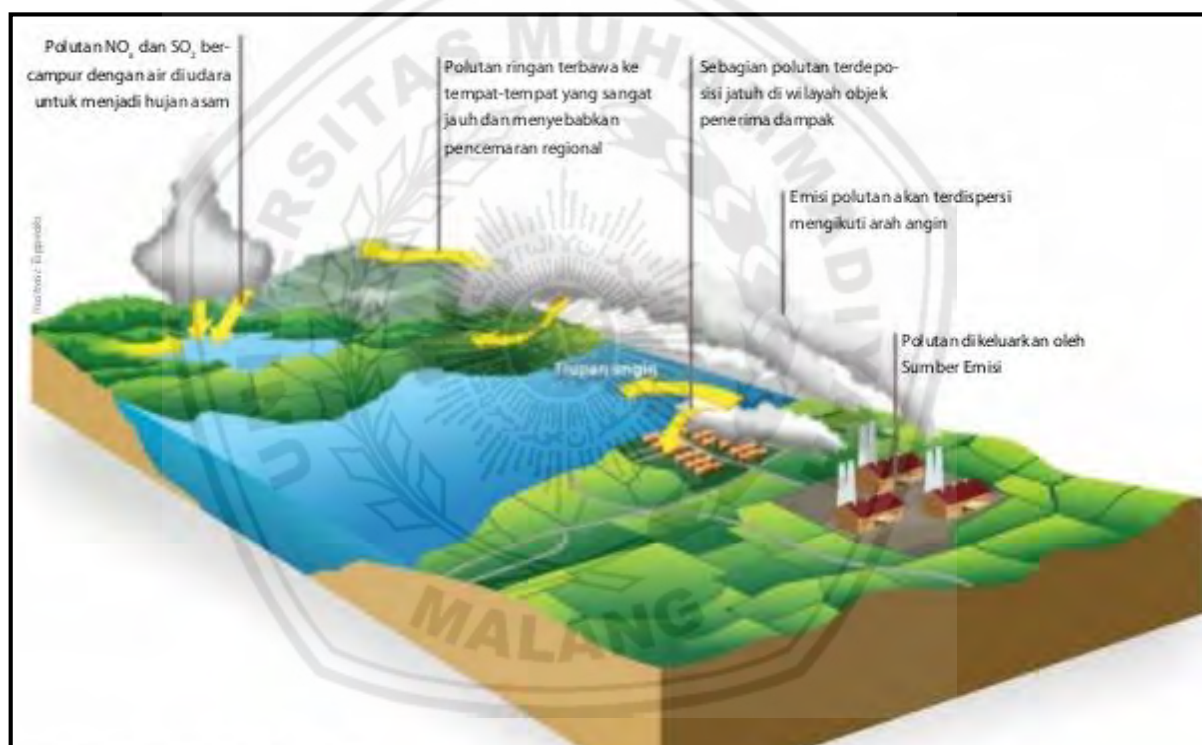
- b. *Fog* atau kabut, adalah aerosol yang berupa butiran air yang berada di udara.
  - c. *Smoke* atau asap, adalah aerosol yang berupa campuran antara butir padatan dan cairan yang terhambur melayang di udara.
  - d. *Dust* atau debu, adalah aerosol yang berupa butiran padat yang terhambur dan melayang di udara karena adanya hembusan angin.
  - e. *Mist*, artinya mirip dengan kabut, penyebabnya adalah butiran-butiran zat cair (bukan butiran air) yang terhambur dan melayang di udara.
  - f. *Fume*, adalah aerosol yang berasal dari kondensasi uap logam.
  - g. *Plume*, adalah asap yang keluar dari cerobong asap suatu industri.
  - h. *Smog*, adalah bentuk campuran antara *smoke* dan *fog* (Wardhana, 1995).
2. Pencemar udara sekunder

Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara. Merupakan pencemar yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi atmosferik, seperti hidrolisis, oksidasi dan reaksi fotokimia, atau berbagai transformasi fisikokimiawi. Polutan sekunder ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil (Mukono, 2000). 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

Sumber-sumber polusi lainnya adalah pembakaran, proses industri, pembuangan limbah dan lain-lain. Polutan primer yang diemisikan oleh suatu sumber emisi akan mengalami berbagai reaksi fisik dan kimia dengan adanya faktor

meteorologi seperti sinar matahari, kelembaban dan temperatur. Berbagai reaksi yang terjadi juga dapat menyebabkan terbentuknya beberapa jenis polutan sekunder. Akibat dorongan angin, polutan akan terdispersi (tersebar) mengikuti arah angin tersebut. Sebagian polutan dalam perjalanannya dapat terdeposisi (*deposited*) atau mengendap ke permukaan tanah, air, bangunan, dan tanaman. Sebagian lainnya akan tetap tersuspensi (*suspended*) di udara. Seluruh kejadian tersebut akan mempengaruhi konsentrasi polutan-polutan di udara ambien atau dengan kata lain, mengubah ualitas udara ambien (Kemenlh, 2007).



Gambar 7. Memprediksi dampak lingkungan untuk kualitas udara.  
(Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2007)

Di daerah perkotaan dan industri, parameter bahan pencemar yang perlu diperhatikan antara lain adalah  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$ , asam hidroklorit, senyawa flour dan unsurunsur radioaktif. Bentuk utama dari partikel-partikel halus adalah kabut yang berasal dari proses pembakaran tak sempurna dari bahan bakar.

Sedangkan bentuk utama partikel kasar adalah dalam bentuk senyawa organik. Senyawa SO<sub>2</sub>, asap dan debu dapat menjadi bahan pembentuk senyawa pencemar udara yang lain (Siregar, 2005).

## 2.6 Dampak Terhadap Kesehatan Manusia

Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan manusia tidak dapat dibantah lagi, baik polusi udara yang terjadi di alam bebas (*Outdoor air pollution*) ataupun yang terjadi di dalam ruangan (*Indoor air pollution*), polusi yang terjadi di luar ruangan terjadi karena bahan pencemar yang berasal dari industri, transportasi, sementara polusi yang terjadi di dalam ruangan dapat berasal dari asap rokok, dan gangguan sirkulasi udara (Budiyono, 2001).

Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara ke dalam tubuh manusia, yaitu melalui inhalasi, ingestasi, dan penetrasi kulit. Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar udara ke tubuh manusia melalui sistem pernafasan. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru-paru dan saluran pernafasan, selain itu bahan pencemar ini kemudian masuk dalam peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh lain (Budiyono, 2001).

Bahan pencemar udara yang berdiameter cukup besar tidak jarang masuk ke saluran pencernaan, ketika makan atau minum, seperti juga halnya paru-paru, maka bahan pencemar yang masuk ke dalam pencernaan dapat menimbulkan efek lokal dan dapat pula menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Permukaan kulit dapat juga menjadi pintu masuk bahan pencemar dari udara, sebagian besar pencemar hanya menimbulkan akibat buruk pada bagian permukaan kulit seperti

dermatitis dan alergi saja, tetapi bagain lainnya khususnya pencemar organik dapat melakukan pentrasi kulit dan menimbulkan efek sistemik (Budiyono, 2001).

Secara umum ada tiga faktor utama yang berpengaruh dalam proses inhalsi bahan pencemar ke dalam paru-paru, yaitu komponen fisik, komponen kimiawi dan faktor penjamu (*Host*). Aspek komponen fisik adalah keadaan dari bahan yang di inhalasi itu sendiri, apakah berupa gas, debu, uap dan lain-lain. Ukuran dan bentuk partikel juga berpengaruh dalam proses penimbunan pencemaran di paru-paru, demikian juga dengan kelarutan dan nilai higroskopisitasnya. Komponen-komponen kimia dari bahan yang di inhalasi dapat dalam saluran pernafasan dapat bereaksi langsung dengan jaringan sekitarnya. Keasaman atau tingkat alkalisitas yang tinggi dapat merusak silia dan sistem enzim. Bahan-bahan pencemar tertentu dapat menimbulkan fibrosis yang luas di paru-paru, sementara bahan pencemar lain dapat bersifat sebagai antigen dan menimbulkan antibodi dalam tubuh (Budiyono, 2001).

## **2.7 Dampak Terhadap Kesehatan Flora**

Tumbuh-tumbuhan memiliki reaksi yang berar dalam menerima perubahan atau gangguan akibat polusi udara yang dan perubahan lingkungan. Hal ini terjadi karena banyak faktor yang berpengaruh, di antaranya spesies tanaman, umur, keseimbangan nutrisi, kondisi tanaman, temperatur, kelembaban dan penyinaran. Penambahan konsentrasi pencemar ke udara dapat secara langsung mempengaruhi pertumbuhan, tingkat kerusakan yang timbulkan mulai dari tidak ada pengaruh yang signifikan, gangguan nutrisi, gangguan atraksional biologis, gangguan respon fisiologis, kenampakan kerusakan sampai kematian. Beberapa contoh

kerusakan yang terjadi pada gangguan nutrisional dan gangguan atraksional biologis adalah terjadinya penurunan kandungan enzim, gangguan respon fisiologis adalah perubahan pada sistem fotosintesis, sedang gangguan yang nampak secara visual adalah klorosis (perusakan zat hijau daun atau menguning), *flecking* (daun bintik-bintik), dan *reduced crop yield* (penurunan hasil panen) (Budiyono, 2001).

Menurut Budiyono (2001), terjadinya gangguan pencemaran tumbuhan dapat digolongkan dalam 2 kategori yaitu gangguan primer dan gangguan sekunder.

a. Gangguan secara primer

Gangguan secara primer adalah terjadinya kontak langsung antara sumber pencemar dengan bagian permukaan tumbuhan secara langsung, sehingga dapat mengganggu dan menutupi lapisan epidermal yang membantu sistem penguapan pada tumbuhan. Hal ini terjadi seperti gangguan pernafasan pada manusia. diantara epidermal terdapat sel mesophyl, yang berguna mengatur dan melindungi sel dengan membuka dan menutupnya rongga udara pada bagian dalam daun, yang mana daun mempunyai fungsi penting bagi tumbuhan, untuk fotosintesa yaitu proses yang terjadi pada daun di mana gabungan air dan CO<sub>2</sub> dengan perantara sinar matahari membentuk glukosa. Gangguan pencemaran udara terhadap tumbuhan karena adanya gas atau partikel yang menutupi permukaan daun, sehingga menghalangi difusi dari gas masuk dan keluar daun.

b. Gangguan secara sekunder

Gangguan secara sekunder adalah gangguan yang terjadi pada tumbuhan karena pencemaran yang mengganggu pada sistem akar, terjadi karena penumpukan polutan atau pencemar pada tanah dan permukaan air. Gangguan ini menghalangi proses alterasi dari nutrisi yang berada dalam tanah dan sekitar

tumbuhan. Gejala yang tampak karena pencemaran udara terhadap tumbuhan adalah terjadinya penampakan yang kurang sehat pada daun, dengan matinya beberapa bagian serta hilangnya warna, disebabkan matinya jaringan karena adanya kerusakan pada *spongy* dan palisade di bagian dalam daun, yang berakibat pada gugurnya daun. Kerusakan pada lapisan epidermis dapat terjadi akibat *Glazing* atau *silvering* pada permukaan daun oleh adanya partikel dan polutan yang menempel. Efek pencemaran udara pada tumbuhan yang tak terlihat adalah adanya kemunduran kemampuan tumbuhan, berkurangnya kemampuan berfotosintesa dan alterasi, kemampuan stomata yang menurun dan reproduksi sel. Tipe kerusakan pada tumbuhan dapat diakibatkan karena tumbuhan mengalami gangguan secara kronis akibat waktu pemaparan pencemaran yang lama dalam tingkat dosis atau konsentrasi rendah. Penyebab utama kerusakan tumbuhan oleh pencemar udara adalah akibat phytotoxic pada tanaman seperti  $O_3$ ,  $SO_2$ , PAN, Cl, HF dan lain-lain.

## 2.8 Dampak Terhadap Kesehatan Fauna

Dampak negatif zat-zat pencemar udara terhadap fauna (hewan) tidak berbeda jauh dengan dampak-dampak lain seperti terhadap manusia dan tumbuhan. Dampak terhadap hewan dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung, secara langsung terjadi bila ada interaksi melalui sistem pernafasan sebagaimana terjadi pada manusia. Dampak tidak langsung terjadi melalui perantara, baik tumbuhan atau perairan yang berfungsi sebagai bahan makanan hewan. Terjadinya emisi zat pencemar ke atmosfer (udara) seperti partikulat,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , HF dan lain-lain yang kemudian berinteraksi dengan tumbuhan dan perairan baik melalui proses



pengendapan atau penempelan, akan berpengaruh langsung terhadap vegetasi dan biota perairan hingga dapat menjangar pada hewan-hewan melalui rantai makanan yang telah terkontaminasi zat pencemar tersebut (Budiyono, 2001).

## **2.9 Kebutuhan Tumbuhan Terhadap Komponen Udara**

Untuk menunjang kehidupannya, tumbuhan membutuhkan unsur-unsur esensial yang diperolehnya dari lingkungan dimana tumbuhan tersebut hidup. Selain dari air dan tanah, unsur-unsur esensial juga diperoleh dari udara. Komponen udara yang dibutuhkan oleh tumbuhan adalah nitrogen, oksigen, karbondioksida, dan sulfur. Nitrogen dan sulfur diperlukan untuk pertumbuhan dan pembentukan senyawa metabolisme, oksigen diperlukan sebagai komponen utama untuk respirasi serta merupakan produk dari proses fotosintesis tumbuhan, sedangkan karbondioksida sebagai bahan baku pembuatan makanan dalam proses fotosintesis (Rinawati dalam Kusuma, 2001).

### **2.9.1 Respon Tumbuhan Terhadap Pencemaran Udara**

Pencemar udara secara merugikan merusak tumbuhan dalam beberapa cara. Kerusakan akibat pencemaran sering secara umum diklasifikasikan ke dalam akut, kronis atau tersembunyi. Menurut Siregar (2005) pada umumnya pencemaran udara baik secara individual maupun kombinasi akan menyebabkan kerusakan dan perubahan fisiologi tanaman yang kemudian akan diekspresikan dalam gangguan pertumbuhan.

Rinawati dalam Kusuma (2001), 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. Faktor-faktor lain yang ikut berperan diantaranya

adalah tingkat pertumbuhan pohon, jarak terhadap sumber pencemar, konsentrasi bahan pencemar, dan durasi paparan pencemar.

Malhotra dan Khan dalam Kusuma (2011) menyebutkan bahwa dari beberapa hasil penelitian pencemaran udara mengakibatkan menurunnya pertumbuhan dan tingkat produktivitas tanaman yang diikuti pula dengan beberapa gejala yang tampak (*visible symptoms*). Kerusakan tanaman karena pencemaran udara berawal dari tingkat biokimia (gangguan proses fotosintesis, respirasi, serta biosintesis protein dan lemak), selanjutnya tingkat ultrastruktural (disorganisasi sel membran), kemudian tingkat sel (dinding sel, mesofil, pecahnya inti sel) dan diakhiri dengan terlihatnya gejala pada jaringan daun seperti klorosis dan nekrosis.

### **2.9.2 Respon Tumbuhan Secara Makroskopis Di Lihat dari Kerusakan Daun**

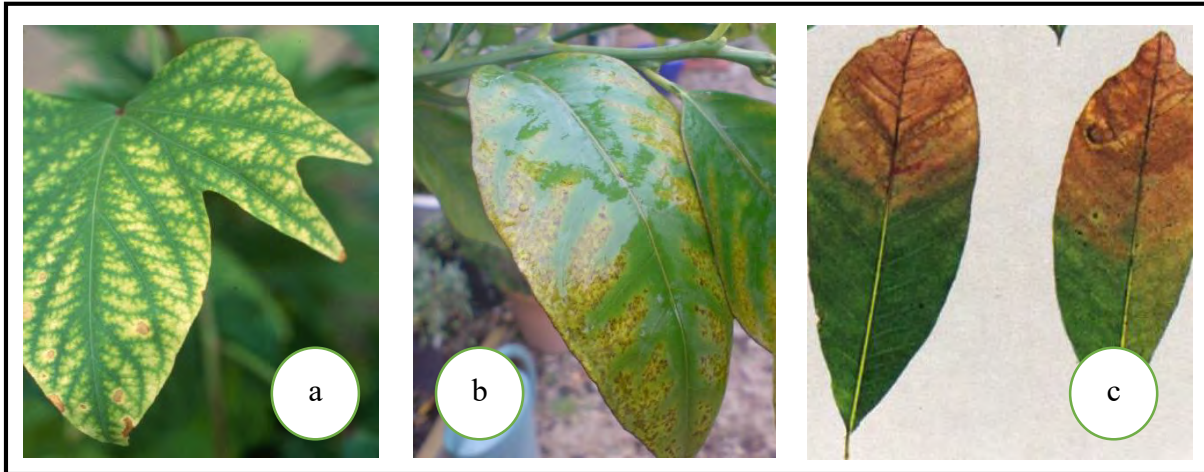
Menurut Widagdo (2005) sebagian besar bahan-bahan pencemar udara mempengaruhi tanaman melalui daun. Jaringan daun terdiri dari epidermis, mesofil, dan berkas pembuluh. Mekanisme tanaman untuk bertahan dari zat pencemar udara adalah melalui pergerakan membuka dan menutup stomata dan proses detoksifikasi. Kerusakan akut, yang terjadi pada daun, pada awalnya ditandai oleh adanya penampakan kekurangan kandungan air, yang kemudian akan berkembang menjadi mengering dan memutih hingga sampai berwarna gading pada kebanyakan spesies.

Selain itu dijumpai pula pada beberapa spesies, perubahan warna daun yang terpapar polutan pencemar menjadi coklat atau merah kecoklatan. Bentuk kerusakan seperti ini disebabkan oleh penyerapan gas pencemar udara yang terpapar dengan konsentrasi yang cukup tinggi sehingga jaringan daun akan rusak dalam waktu yang relatif singkat. Perubahan warna daun menjadi kuning yang

berlanjut hingga memutih dapat menandai bahwa telah terjadi kerusakan secara kronis. Kebanyakan hal ini terjadi karena rusaknya klorofil dan karotenoid akibat absorpsi sejumlah gas pencemar dalam konsentrasi subletal dalam periode waktu yang lama (Widagdo, 2005).

Daun akan mengalami gejala klorosis pada bagian antara tulang daun. Gejala klorosis pada daun tanaman akan berwarna kuning terang, dan akan terlihat pada daun yang lebih muda. Pada area di antara urat daun sebagian besar akan terpengaruh dan urat daun tetap berwarna gelap, kondisi ini disebut klorosis, hal ini salah satunya disebabkan oleh defisiensi besi (Blesa dan Matijevic dalam Dawanaka, 2015). Gejala klorosis yang sangat parah akan menyebabkan daun mengalami nekrotik (kematian jaringan) dan menjadi rapuh, serta ukuran buah menjadi lebih kecil, mudah gugur dan proses pemasakan terganggu sehingga hasil panen menurun (Wisler *et al.*, 1998).

Penyakit ini ditandai dengan perubahan warna kuning pada jaringan di antara tulang daun (*interveinal yellowing*), yang dimulai dari daun-daun tua di bagian bawah kemudian berkembang ke bagian pucuk, kadang-kadang terjadi perubahan warna pada bagian daun menjadi merah keunguan atau merah kecoklatan (*bronzing*) dan pada gejala lanjut beberapa bagian daun klorotik mengalami nekrotik. Luka-luka nekrotik dan penurunan produktivitas primer bersih dalam konsentrasi SO<sub>2</sub> yang berbeda-beda. Pada saat ini morfologi epidermis telah dipelajari sebagai indikator dalam tanggapannya terhadap bahan pencemar khususnya SO<sub>2</sub>. Kerusakan kutikula dan epidermis dapat digunakan untuk mengindikasikan adanya pencemaran udara (Widagdo, 2005).



Gambar 8. a. Intervaling yellow, b. Bronzing, c. Nekrotik  
(Sumber: <http://2.bp.blogspot.com>)

Fitter dan Hay (1998) mengemukakan bahwa daun-daun tanaman yang dihadapkan pada dosis  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , dan  $\text{O}_3$  yang rendah tidak menyebabkan perobekan luka yang nyata (terlihat jelas), namun menyebabkan perobekan sistem membran tilakoid dalam kloroplas. tanaman yang diberi polutan dengan konsentrasi tinggi umumnya menyebabkan perlukaan yang nampak karena kematian, menjadi kering, dan jaringan daun lokal memutih. Pada beberapa kasus, penyebabnya dapat diidentifikasi dari kerusakan khas yang dihasilkan, sebagai contoh.

- a.  $\text{SO}_2$ ; klorosis di dalam urat daun
- b.  $\text{NO}_x$ ; spot warna coklat atau hitam tak teratur, pada urat daun atau tepi daun
- c.  $\text{O}_3$ ; bintik putih, kuning atau coklat (0,1-1 mm) pada permukaan daun sebelah atas, berkaitan dengan stomata
- d. HF; ujung terbakar atau nekrosa tepi.

### 2.9.3 Respon Tumbuhan Secara Mikroskopis Dilihat dari Penurunan Kadar Klorofil

Pengaruh polutan pencemar udara terhadap pigmen fotosintesis sangat besar. Pada konsentrasi pencemar udara yang tinggi maka molekul klorofil

terdegradasi menjadi phaeophitin dan  $Mg^{2+}$ . Pada proses ini molekul  $Mg^{2+}$  dalam molekul klorofil diganti oleh dua atom hydrogen yang berakibat perubahannya karakteristik spektrum cahaya dari molekul klorofil, bahkan dalam waktu pemaparan yang lama akan menyebabkan hilangnya klorofil. Menurut Carlson dalam Arrohmah (2007) menambahkan bahwa penurunan kadar klorofil ini terjadi mulai dari hilangnya magnesium dari molekul pusat atau hilangnya rantai ekor fitol. Ketika molekul klorofil mengalami degradasi, sejumlah molekul turunan akan terbentuk seperti *phaeopytins*, *chlorophyllides*, dan *phaeophorbides* yang tergantung pada molekul induknya.

Beberapa penelitian di sebutkan bahwa daun tanaman Angsana dan Mahoni yang terletak di sejumlah jalan Jakarta dapat dijadikan sebagai indikator dari polutan pencemar  $SO_2$  dan  $NO_2$  yang ditandai dengan menurunnya kadar klorofil. Oleh karena itu kandungan klorofil sering dijadikan indikator terhadap pencemaran udara (Karliansyah, 1997).

## 2.10 Sumber Belajar

Sumber belajar memungkinkan dan memudahkan terjadinya proses belajar. Sumber belajar Biologi dalam proses pembelajaran Biologi dapat diperoleh di sekolah/kampus atau di luar sekolah/kampus. Pada umumnya terdapat dua cara memanfaatkan sumber belajar dalam pembelajaran di sekolah/kampus yaitu dengan membawa sumber belajar ke dalam kelas atau membawa kelas ke lapangan dimana sumber belajar berada (Mulyasa, 2002).

Sumber belajar adalah semua sumber seperti pesan, orang, bahan, alat, teknik, dan latar yang dimanfaatkan peserta didik sebagai sumber untuk kegiatan belajar dan dapat meningkatkan kualitas belajarnya. Berdasarkan klasifikasinya

bahwa sumber belajar ada yang berbasis manusia, sumber belajar berbasis cetakan, sumber belajar berbasis visual, sumber belajar berbasis audio-visual, dan sumber belajar berbasis komputer (Abdullah, 2012).

Fungsi sumber belajar, menurut (Morrison, 2004) sumber belajar yang ada dapat difungsikan dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya dalam pembelajaran. Berikut ini adalah fungsi dari sumber belajar.

- a. Meningkatkan produktivitas pembelajaran, melalui percepatan laju belajar dan membantu pengajar untuk menggunakan waktu secara lebih baik dan pengurangan beban guru/dosen dalam menyajikan informasi, sehingga dapat lebih banyak membina dan mengembangkan gairah belajar murid/mahasiswa.
- b. Memberikan kemungkinan pembelajaran yang sifatnya lebih individual, melalui pengurangan kontrol guru/dosen yang kaku dan tradisional serta pemberian kesempatan kepada murid/mahasiswa untuk belajar sesuai dengan kemampuannya.
- c. Memberikan dasar yang lebih ilmiah terhadap pengajaran, melalui perencanaan program pembelajaran yang lebih sistematis dan pengembangan bahan pembelajaran berbasis penelitian.
- d. Lebih memantapkan pembelajaran, melalui peningkatan kemampuan manusia dalam penggunaan berbagai media komunikasi serta penyajian data dan informasi secara lebih konkrit.
- e. Memungkinkan belajar secara seketika, melalui pengurangan jurang pemisah antara pelajaran yang bersifat verbal dan abstrak dengan realitas yang sifatnya konkrit dan memberikan pengetahuan yang bersifat langsung.

- f. Memungkinkan penyajian pembelajaran yang lebih luas, terutama dengan adanya media massa, melalui pemanfaatan secara bersama yang lebih oleh luas tenaga tentang kejadian-kejadian yang langka, dan penyajian informasi yang mampu menembus batas geografis.

Menurut Djohar (1987) dalam Nurcahyo (2012), pemanfaatan obyek atau kejadian secara efektif sebagai sumber belajar perlu memperhatikan syarat-syarat berikut.

- a. Kejelasan potensi
- b. Kesesuaian dengan tujuan belajar
- c. Kejelasan sasaran
- d. Kejelasan informasi yang dapat diungkapkan
- e. Kejelasan pedoman eksplorasi
- f. Kejelasan perolehan yang diharapkan

Dengan demikian, proses dan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber belajar, tetapi perlu dilakukan suatu kajian yang mendalam dan sistematis melalui penelitian. Menurut Djohar (1987) dalam Nurcahyo (2012), suatu hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi ditinjau dari segi proses dan produknya.

### **2.10.1 Pemanfaatan *Handout* sebagai sumber belajar**

*Handout* berasal dari bahasa Inggris yang berarti informasi, berita atau surat lembaran. *handout* termasuk media cetakan yang meliputi bahan-bahan yang disediakan di atas kertas untuk pengajaran dan informasi belajar. Bentuk *handout* dapat bervariasi. Menurut Chairil (2009), bentuk *handout* ada 3 yaitu.

- a. Bentuk catatan

*Handout* ini menyajikan konsep-konsep, prinsip, gagasan pokok tentang suatu topik yang akan dibahas.

b. Bentuk diagram

*Handout* ini merupakan suatu bagan, sketsa atau gambar, baik yang dilukis secara lengkap maupun yang belum lengkap.

c. Bentuk catatan dan diagram *Handout* ini merupakan gabungan dari bentuk pertama dan kedua

Menurut Wuryanto (2010), *handout* dapat digunakan untuk tujuan berikut.

- a. Bahan rujukan, *handout* berisi materi yang penting untuk diketahui peserta didik
- b. Pemberi motivasi, fasilitator dapat menyelipkan pesan-pesan sebagai motivasi
- c. Pengingat, *handout* sebagai pengingat yang dapat dimanfaatkan peserta didik untuk mempelajari materi sesuai urutan yang dianjurkan dan juga membantu peserta didik untuk melakukan kegiatan yang diminta.
- d. Memberi umpan balik, umpan balik dapat diberikan dalam bentuk *Handout* dan tidak berhenti hanya pemberian umpan balik tetapi dapat pula diikuti dengan langkah-langkah berikutnya.
- e. Menilai hasil belajar, dapat dijadikan sebagai alat mekanisme untuk mengukur pencapaian hasil belajar.

Menurut Chairil (2009), Unsur-unsur penyusun *Handout* yaitu.

- a. Standar kompetensi yaitu, tujuan yang dicapai siswa setelah diberi satu pokok bahasan yang berfungsi untuk memberikan pandangan umum tentang hal-hal yang dikuasai siswa.



- b. Kompetensi dasar yaitu, tujuan yang akan dicapai setelah mengikuti pelajaran untuk 1 kali pertemuan. Fungsinya untuk memberikan fokus pada siswa pada sub pokok bahasan yang sedang dihadapi.
- c. Ringkasan materi pelajaran merupakan kesimpulan-kesimpulan dari bahan ajar yang akan disampaikan atau diberikan pada siswa dan telah disusun secara sistematis. Fungsinya agar memungkinkan siswa dapat mengetahui sistematika pelajaran yang harus dikuasai, sekaligus memandu siswa dalam pengayaan diluar proses mengajar dikelas.
- d. Soal-soal adalah permasalahan yang harus diselesaikan siswa setelah ia menerima atau mempelajari materi pelajaran tersebut, penyelesaian soal itu dikumpul atau dinilai, kemudian dibahas secara bersama-sama untuk membantu siswa dalam melatih memahami materi pelajaran yang akan diberikan.
- e. Sumber bacaan adalah buku atau bahan ajar apa saja yang akan digunakan atau menjadi sumber dari materi pelajaran yang diberikan. Fungsinya untuk menelusuri lebih lanjut materi pelajaran yang akan disampaikan.

## 2.11 Kerangka Konsep

