

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses degradasi biologis dari sampah organik pada kondisi terkontrol menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah batas yang ditentukan oleh lembaga berwenang. Sedangkan menurut *United States Environmental Protection Agency* (dalam Surtikanti, 2011:143), bioremediasi adalah suatu proses alami untuk membersihkan bahan-bahan kimia berbahaya. Ketika mikroba mendegradasi bahan berbahaya tersebut, akan dihasilkan air dan gas tidak berbahaya seperti CO<sub>2</sub>.

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran dan cukup menarik. Selain hemat biaya, dapat juga dilakukan secara *in situ* langsung di tempat dan prosesnya alamiah (Hardiani, dkk. 2011:32). Laju degradasi mikroba terhadap logam berat tergantung pada beberapa faktor, yaitu aktivitas mikroba, nutrisi, derajat keasaman dan faktor lingkungan (Hardiani, dkk., 2011:32). Teknologi bioremediasi ada dua jenis, yaitu *ex-situ* dan *in situ*. *Ex-situ* adalah pengelolaan yang meliputi pemindahan secara fisik bahan-bahan yang terkontaminasi ke suatu lokasi untuk penanganan lebih lanjut (Vidali dalam Hardiani, dkk., 2011:32). Penggunaan bioreaktor, pengolahan lahan (*landfarming*), pengkomposan dan beberapa bentuk

perlakuan fase padat lainnya adalah contoh dari teknologi *ex-situ*, sedangkan teknologi *in situ* adalah perlakuan yang langsung diterapkan pada bahan-bahan kontaminan di lokasi tercemar (Vidali dalam Hardiani, dkk., 2011:32)

Berdasarkan agen proses biologis serta pelaksanaan rekayasa, bioremediasi dapat dibagi menjadi dalam Empat kelompok, yaitu:

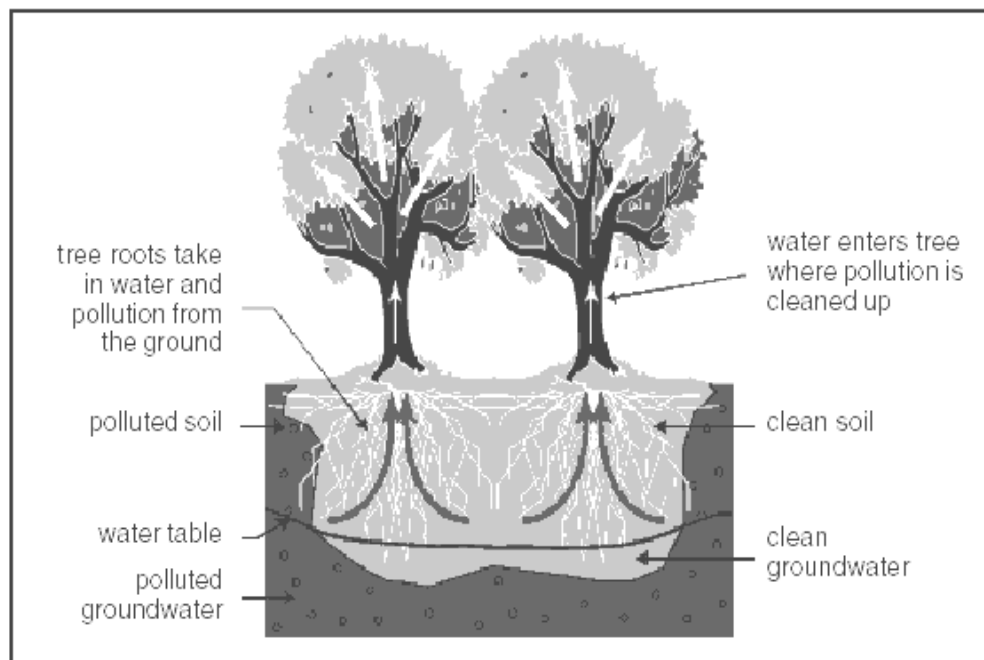
- a. Fitoremediasi;
- b. Bioremediasi *in situ*
- c. Bioremediasi *ex situ*
- d. Bioaugmentasi

Fitoremediasi merupakan proses teknologi yang menggunakan tumbuhan untuk memulihkan tanah yang tercemar oleh bahan polutan secara *in situ* (Surtikanti, 2011:144). Teknologi ini dapat ditunjang dengan peningkatan perbaikan media tumbuh dan ketersediaan mikroba tanah untuk meningkatkan efisiensi dalam proses degradasi bahan polutan. Proses fitoremediasi bermula dari akar tumbuhan yang menyerap bahan polutan yang terkandung dalam air. Kemudian melalui proses transportasi tumbuhan, air yang mengandung bahan polutan dialirkan keseluruh tubuh tumbuhan, sehingga air yang menjadi bersih dari polutan. Tumbuhan ini dapat berperan langsung atau tidak langsung dalam proses remediasi lingkungan yang tercemar. Tumbuhan yang tumbuh di lokasi yang tercemar belum tentu berperan aktif dalam penyisihan kontaminan, kemungkinan tumbuhan tersebut berperan secara tidak langsung. Agen yang berperan aktif dalam biodegradasi polutan adalah mikroorganisme tertentu, sedangkan tumbuhan dapat berperan memberikan fasilitas

penyediaan akar tumbuhan sebagai media pertumbuhan mikroba tanah sehingga pertumbuhan lebih cepat berkembang biak (Surtikanti dan Surakusumah, 2011:145).

Ada beberapa kriteria tumbuhan yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi, (Youngman dalam Surtikanti, 2011:145), yaitu harus: memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi; hidup pada habitat yang kosmopolitan; mampu mengkonsumsi air dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang singkat; mampu meremediasi lebih dari satu jenis polutan; mempunyai toleransi tinggi terhadap polutan; dan mudah dipelihara. Contoh tumbuhan yang dapat digunakan untuk dalam bioremediasi polutan adalah: *Salix sp*, rumput-rumputan (Bermuda grass, sorgum), legum (semanggi, alfalfa), berbagai tumbuhan air dan hiperakumulator untuk logam (bunga matahari, *Thlaspi sp*).

Dalam proses remediasi, tumbuhan dapat bersifat aktif maupun pasif dalam mendegradasi bahan polutan. Secara aktif tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam fitoremediasi. Ada yang melakukan proses transformasi, fitoekstraksi (pengambilan dan pemulihan dari kontaminan pada biomassa bawah tanah), fitovolatilisasi, fitodegradasi, fitostabilisasi (menstabilkan daerah limbah dengan kontrol penyisihan dan evapotranspirasi), dan rhizofiltrasi (menyaring logam berat ke sistem akar) (Kelly dalam Surtikanti, 2011:145). Keenam proses ini dibedakan berdasarkan proses fisik dan biologis. Sedangkan secara pasif tumbuhan melakukan biofilter, transfer oksigen, menghasilkan karbon, dan menciptakan kondisi lingkungan (habitat) bagi pertumbuhan mikroba.



Gambar 2.1 Fitoremediasi

**Fitotransformasi** adalah pengambilan kontaminan bahan organik dan nutrisi dari tanah atau air tanah yang kemudian ditransformasikan oleh tumbuhan.

Proses transformasi polutan dalam tumbuhan dapat berubah menjadi nontoksik atau menjadi lebih toksik. Metabolit hasil transformasi tersebut terakumulasi dalam tubuh tumbuhan. **Fitoekstraksi** merupakan penyerapan polutan oleh tanaman air atau tanah dan kemudian diakumulasi atau disimpan dalam bagian suatu tumbuhan (daun atau batang). Tanaman tersebut dinamakan hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tumbuhan dapat dipanen dan tumbuhan tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus dimusnahkan dengan insinerator atau ditimbun dalam *landfill*.

**Fitovolatilisasi** merupakan proses penyerapan polutan oleh tumbuhan, kemudian polutan tersebut diubah menjadi bersifat volatil (mudah menguap), setelah itu ditranspirasikan oleh tumbuhan. Polutan yang dilepaskan oleh tumbuhan ke udara dapat memiliki bentuk senyawa awal polutan, atau dapat

juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal. **Fitodegradasi** adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tumbuhan. Metabolisme polutan di dalam tumbuhan melibatkan enzim antara lain nitroductase, laccase, dehalogenase, dan nitrillase. **Fitostabilisasi** merupakan proses yang dilakukan oleh tumbuhan untuk mentransformasikan polutan di dalam tanah menjadi senyawa nontoksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tumbuhan. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada di dalam tanah. Fitostabilisasi dapat diartikan sebagai penyimpanan tanah dan sedimen yang terkontaminasi dengan menggunakan vegetasi, dan immobilisasi kontaminan beracun polutan. Fitostabilisasi biasanya digunakan untuk kontaminan logam pada daerah berlimbah yang mengandung suatu kontaminan. Sedangkan **rhizofiltrasi** adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan (Surtikanti, 2011 :146-148).

Tumbuhan dapat berperan dalam mempercepat proses remediasi pada lokasi yang tercemar. Hal ini dapat menjadi dalam berbagai cara, antara lain:

1. Sebagai *solar driven-pump* dan *treat system*, yaitu: proses penarikan polutan ke daerah rhizosfer dengan bantuan sinar matahari.
2. Sebagai biofilter, yaitu: tumbuhan yang dapat mengadsorpsi dan membiodegradasi kontaminan yang berbeda di udara, air, dan daerah buffer. Proses adsorpsi ini bersifat menyaring kontaminan.
3. Transfer oksigen dan menurunkan *water table*. Tumbuhan dengan sistem perakaran dapat berfungsi sebagai transfer oksigen bagi mikroorganisme

dan dapat menurunkan *water table* sehingga difusi gas dapat terjadi.

Fungsi ini biasanya dilakukan oleh tanaman apabila kontaminannya bersifat *biodegradable*.

4. Penghasil sumber karbon dan energi. Tumbuhan dapat berperan sebagai sumber penghasil karbon dan energi alternatif yaitu dengan cara mengeluarkan eksudat atau metabolisme oleh akar tumbuhan. Eksudat tersebut dapat digunakan oleh mikroorganisme tanah sebagai sumber karbon dan alternatif sebelum mikroorganisme tersebut menggunakan polutan sebagai sumber karbon dan energi.

Surtikanti (2011:148-149), mendeskripsikan jenis-jenis tumbuhan yang digunakan dalam berbagai aplikasi fitoremediasi sebagai berikut:

Tabel 2.1. Jenis-jenis tanaman untuk aplikasi fitoremediasi

| No | Aplikasi               | Media   | Kontaminan   | Jenis Tanaman   |
|----|------------------------|---|--|---|
| 1  | Fitoremediasi          | Tanah, air tanah, <i>landfill leachate</i> , air limbah | a. Herbisida<br>b. Aromatik (BTEX)<br>c. Chlorinate alphatics (TCE)<br>d. Nutrien ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ )<br>e. Limbah amunisi (TNT, RDX) | <i>Alfalfa, poplar, willow, aspen, gandum</i>   |
| 2  | Bioremediasi rhizosfer | Tanah, sedimen, air limbah                              | a. Kontaminan organik pestisida<br>b. PAH  | Murberry, apel, tumbuhan air  |
| 3  | Fitostabilisasi        | Tanah sedimen   | a. Logam (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U)<br>b. Hydrophobik organik (PAHs, dioxin, lurans, pentachlorofen)  | Tanaman yang memiliki sistem akar yang padat.<br>Rumput yang memiliki serat akar yang banyak.<br>Tanaman yang |

| No | Aplikasi      | Media  | Kontaminan   | Jenis Tanaman                                      |
|----|---------------|--|--|--|
|    |               |  | ol, DDT, dieldrin)   | dapat melakukan trenspirasi air yang lebih banyak. |
| 4  | Fitoekstraksi | Tanah, sedimen, <i>brownfields</i>                       | a. Logam metal (Pb,Cd, Zn, Ni, dan Cu)   | Bunga matahari, dandellon, mustard                 |
| 5  | Rhizofiltrasi | Air tanah, dan air limbah di danau atau air sumur buatan | a. Logam metal (Pb,Cd, Zn, Ni, dan Cu)<br>b. Radioaktif (Cs, Sr, dan U)<br>c. Senyawa organik hidrofobik | Tanaman air  |

Merujuk pada deskripsi di atas, penelitian ini lebih cocok berpedoman pada prinsip bioremediasi rhizosfer dan rhizofiltrasi karena jika dikaji dari segi media, kontaminan, jenis tanaman yang digunakan untuk bioremediasi sesuai dengan karakteristik permasalahan yang akan diteliti. Sementara itu, hasil penelitian Surtikanti (2005:174) menunjukkan bahwa tanaman *Impatiens sp*; *Cyperus sp*; dan *Rhoe discolor* efektif dalam menurunkan kadar oli dalam tanah. Hal ini ditunjang dengan pembentukan akar tanaman *Impatiens sp*. yang berperan pasif untuk pertumbuhan bakteri. Dengan adanya peningkatan populasi bakteri, maka proses remediasi ini dapat berlangsung dengan cepat dengan adanya bantuan bakteri tersebut.

Bioremediasi *in situ* disebut juga bioremediasi dasar atau *natural attenuation*. Teknologi ini memanfaatkan kemampuan mikroba indigen dalam merombak polutan di lingkungan. Proses ini terjadi dalam tanah secara alamiah di dalam tanah secara alamiah dan berjalan sangat lambat. Bioremediasi *in situ*

Merupakan metode dimana mikroorganisme diaplikasikan langsung pada tanah atau air dengan kerusakan yang minimal. Bioremediasi (*in situ bioremediation*) juga terbagi atas:

- a. *Biostimulasi/Bioventing*: dengan penambahan nutrient (N, P) dan aseptor elektron ( $O_2$ ) pada lingkungan pertumbuhan mikroorganisme untuk menstimulasi pertumbuhannya.
- b. *Bioaugmentasi*: dengan menambahkan organisme dari luar (*exogenous microorganism*) pada subpermukaan yang dapat mendegradasi kontaminan spesifik.
- c. *Biosparging*: dengan menambahkan injeksi udara dibawah tekanan ke dalam air sehingga dapat meningkatkan konsentrasi oksigen dan kecepatan degradasi.

Sementara bioremediasi *ex situ* dikenal sebagai metode dimana mikroorganisme diaplikasikan pada tanah atau air terkontaminasi yang telah dipindahkan dari tempat asalnya. Teknik *ex situ* terdiri atas:

- a. *Landfarming*: teknik dimana tanah yang terkontaminasi digali dan dipindahkan pada lahan khusus yang secara periodik diamati sampai polutan terdegradasi.
- b. *Composting*: teknik yang melakukan kombinasi antara tanah terkontaminasi dengan tanah yang mengandung pupuk atau senyawa organik yang dapat meningkatkan populasi mikroorganisme.
- c. *Biopiles*: merupakan perpaduan antara *landfarming* dan *composting*.
- d. *Bioreactor*: dengan menggunakan aqueous reaktor pada tanah atau air yang terkontaminasi.



## B. Tumbuhan *Marsilea crenata* Presl

Semanggi adalah sekelompok paku air (Salviniales) dari marga *Marsilea* yang di Indonesia mudah ditemukan di pematang sawah atau tepi saluran irigasi. Morfologi tumbuhan marga ini khas, karena bentuk entalnya yang menyerupai payung yang tersusun dari empat anak daun yang berhadapan. Akibat bentuk daunnya ini, nama “Semanggi” dipakai untuk beberapa jenis tumbuhan dikotil yang bersusunan daun serupa, seperti *klover*. Semua anggotanya heterospor, memiliki dua tipe spora yang berbeda kelamin. Daun tumbuhan ini (biasanya *M. crenata*) biasa dijadikan bahan makanan yang dikenal sebagai pecel semanggi, khas dari daerah Surabaya. Organ penyimpan spora (disebut sporokarp) *M. drummondii* juga dimanfaatkan oleh penduduk asli Australia (aborigin) sebagai bahan makanan. Semanggi *M. crenata* diketahui mengandung fitoestrogen (estrogen tumbuhan) yang berpotensi mencegah osteoporosis. Tumbuhan ini juga berpotensi sebagai tumbuhan bioremediasi, karena mampu menyerap logam berat Cd dan Pb. Kemampuan ini perlu diwaspadai dalam penggunaan daun semanggi sebagai bahan makanan, terutama bila daunnya diambil dari lahan tercemar logam berat. Habitat tumbuhan ini pada tempat yang terkena sinar matahari atau agak rindang pada dataran rendah hingga ketinggian 3000 m dpl. Bagian tanaman yang digunakan adalah seluruh bagian tumbuhan. Kandungan kimia berupa minyak atsiri; saponin; zat samak.

### **Klasifikasi**

Kingdom : Plantae (Tumbuhan)

Subkingdom : Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)

Divisi : Pteridophyta (paku-pakuan)

Kelas : Pteridopsida

Ordo : Salviniiales

Famili : Marsileaceae

Genus : Marsilea

Spesies : *Marsilea crenata* Presl

Sekitar 35 spesies, diantaranya adalah *M. crenata*, *M. quadrifolia*, *M. drummondli*, *M. macrocarpa*, *M. exarata*.

Semanggi atau paku bernama ilmiah *Marsilea crenata* Presl adalah tanaman yang termasuk kedalam famili Marsiliaceae. Deskripsi menurut buku flora adalah tumbuhan dengan daun berdiri sendiri atau dalam berkas, menjari berbilang 4, tangkai daun panjang dan tegak, panjang 2-30 cm, anak daun menyilang, berhadapan, berbentuk baji bulat telur, gundul atau hampir gundul, dengan panjang 3-22 cm dan lebar 2-18 cm, urat daun rapat berbentuk kipas, pada air yang tidak dalam muncul diatas air. Biasanya di temukan di sawah, selokan dan genangan air dangkal.



Gambar 2.2. Tumbuhan semanggi  
(Nuryadin, 2012)

### C. Karakteristik limbah tahu

Sebagian besar industri tahu merupakan industri kecil (*home industry*), yang notabene adalah masyarakat pedesaan dengan tingkat pendidikan yang relatif rendah, maka operasional pengolahan air limbah menjadi salah satu pertimbangan yang cukup penting. Untuk pengolahan air limbah industri tahu biasanya dipilih sistem dengan operasional pengolahan yang mudah dan praktis serta biaya pemeliharaan yang terjangkau.

Pemilihan sistem pengolahan air limbah didasarkan pada sifat dan karakter air limbah tahu itu sendiri. Sifat dan karakteristik air limbah sangat menentukan didalam pemilihan sistem pengolahan air limbah, terutama pada kualitas air limbah yang meliputi parameter-parameter pH, COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*). Melihat karakteristik air limbah tahu diatas maka salah satu alternatif yang cukup tepat untuk pengolahan air buangan adalah dengan proses biologis. Cara ini relative sederhana dan tidak mempunyai efek samping yang serius. Merujuk pada baku mutu uji toksisitas akut (LC50 dan LD50) dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun, tingkatan racun B3 dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Tingkatan racun B3 (PPRI No. 74/2001)

| Urutan | Kelompok   | LD 50 mg/kg  |
|--------|--|--------------|
| 1      | Amat sangat beracun ( <i>Extremely toxic</i> )         | < 1          |
| 2      | Sangat beracun ( <i>Highly toxic</i> )                 | 1 – 50       |
| 3      | Beracun ( <i>Moderately toxic</i> )                    | 51 – 500     |
| 4      | Agak beracun ( <i>Slightly toxic</i> )                 | 501 – 5000   |
| 5      | Praktis tidak beracun ( <i>Practically non toxic</i> ) | 5001 – 15000 |
| 6      | Relatif tidak berbahaya ( <i>Relatively harmless</i> ) | > 15000      |

Sementara menurut APEA dan ERDC (1994:1), pengklasifikasian tingkat toksik untuk limbah adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3 . Tingkatan toksik menurut APEA dan ERDC

| Urutan | Kategori            | LC 50 mg/L   |
|--------|---------------------|--------------|
| 1      | Tidak toksik        | >100000      |
| 2      | Hamper tidak toksik | 10000-100000 |
| 3      | Rendah              | 1000-10000   |
| 4      | Sedang              | 100-1000     |
| 5      | Toksik              | 1-100        |
| 6      | Sangat toksik       | <1           |

#### D . Kelulushidupan Ikan Lele (*Clarias sp.*)

##### 1. Karakteristik ikan lele (*Clarias sp.*)

Ikan Lele termasuk dalam jenis ikan air tawar dengan ciri - ciri tubuh yang memanjang, agak bulat, kepala gepeng, tidak memiliki sisik, mulut besar, warna kelabu sampai hitam. Di sekitar mulut terdapat bagian nasal, maksila, mandibula luar dan mandibula dalam, masing-masing terdapat sepasang kumis. Hanya kumis bagian mandibula yang dapat digerakkan untuk meraba makanannya. Kulit lele dumbo berlendir tidak bersisik, berwarna hitam pada bagian punggung (dorsal) dan bagian samping (lateral). Sirip punggung, sirip ekor, dan sirip dubur merupakan sirip tunggal, sedangkan sirip perut dan sirip dada merupakan sirip ganda. Pada sirip dada terdapat duri yang keras dan runcing yang disebut patil. Patil lele dumbo tidak beracun (Suyanto, 2007:2). Lele juga memiliki alat pernafasan tambahan berupa modifikasi dari busur insangnya. Terdapat sepasang patil, yakni duri tulang yang tajam, pada siripsirip dadanya. Lele tidak pernah ditemukan di air payau atau air asin, kecuali lele laut yang tergolong ke dalam marga dan suku yang berbeda (*Ariidae*). Habitatnya di sungai

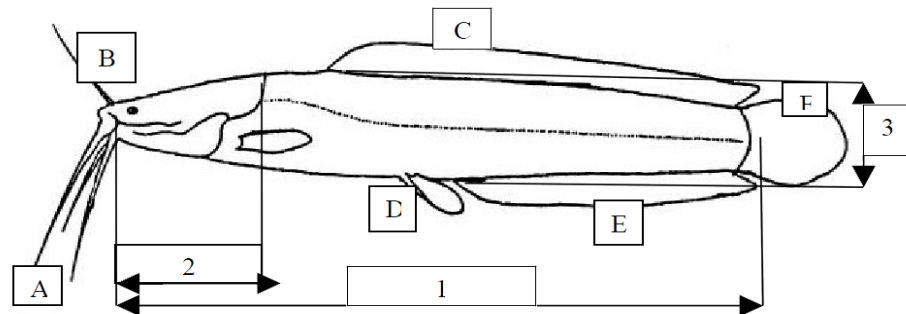
dengan arus air yang perlahan, rawa, telaga, waduk, sawah yang tergenang air.

Bahkan ikan lele bisa hidup pada air yang tercemar, misalkan di got-got dan selokan pembuangan. Ikan lele bersifat nokturnal, yaitu aktif bergerak mencari makanan pada malam hari. Pada siang hari, ikan lele berdiam diri dan berlindung di tempat gelap. Di alam, ikan lele memijah pada musim penghujan. (Suyanto:2007:1).

Ikan lele dumbo adalah jenis ikan hibrida hasil silangan antara *Clarias gariepinus* dengan *C. fuscus* dan merupakan ikan introduksi yang pertama kali masuk ke Indonesia pada tahun 1985. Secara biologis ikan lele dumbo mempunyai kelebihan dibandingkan dengan jenis lele lainnya, antara lain lebih mudah dibudidayakan dan dapat dipijahkan sepanjang tahun, fekunditas telur yang besar serta mempunyai kecepatan tumbuh dan efisiensi pakan yang tinggi. Ikan lele dumbo dicirikan oleh jumlah sirip punggung, sirip dada, sirip perut, sirip anal dan jumlah sungut 4 pasang, dimana 1 pasang diantaranya lebih besar dan panjang. Perbandingan antara panjang standar terhadap tinggi badan adalah 1:5-6 dan perbandingan antara panjang standar terhadap panjang kepala 1:3-4. Ikan lele dumbo memiliki alat pernapasan tambahan berupa *aborescen* yang merupakan kulit tipis, menyerupai spons, yang dengan alat pernapasan tambahan ini ikan lele dumbo dapat hidup pada air dengan kondisi oksigen yang rendah.



Gambar 2.3. Kelamin jantan dan betina ikan lele (*Clarias* sp.)



Gambar 2.4. Ikan lele dumbo (*Clarias* sp.)

Keterangan:

1 : Panjang Standar 2 : Panjang Kepala 3 : Tinggi Badan  
 A : Mandibular Barbel B : Maxilaris Barbel C : Sirip Perut  
 D : Sirip Pectoral E : Sirip Verbral F : Sirip Caudal

Klasifikasi ikan lele dumbo

Filum : Chordata

Kelas : Pisces

Subkelas : Teleostei

Ordo : Ostariophysi

Subordo : Siluroidae

Famili : Clariidae

Genus : *Clarias*

Spesies : *Clarias* sp. (Muchlisin, 2003:48)

## 2. Kelulushidupan ikan lele

*Survival rate* atau biasa dikenal dengan SR dalam perikanan budidaya merupakan indeks kelulushidupan suatu jenis ikan dalam suatu proses budidaya dari mulai awal ikan ditebar hingga ikan dipanen. nilai SR ini dihitung dalam bentuk angka persentase, mulai dari 0 – 100 %. Rumusnya yaitu:

$$SR = \frac{N2}{N1} \times 100\%$$

Keterangan:

SR: *Survival rate* (kelulushidupan)

N2: Jumlah individu pada akhir penelitian

N1: Jumlah individu pada awal penelitian (Muchlisin, 2003:107)

### D. Analisis Materi Pembelajaran

Salah satu alasan mempelajari biologi adalah untuk mengetahui lebih banyak mengenai diri kita dan bumi yang kita huui (Kimball, 1983: 4). Begitu juga penerapan konsep-konsep Biologi yang menjadi dasar untuk mengembangk teknologi untuk kehidupan sehari-hari dipelajari dalam sains biologi SMA. Dalam kurikulum 2006, materi pokok ekosistem diberikan kepada siswa SMA kelas X pada semester genap. Standar Kompetensi (SK) yang ditetapkan untuk materi pokok ekosistem ini adalah menganalisis hubungan antara komponen ekosistem, perubahan materi dan energi serta peranan manusia dalam keseimbangan ekosistem. Sedangkan Kompetensi Dasar (KD) yang dituntut bagi siswa yaitu

(1) menganalisis jenis-jenis limbah dan daur ulang limbah., (2) membuat produk daur ulang limbah.

Materi Pokok limbah dan daur ulang limbah ini meliputi beberapa uraian materi, antara lain: jenis-jenis limbah, desain alat daur ulang limbah, melakukan daur ulang limbah. Menurut Sadiman (2003:3) guru hanyalah satu dari begitu banyak sumber belajar yang dapat memungkinkan siswa belajar. Menurut *Association For Education Communication and Technology (AECT)* dalam Rohani (1997:108) sumber belajar diklasifikasikan menjadi 6 yaitu :

1. Pesan, yaitu informasi yang ditransmikan (diteruskan) oleh komponen lain dalam bentuk; ide, fakta, arti dan data.
2. Orang, yaitu manusia yang bertindak sebagai penyimpan, pegolah, penyaji pesan. Dalam kelompok ini misalnya: guru, dosen, tutor, peserta didik, tokoh masyarakat atau orang lain yang memungkinkan berinteraksi dengan peserta didik.
3. Bahan, yaitu perangkat lunak yang mengandung pesan untuk disajikan melalui penggunaan alat ataupun oleh dirinya sendiri, misalnya; transparansi, *slide, film, film strip, audio, video*, buku, modul, majalah, bahan instruktusional.
4. Alat, yaitu perangkat keras yang digunakan untuk menyampaikan pesan yang tersimpan dalam bahan. Misalnya; *proyektor slide, overhead, video tape*, pesawat radio, pesawat televisi dan lain-lain.



5. Teknik, yaitu prosedur atau acuan yang disiapkan untuk menggunakan bahan, peralatan, orang dan lingkungan untuk menyampaikan pesan. contohnya instruktusinal terprogram, belajar sendiri, belajar tentang permainan simulasi, demonstrasi, ceramah, tanya jawab, dan lain-lain.
6. Lingkungan, yaitu situasi sekitar dimana pesan disampaikan, lingkungan biasanya bersifat fisik (gedung sekolah, kampus, perpustakaan, laboratorium, studio, auditorium, museum, taman) maupun lingkungan non fisik (suasana belajar, dan lain-lain).

Berdasarkan uraian di atas diketahui bahwa guru bukan satu-satunya sumber belajar, sehingga diperlukan sumber belajar alternatif untuk mencapai ketuntasan belajar siswa.

Lembar Kerja Siswa merupakan buku yang berisikan tugas-tugas siswa.

Aplikasi suatu penelitian dalam bentuk Lembar Kegiatan Siswa ada dua macam, yaitu lembar kegiatan siswa ekperimen dan non ekperimen.

Lembar Kerja Siswa ekperimen yaitu lembar kegiatan siswa dimana siswa menguji pengaruh suatu varabel terhadap varabel lainnya, sedangkan LKS non eksperimen hanya menampilkan data atau hasil yang diperoleh dari suatu penelitian.

Penggunaan LKS memungkinkan siswa untuk lebih memahami sebuah pembelajaran. hal ini dikarenakan siswa berperan langsung dalam pembelajaran sehingga mereka mendapat pengalaman sendiri kegiatan pembelajaran. Menurut Hamalik (2004:212) manfaat dari sebuah

pengalaman belajar adalah: (1) menambah rasa percaya diri dan partisipasi aktif peserta didik, (2) menimbulkan interaksi yang positif antar sesama peserta didik. Menurut NSTA (*National Science Teacher Association*) (2005) salah satu standar sains adalah sains sebagai cara penyelidikan (*science as inquiry*). Standar ini menyatakan pentingnya melatih anak melakukan “penyelidikan” terhadap berbagai fenomena alam. Observasi, eksplorasi, dan eksperimentasi melakukan pengukuran, menggunakan bilangan, dan melakukan klasifikasi merupakan kegiatan belajar sains melalui proses *inquiry*. Untuk memandu siswa melakukan proses inkuiri sains digunakanlah Lembar Kerja Siswa (LKS).

LKS merupakan bagian dari enam perangkat pembelajaran. Para guru di negara maju, seperti Amerika Serikat mengembangkan enam perangkat pembelajaran untuk setiap topik; di mana untuk IPA disebut *science pack*. Keenam perangkat pembelajaran tersebut adalah (1) *syllabi* (silabi), (2) *lesson plan* (RPP), (3) *hand out* (bahan ajar), (4) *student worksheet* atau Lembar Kerja Siswa (LKS), (5) media (*minimal power point*), dan (6) *evaluation sheet* (lembar penilaian). LKS merupakan lembaran di mana siswa mengerjakan sesuatu terkait dengan apa yang sedang dipelajarinya. Sesuatu yang dipelajari sangat beragam, seperti melakukan percobaan, mengidentifikasi bagian-bagian, membuat tabel, melakukan pengamatan, menggunakan mikroskop atau alat pengamatan lainnya dan menuliskan atau menggambar hasil pengamatannya, melakukan pengukuran dan mencatat data hasil pengukurannya, menganalisis data hasil pengukuran, dan menarik

kesimpulan. Untuk mempermudah siswa melakukan proses-proses belajar, digunakanlah LKS.

Beberapa definisi LKS muncul terkait dengan kegiatan belajar tersebut, seperti (1) *a sheet of paper used for the preliminary or rough draft of a problem, design, etc.*, (2) *a piece of paper recording work being planned or already in progress*, (3) *a sheet of paper containing exercises to be completed by a pupil or student*. Menurut definisi di atas, LKS adalah selembar kertas untuk (1) menyusun skema pemecahan masalah atau membuat desain., (2) mencatat data hasil pengamatan., dan (3) lembar diskusi/latihan kerja siswa. Dahar (1986) menyatakan bahwa LKS adalah lembar kerja yang berisikan informasi dan interaksi dari guru kepada siswa agar dapat mengerjakan sendiri suatu aktifitas belajar, melalui praktek atau penerapan hasil-hasil belajar untuk mencapai tujuan intruksional.

LKS merupakan lembar kerja bagi siswa baik dalam kegiatan intrakurikuler maupun kokurikuler untuk mempermudah pemahaman terhadap materi pelajaran yang didapat (Azhar, 1993:78). LKS (Lembar Kerja Siswa) adalah materi ajar yang dikemas secara integrasi sehingga memungkinkan siswa mempelajari materi tersebut secara mandiri. Berdasarkan definisi di atas, LKS di dalam mata pelajaran yang berbeda akan berbeda pula bentuknya. LKS di dalam mata pelajaran IPA umumnya berisi panduan kegiatan penyelidikan atau eksperimen, tabel data, dan persoalan yang perlu didiskusikan siswa dari data hasil percobaan. LKS untuk mata pelajaran bahasa berisi latihan terkait dengan kemampuan membaca, menulis, mendengar dan berbicara. LKS untuk

pelajaran matematika bisa berisi persoalan matematika bergambar, persoalan cerita matematis, atau operasi matematis. LKS untuk pelajaran seni lukis dapat berisi latihan mewarnai, menggambar, dan ekspresi seni. Dengan demikian, LKS berbeda-beda bentuknya antarmatapelajaran yang berbeda.

LKS untuk siswa SD, SMP, dan SMA atau bahkan perguruan tinggi juga berbeda-beda. LKS untuk SD biasanya sederhana dan bergambar. Hal itu disesuaikan dengan tingkat perkembangan mental anak yang masih bersifat operasional konkrit. Untuk siswa sekolah menengah, LKS lebih abstrak sesuai dengan tingkat perkembangan mental mereka yang menurut Piaget (1970:1) sudah mampu berfikir formal. LKS memiliki beberapa fungsi sebagai berikut:

1. Sebagai panduan siswa di dalam melakukan kegiatan belajar, seperti melakukan percobaan. LKS berisi alat dan bahan serta prosedur kerja.
2. Sebagai lembar pengamatan, di mana LKS menyediakan dan memandu siswa menuliskan data hasil pengamatan.
3. Sebagai lembar diskusi, di mana LKS berisi sejumlah pertanyaan yang menuntun siswa melakukan diskusi dalam rangka konseptualisasi. Melalui diskusi tersebut siswa dilatih membaca dan memaknakan data untuk memperoleh konsep-konsep yang dipelajari.
4. Sebagai lembar penemuan (*discovery*), di mana siswa mengekspresikan temuannya berupa hal-hal baru yang belum pernah ia kenal sebelumnya.
5. Sebagai wahan untuk melatih siswa berfikir lebih kritis dalam kegiatan belajar mengajar.

Menurut *Association For Education Communication and Technology* (AECT) (dalam Pidiro, 2008), menyatakan bahwa salah satu sumber belajar yang dapat digunakan adalah dalam bentuk bahan yaitu buku berisi lembar kegiatan siswa. Materi pokok ekosistem sub materi pokok limbah dan daur ulang limbah diduga lebih cocok dibelajarkan dengan metode praktikum. Berbagai penelitian terbaru menunjukkan bahwa siswa lebih terlibat dalam pembelajaran ketika materi disajikan dengan strategi pembelajaran aktif.

Guru harus pandai dalam memilih sumber belajar karena dalam proses belajar mengajar ada sejumlah nilai yang disampaikan kepada anak didik. Nilai-nilai tersebut terambil dari berbagai sumber belajar yang dipakai dalam proses belajar mengajar. Sumber belajar adalah segala macam yang ada di luar diri seseorang (peserta didik) dan yang memungkinkan (memudahkan) terjadinya proses belajar (Rohani, 1997:102). Sumber-sumber belajar itulah yang memungkinkan kita berubah dari tidak tahu menjadi tahu, dari tidak mengerti menjadi mengerti, dari tidak trampil menjadi trampil (Rohani. 1997:102). Menurut *Association For Education Communication and Technology* (AECT) dalam Rohani (1997:108) salah satu sumber belajar yang dapat digunakan adalah dalam bentuk bahan yaitu buku berisi lembar kegiatan siswa.

Sejalan dengan hal tersebut, Woolnough & Allsop (dalam Rustaman, *et al.*, 2003) mengemukakan empat alasan pentingnya kegiatan praktikum IPA, khususnya biologi yaitu: (1) praktikum dapat membangkitkan motivasi belajar IPA bagi siswa, karena siswa diberi kesempatan untuk memenuhi dorongan rasa ingin tahu dan ingin bisa; (2) praktikum dapat

mengembangkan keterampilan dasar melakukan eksperimen; (3) praktikum dapat menjadi wahana belajar pendekatan ilmiah; (4) praktikum dapat menunjang materi pelajaran. Kegiatan praktikum memberikan kesempatan kepada siswa untuk membuktikan teori bahkan menemukan teori. Selain itu, praktikum dalam pelajaran biologi dapat membentuk ilustrasi bagi konsep dan prinsip biologi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini akan diterapkan dalam bentuk penuntun praktikum untuk memfasilitasi pembelajaran biologi siswa. Selain itu seorang guru dalam kegiatan belajar-mengajar harus memiliki strategi agar anak didik dapat belajar secara efisien, mengena pada tujuan yang diharapkan. Salah satu langkah untuk memiliki strategi itu adalah harus menguasai teknik-teknik penyajian atau biasanya disebut metode mengajar. Jadi, metode adalah strategi pengajaran sebagai alat untuk mencapai tujuan (Djamarah dan Zain, 2006).