

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Fitoremediasi**

#### **2.1.1. Definisi Fitoremediasi**

Fitoremediasi berasal dari kata *phyto* yang merupakan bahasa Yunani, berarti tanaman/tumbuhan, dan kata *remidium* yang merupakan bahasa latin yang berarti untuk menghilangkan (Gosh and Singh, 2005; Varun et al., 2015) sehingga bisa dikatakan fitoremediasi sebagai suatu upaya untuk membuat kondisi lingkungan menjadi lebih baik (EPA, 2011). Sementara definisi dari fitoremediasi menurut EPA (2011) adalah “*Proses mengurangi pencemar kimia di dalam tanah melalui akar tanaman*”. Demikian pula USGS (2011) yang menerangkan definisi fitoremediasi sebagai “*penggunaan tanaman untuk meremediasi pencemar melalui asupan air yang terkontaminasi (proses transpirasi) oleh tanaman*”

Berdasarkan definisi di atas, maka dapat dijelaskan bahwa fitoremediasi merupakan sebuah teknologi untuk proses penghilangan, pemindahan, penstabilan atau penghancuran bahan pencemar baik senyawa organik maupun anorganik pada tanah, limbah, kolam dengan menggunakan vegetasi (EPA, 2000; Komives and Gullner, 2006; Sasi, 2011).

#### **2.1.2. Keunggulan dan Kelemahan Metode Fitoremediasi**

Metode Fitoremediasi digunakan pertama kali di Negara Jerman sekitar 300 tahunan yang lalu (Sasi, 2011). Fitoremediasi merupakan teknologi yang memiliki keunggulan yang sangat menarik perhatian karena efisiensi biaya yang dikeluarkan. Metode ini mampu menghemat biaya hingga 75% dibandingkan dengan metode konvensional, daripada biaya menggunakan metode konvensional dalam mengurangi limbah (Henry, 2000; Lasat, 2000;

Sasi, 2011). Di samping itu, keunggulan lainnya yang dimiliki oleh metode ini adalah tanaman sebagai objek utama mudah tumbuh tanpa diperlukan suatu kemampuan dan keterampilan khusus (Sasi, 2011), mudah dimonitor, mengurangi kontak pekerja terhadap limbah bahan kimia berbahaya (EPA, 2001 ) dan menambah keindahan pada lokasi remediasi (Sasi, 2011).

Namun, di balik keunggulan yang dimiliki oleh metode fitoremediasi, terdapat pula beberapa kekurangan sebagaimana tertera di dalam Tabel 1.

Tabel 1. Keunggulan dan Kelemahan Metode Fitoremediasi

| No. | Keunggulan                                                                                                  | Kelemahan                                                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Dapat menyerap berbagai senyawa organik dan atau organik                                                    | Terbatas pada lokasi dengan kontaminasi yang dangkal dalam daerah yang dapat dijangkau oleh akar tanaman remediasi    |
| 2.  | Dapat diaplikasikan secara <i>in-situ/ex-situ</i>                                                           | Memerlukan waktu yang lama (beberapa tahun) untuk meremediasi daerah terkontaminasi                                   |
| 3.  | Aplikasi <i>in-situ</i> dapat menurunkan jumlah gangguan pada tanah dibandingkan dengan metode konvensional | Terbatas pada daerah dengan konsentrasi rendah                                                                        |
| 4.  | Mampu mengurangi limbah dalam jumlah yang besar                                                             | Biomasa tanaman yang dipanen dari fitoekstraksi diklasifikasikan sebagai limbah berbahaya RCRA                        |
| 5.  | Aplikasi <i>in-situ</i> menurunkan sebaran kontaminan yang melalui udara dan air                            | Bioakumulasi polutan seperti logam berat di dalam rantai makanan apabila vegetasi dimakan oleh konsumen tingkat kedua |
| 6.  | Tidak memerlukan peralatan yang mahal dan keterampilan operator yang tinggi dan khusus                      | Tergantung pada kondisi iklim                                                                                         |
| 7.  | Mudah diimplementasikan                                                                                     | Pengenalan jenis-jenis yang tidak alami dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati                                      |
| 8.  | biaya yang diperlukan lebih murah dibandingkan dengan metode konvensional                                   | Perlu diperhatikan konsumsi jaringan tanaman yang terkontaminasi                                                      |
| 9.  | Ramah lingkungan dan menambah keindahan                                                                     |                                                                                                                       |
| 10. | Mudah dimonitor                                                                                             |                                                                                                                       |
| 11. | Dampak dan kerusakan yang ditimbulkan lebih rendah karena menggunakan makhluk hidup                         |                                                                                                                       |

Sumber: Henry, 2000; Lasat, 2000; EPA, 2001; Mwegoha, 2008; Jadia and Fulekar, 2009; Sasi, 2011

### **2.1.3. Desain Fitoremediasi**

Desain fitoremediasi mencakup kesesuaian dan kinerja fitoremediasi terhadap kontaminan. Desain fitoremediasi bervariasi dari suatu lokasi dengan lokasi lainnya, yang tergantung pada kondisi lokasi seperti jenis tanah, sifat dan konsentrasi kontaminan, ukuran dan kedalaman daerah yang terkontaminasi (EPA, 2001b; Hettiarachchi et al., 2012); serta jenis yang akan digunakan dalam fitoremediasi (Schnoor, 1997; EPA, 2001b). Hasil analisis ini akan membantu dalam pemilihan jenis tanaman, mekanisme fitoremediasi yang akan digunakan, rancangan pola dan kerapatan vegetasi yang akan ditanam, serta pemeliharaan terhadap tanaman dan daerah yang terkontaminasi di masa mendatang; tingkat pengambilan kontaminan dan waktu yang diperlukan untuk meremediasi lahan terkontaminasi serta analisis terhadap faktor yang dapat menimbulkan kegagalan fitoremediasi (Schnoor, 1997; Hettiarachchi et al., 2012). Hasil analisis tersebut tertuang di dalam sebuah desain fitoremediasi (Schnoor, 1997).

#### **2.1.3.1. Kesesuaian dalam Fitoremediasi**

Uji kesesuaian fitoremediasi merupakan tahap awal yang diperlukan sebelum melaksanakan fitoremediasi. Tahap ini merupakan tahap penting yang dilaksanakan untuk meminimalisasi dan mencegah adanya variabel-variabel yang dapat menimbulkan kegagalan fitoremediasi (Barbafieri et al., 2013). Tahap ini dilakukan terhadap daerah yang terkontaminasi untuk mengetahui sifat dan tingkat dari kontaminan sehingga dapat ditentukan apakah remediasi terhadap daerah tersebut diperlukan atau tidak (Hettiarachchi et al., 2012; Barbafieri et al., 2013).

Studi pendahuluan yang dilakukan meliputi analisis terhadap sifat tanah dan kontaminan (Barbafieri et al., 2013). Selanjutnya dilakukan perkiraan resiko (*risk assesment*) dari

fitoremediasi yang mencakup evaluasi terhadap sifat, tingkat dan kedalaman kontaminan, tingkat kontaminan di dalam tanah, makanan atau air yang melebihi ambang batas serta mengevaluasi bahaya yang ditimbulkan terhadap manusia dan ekologi (Hettiarachchi et al., 2012).

## **A. Sifat Fisik dan Kimia Tanah**

### **A.1. Sifat Fisik Tanah**

Sifat fisik tanah yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesuburan tanah antara lain tekstur, bobot isi (bulk density), porositas, dan permeabilitas tanah. Tekstur tanah menyatakan kisaran ukuran partikel penyusun tanah di mana Tanah pasir memiliki partikel berukuran besar dengan diameter 2 mm hingga 0,05 mm, tanah lempung terdiri dari partikel berukuran sedang yang merupakan fraksi berukuran terkecil, sedangkan tanah liat memiliki partikel berukuran  $< 0,002$  mm yang merupakan fraksi koloid (Hillel, 1998). Tekstur tanah menunjukkan perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat yang mempengaruhi sifat tanah lainnya seperti Kapasitas Tukar Kation, bahan organik, kadar air, drainase, permeabilitas, struktur tanah, konsistensi dan erodibilitas (Mustafa dkk, 2012).

Bobot isi memberikan petunjuk tentang kepadatan tanah (Mustafa dkk., 2012) yang berhubungan erat dengan porositas yaitu berbanding terbalik dengan porositas (Foth, 1990). Bobot isi dipengaruhi oleh tekstur tanah, densitas tanah, bahan organik, di mana bobot isi menentukan kemampuan tanah untuk berfungsi sebagai penunjang struktur tanah, pergerakan air dan larutan serta aerasi tanah (USDA, 2008).

Porositas dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah, yang ditentukan berdasarkan ukuran pori, di mana tanah berpasir memiliki porositas yang lebih kecil daripada tanah liat karena memiliki pori kasar dengan jumlah yang lebih banyak sehingga tidak dapat menahan

air (Foth, 1990). Pori tanah terisi oleh udara dan air, di mana pori kasar terisi oleh udara dan pori halus terisi oleh udara (Mustafa dkk., 2012).

Permeabilitas tanah menyatakan tingkat pergerakan air di dalam tanah (Bendixen, 1948). Balitanah (2005) mengklasifikasikan permeabilitas dengan kriteria sebagai berikut: permeabilitas sangat lambat dengan tingkat permeabilitas  $< 0,125$  cm/jam, permeabilitas lambat dengan nilai  $0,125 - 5$  cm/jam, permeabilitas agak lambat dengan nilai  $0,5 - 2,0$  cm/jam, permeabilitas sedang dengan nilai  $2,0 - 6,4$  cm/jam, permeabilitas agak cepat dengan nilai  $6,4 - 12,7$  cm/jam, permeabilitas cepat dengan nilai  $12,7 - 25,4$  cm/jam dan permeabilitas sangat cepat dengan nilai  $< 25,4$  cm/jam. Permeabilitas yang baik untuk kesuburan tanah adalah permeabilitas yang termasuk kriteria sedang.

## A.2. Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah yang digunakan untuk menentukan tingkat kesuburan tanah mencakup pH tanah, bahan organik, kation yang terdiri dari  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ , Kapasitas Tukar Kation (KTK), kejenuhan basa, kandungan N, P, K, serta karbon, rasio C/N. Kriteria penilaian sifat kimia tanah untuk tanah pertanian (Balitanah, 2005) terlihat di dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Kimia Tanah untuk Tujuan Pertanian

| No | Sifat Kimia Tanah            | Kriteria      |            |             |             |               |
|----|------------------------------|---------------|------------|-------------|-------------|---------------|
|    |                              | Sangat Rendah | Rendah     | Sedang      | Tinggi      | Sangat Tinggi |
| 2. | Kation Basa                  |               |            |             |             |               |
| a. | $\text{Na}^+$ (meq/100 g)    | $< 0,1$       | 0,1 - 0,3  | 0,4 - 0,7   | 0,8 - 1,0   | $> 0,1$       |
| b. | $\text{K}^+$ (meq/100 g)     | $< 0,1$       | 0,1 - 0,3  | 0,4 - 0,5   | 0,6 - 1,0   | $> 1,0$       |
| c. | $\text{Ca}^{2+}$ (meq/100 g) | $< 2,0$       | 2,0 - 5    | 6,0 - 10    | 11,0 - 20,0 | $> 20,0$      |
| d. | $\text{Mg}^{2+}$ (meq/100 g) | $< 0,4$       | 0,4 - 1,0  | 1,1 - 2,0   | 2,1 - 8,0   | $> 8,0$       |
| 3. | KTK (meq/100 g)              | $< 5,0$       | 5,0 - 16,0 | 17,0 - 24,0 | 25,0 - 40,0 | $> 40,0$      |
| 4. | Kejenuhan Basa (%)           | $< 20$        | 20 - 35,0  | 36,0 - 50,0 | 51,0 - 70,0 | $> 70,0$      |
| 5. | K (ppm)                      | $< 10$        | 10 - 16,0  | 17,0 - 28,0 | 29,0 - 47,0 | $> 47,0$      |
| 6. | P (ppm)                      | $< 4,0$       | 4,0 - 6,0  | 7,0 - 11,0  | 11,0 - 15,0 | $> 15,0$      |
| 7. | N (%)                        | $< 0,1$       | 0,1 - 0,2  | 0,21 - 0,5  | 0,51 - 0,75 | $> 0,75$      |
| 8. | C (%)                        | $< 1,0$       | 1,0 - 2,0  | 2,0 - 3,0   | 3,0 - 5,0   | $> 5,0$       |
| 9. | Rasio C/N                    | $< 5,0$       | 5,0 - 10,0 | 11,0 - 15,0 | 16,0 - 25,0 | $> 25,0$      |

Sumber : Balitanah (2005)

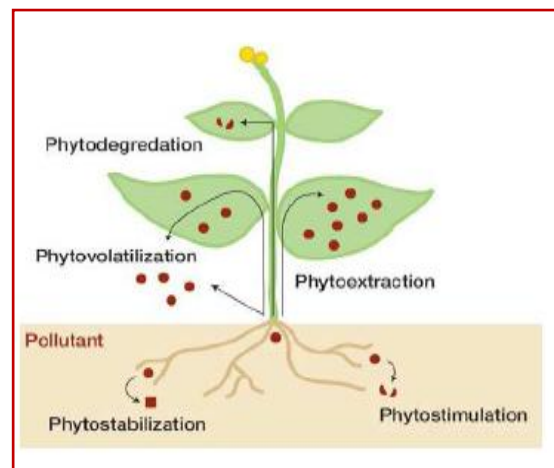
Tanah yang memiliki kesuburan tanah yang baik adalah tanah yang memiliki sifat kimia dengan kriteria pH netral, kation  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  serta kandungan K dan KTK yang sedang hingga tinggi,  $Na^+$  sangat rendah hingga sedang, kejenuhan basa tinggi hingga sangat tinggi, Kandungan N, C dan rasio C/N sedang, P yang sedang hingga sangat tinggi (Balitanah, 2005).

## B. Mekanisme Fitoremediasi

Desain fitoremediasi harus memuat mekanisme yang akan digunakan pada fitoremediasi. Wong (2004) menjelaskan bahwa mekanisme kerja Fitoremediasi meliputi *fitoekstraksi*, *fitovolatilisasi*, *fitodegradasi*, *fitostabilisasi*, *rhizofiltrasi* dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan (Wong, 2004). Lebih lanjut dijelaskan bahwa metode yang paling banyak digunakan pada tanah yang terkontaminasi adalah fitodegradasi atau fitoekstraksi.

### B.1. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah melalui akar yang kemudian disimpan di bagian tajuk tanaman. Jenis tanaman ini disebut sebagai *hiperakumulator* (Mwegoha, 2008; Jadia and Fulekar, 2009). Setelah polutan terakumulasi, akar dan tajuk tanaman bisa dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus dimusnahkan dengan insinerator kemudian ditimbun (Jadia and Fulekar, 2009).



Tanaman yang digunakan untuk fitoekstraksi harus mampu mentoleransi, Gambar 1. Penyerapan Polutan pada Tanaman dalam Proses Fitoremediasi (titik merah menunjukkan polutan) (Pilon and Smith, 2005 dalam Pereyra, 2006))

mentranslokasi dan mengakumulasi logam berat dalam kadar yang sangat tinggi di dalam tajuk dan daunnya, memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat dan produksi biomasa yang tinggi, dan tidak disukai oleh binatang (EPA, 2000a; Henry, 2000).

Fitoekstraksi dapat mengurangi polutan berupa logam, senyawa anorganik dan radionuklida (Mwegoha, 2008). Lebih lanjut dilaporkan oleh Jadia and Fulekar (2009) bahwa jenis tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*) dapat digunakan sebagai tanaman fitoekstraksi untuk mengurangi radionuklida (radioaktif Cesium-137 dan strontium-90) dalam tragedi nuklir Chernobyl serta mengurangi beberapa logam berat lainnya. Keberhasilan fitoekstraksi tergantung pada interaksi antara tanah, logam dan tanaman, yang dipengaruhi oleh kondisi iklim (Lasat, 2002).

## **B.2. Fitovolatilisasi**

Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut diubah menjadi bersifat menguap yang kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Disini, polutan yang diserap akan dilepaskan oleh tanaman ke udara (EPA, 2000a; Mwegoha, 2008).

Kontaminan logam utama yang telah berhasil ditransformasi adalah mercuric merkuri, di mana ion merkuri diubah menjadi Hg elemental yang kurang beracun. Namun, kelemahannya adalah merkuri yang dilepaskan ke atmosfer akan terdaur ulang melalui proses hujan dan redeposisi ke laut dan menghasilkan metil merkuri (Jadia dan Fulekar, 2009).

## **B.3. Fitodegradasi**

Fitodegradasi disebut juga sebagai fitotransformasi (Mueller et.al., 1999). Fitodegradasi merupakan penyerapan dan menghancurkan polutan melalui proses metabolisme di dalam

organ tanaman atau dapat pula menggunakan senyawa seperti enzim yang diproduksi oleh tanaman untuk menghancurkan polutan (Mueller et.al., 1999; EPA, 2000a) dan polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tanaman. Metabolisme ini melibatkan enzim antara lain *nitroductase*, *laccase*, *dehalogenase* dan *nitrilase*. Polutan yang didegradasi dalam teknologi ini adalah berupa senyawa organik termasuk nitroaromatik dan alifatik terklorinasi (Mwegoha, 2008).

Tanaman yang digunakan dalam fitodegradasi harus mampu menyerap polutan dan mampu mendegradasi polutan menjadi produk yang tidak beracun (EPA, 2000a). Lebih lanjut Mwegoha (2008) menerangkan bahwa jenis tanaman yang dapat digunakan untuk fitodegradasi adalah jenis pepohonan dan rerumputan.

#### **B.4. Fitostabilisasi**

Fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan di dalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam organ tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut akan tetap berada di dalam tanah (EPA, 2000a)

Persyaratan tanaman untuk fitostabilisasi adalah mampu menyerap logam atau kontaminan, tidak ada penyebaran logam ke tajuk dan akarnya memiliki pertumbuhan yang sangat cepat (EPA, 2000a).

Proses yang terjadi dalam fitostabilisasi meliputi penyerapan, presipitasi, kompleksasi dan pengurangan logam, di mana sangat efektif untuk mengurangi logam timbal, arsen, kadmium, krom, tembaga dan seng (Jadia dan Fulekar, 2009)



### **B.5. Rhizofiltrasi**

Rhizofiltrasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman yang umumnya dengan medium perairan dan konsentrasi polutan yang rendah (EPA 2000a; Mwegoha, 2008; Jadia and Fulekar, 2009). Persyaratan tanaman untuk rhizofiltrasi sama dengan tanaman untuk fitostabilisasi. Media yang dapat menggunakan teknologi ini adalah air bawah tanah, air permukaan dan air limbah dan tidak berfungsi dengan baik bila pada media tanah (EPA, 2000a; Jadia and Fulekar, 2008).

Henry (2000) menjelaskan tentang keuntungan dan kelemahan rhizofiltrasi. Keuntungan teknologi Rhizofiltrasi adalah dapat menggunakan jenis tanaman darat dan perairan secara in situ maupun *ex-situ* serta polutan tidak harus tersimpan di dalam tajuk. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan penyesuaian pH terlebih dahulu, tanaman harus terlebih dahulu ditanam di rumah kaca atau persemaian, pemanenan dan pembuangan tanaman dilakukan secara berkala, konstruksi tank harus dirancang secara baik serta diperlukan pemahaman mendalam tentang reaksi kimia yang terjadi.

### **C. Pemilihan Jenis**

Pemilihan jenis yang dapat digunakan untuk fitoremediasi harus memiliki sifat mampu mengabsorpsi logam melalui akar, mampu memindahkan logam tersebut dari akar ke daun, mampu menyimpan dan menggunakan logam yang diabsorpsi, dan mampu mengubah logam menjadi bentuk yang mudah diserap (Anand, 2010). Sementara itu, Wong (2004) menjelaskan bahwa jenis yang dapat digunakan untuk fitoremediasi adalah jenis yang mampu memproduksi biomasa yang tinggi karena semakin tinggi produksi biomasa maka semakin rendah jumlah konsentrasi logam di dalam jaringan tanaman tetapi dapat meningkatkan akumulasi logam secara keseluruhan. Di samping itu, jenis tanaman tersebut harus mampu

menyimpan logam di dalam daun (bukan di akar), agar mempermudah mengurangi logam tersebut dengan memangkas daun saja sehingga lebih efisien.

Sebaliknya, pada jenis-jenis tanaman cepat tumbuh (*fast growing species*) yang memiliki tingkat produksi biomasa tinggi biasanya memiliki sifat toleran dan bioakumulasi yang rendah terhadap logam berat (Kärenlampi et al., 2000). Lebih lanjut dijelaskan oleh Mwegoha (2008) bahwa vegetasi darat lebih efektif dalam mengurangi polutan dibandingkan dengan vegetasi perairan karena sistem perakaran vegetasi darat yang lebih besar. Selain itu, penggunaan pohon cepat tumbuh juga memberikan keuntungan berupa sistem perakaran yang dalam, produktifitas dan aktifitas transpirasi yang tinggi (Tlustoš et.al., 2006).

Pemilihan jenis tanaman harus memperhatikan pula aspek kelestarian keanekaragaman hayati tanaman endemik setempat, sehingga perlu dilakukan analisis vegetasi yang mencakup identifikasi jenis vegetasi yang ada di sekitar lokasi terkontaminasi, dominansi dan diversitas vegetasi.

### C.1. Identifikasi Jenis Vegetasi

Identifikasi jenis vegetasi yang tumbuh di sekitar daerah bekas tambang batubara mencakup jumlah individu, frekuensi ditemukannya vegetasi tersebut dan luas penutupan tajuk/bidang dasar (Indrayanto, 2006). Jumlah individu digunakan untuk menentukan kerapatan jenis vegetasi menggunakan rumus (Fachrul, 2007) :

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Jumlah individu}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$
$$\text{Kerapatan Relatif (KR)} = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis vegetasi}}{\text{Kerapatan seluruh jenis vegetasi}} \times 100\%$$

Frekuensi suatu jenis vegetasi digunakan untuk menyatakan intensitas ditemukannya suatu jenis vegetasi dalam pengamatan pada suatu komunitas. Frekuensi ditentukan menggunakan rumus (Indrayanto, 2006):

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Jumlah petak contoh ditemukannya suatu jenis vegetasi}}{\text{Jumlah seluruh petak contoh}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis vegetasi}}{\text{Frekuensi seluruh jenis vegetasi}} \times 100\%$$

Luas penutupan tajuk atau bidang dasar merupakan perbandingan antara luas tempat yang ditutupi oleh suatu jenis vegetasi dengan luas total habitat, dinyatakan dengan rumus (Michael, 1984):

$$\text{Luas Penutupan Tajuk atau bidang dasar} = \frac{\text{Luas penutupan tajuk atau bidang dasar}}{\text{luas seluruh petak contoh}}$$

$$\text{Luas Penutupan Relatif (CR)} = \frac{\text{Luas Penutupan suatu jenis vegetasi}}{\text{Penutupan seluruh jenis vegetasi}} \times 100\%$$

## C.2. Dominansi Vegetasi

Dominansi vegetasi ditentukan oleh indeks dominansi dan indeks nilai penting yang dimiliki oleh suatu vegetasi (Indrayanto, 2006). Indeks Nilai penting digunakan untuk menunjukkan kedudukan relatif spesies dalam komunitas sehingga dapat menyatakan tingkat dominansi jenis-jenis vegetasi dalam suatu komunitas (Indrayanto, 2006; Fachrul, 2007). Indeks Nilai Penting (INP) ditentukan dengan rumus (Michael, 1984) :

$$\text{INP} = \text{Kerapatan Relatif} + \text{Frekuensi Relatif} + \text{Luas Penutupan Relatif}$$

Indeks Dominansi menyatakan tingkat terpusatnya dominansi spesies dalam suatu komunitas, di mana semakin tinggi nilai Indeks Dominansi berarti dominansi terpusat pada satu spesies dan bila nilai Indeks Dominansi rendah berarti dominansi terpusat pada beberapa

spesies (Odum, 1993; Indrayanto, 2006). Indeks Dominansi ditentukan berdasarkan rumus (Odum, 1993) :

$$\text{Indeks Dominansi} = \sum \left( \frac{\text{Nilai Penting Tiap Jenis Vegetasi}}{\text{Total Nilai Penting}} \right)^2$$

### C.3. Diversitas Vegetasi

Diversitas vegetasi ditentukan dari Indeks Keragaman dan hukum frekuensi Raunkiaer. Keragaman spesies digunakan untuk menyatakan struktur komunitas dan stabilitas komunitas. Pengukuran Indeks Keragaman dapat menggunakan Indeks Shannon-Wiener, Indeks Margalef atau Indeks Simpson (Odum, 1993). Indeks Shannon-Wiener yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan rumus (Odum, 1993):

$$\text{Indeks Shannon – Wiener} = \sum \left\{ \left( \frac{\text{Nilai penting tiap jenis}}{\text{Total nilai penting}} \right) \times \log \left( \frac{\text{Nilai penting tiap jenis}}{\text{Total nilai penting}} \right) \right\}$$

Hukum Frekuensi Raunkiaer digunakan untuk menyatakan tingkat homogenitas suatu komunitas, yang terdiri dari: Kelas A dengan spesies berfrekuensi 1 – 20%; Kelas B dengan spesies berfrekuensi 21 – 40%; Kelas C dengan spesies berfrekuensi 61 – 80% ; Kelas D dengan spesies berfrekuensi 61 – 80% dan Kelas E dengan spesies berfrekuensi 81 - 100% (Raunkier, 1934 dalam Reddy and Ugle, 2008; Indrayanto, 2006). Kesimpulan berdasarkan hukum tersebut adalah bila  $A > B > C > = < D < E$  maka spesies penyusun komunitas tersebut terdistribusi normal; jika  $E > D$  serta A, B, dan C rendah maka komunitas tersebut bersifat homogen; sedangkan jika  $E < D$  serta A, B, dan C rendah maka komunitas tersebut terganggu dan sebaliknya bila B, C, dan D tinggi maka komunitas tersebut bersifat heterogen (Indrayanto, 2006).

### 2.1.3.2. Kinerja dalam Fitoremediasi

Pengamatan dan evaluasi terhadap kinerja tanaman sebagai remediator diperlukan untuk menentukan efektifitas dan efisiensi fitoremediasi (Green and Hoffnagle, 2004). Kinerja dalam fitoremediasi ditentukan berdasarkan kemampuan tanaman mengakumulasi kontaminan di dalam organ tubuhnya, muatan logam di dalam organ tanaman, efisiensi remediasi kontaminan (Ahmadpour et al., 2012). Pengamatan dan evaluasi kinerja dalam fitoremediasi meliputi perkembangan dan pertumbuhan tanaman, kerapatan dan kedalaman akar, evapotranspirasi, sisa kontaminan di dalam tanah, kandungan kontaminan di dalam tanaman, penguapan, kelembaban tanah, sifat mikroba tanah (Green and Hoffnagle, 2004)

Kemampuan tanaman dalam mengakumulasi kontaminan di dalam organ tubuh dari media tanam dinyatakan dengan Faktor Bioakumulasi (*Bioaccumulation Factor*/BAF) (Yoon et al., 2006; Ahmadpour, 2012). BAF ditentukan berdasarkan rasio antara konsentrasi kontaminan di dalam organ tanaman terhadap media tanam. Nilai BAF berkisar antara 0 hingga  $> 1$ , di mana nilai BAF  $> 1$  menunjukkan bahwa tanaman tersebut mampu mengakumulasi kontaminan di dalam organnya dan semakin tinggi nilai BAF maka semakin besar kemampuan tanaman tersebut mengakumulasi logam sehingga fitoremediasi menjadi semakin efisien (Yoon et al., 2006; Branzini and Zubillaga, 2013).

$$BAF = \frac{\text{Konsentrasi Kontaminan di dalam tanaman } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}})}{\text{Konsentrasi Kontaminan di tanah } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}})}$$

Faktor Translokasi (*Translocation Factor*/TF) merupakan kemampuan tanaman untuk menyerap kontaminan melalui akar dan kemudian mentranslokasikannya dari akar ke organ bagian atas tanaman (Ahmadpour et al., 2012). Nilai TF  $> 1$  menunjukkan bahwa tanaman tersebut mentranslokasikan kontaminan yang diserap ke organ bagian atas tanaman. TF

ditentukan berdasarkan perbandingan jumlah kontaminan yang ada di organ bagian atas tanaman terhadap jumlah kontaminan yang ada di akar (Maldonado-Magaña, 2011; Ahmadpour et al., 2012; Arifin et al., 2012; Branzini and Zubillaga, 2013).

$$TF = \frac{\text{Konsentrasi Kontaminan di organ bagian atas tanaman } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}})}{\text{Konsentrasi Kontaminan di akar } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}})}$$

## 2.2. Toksisitas Logam pada Tumbuhan dan Hewan

Logam terdapat di alam secara alami dan sangat dibutuhkan oleh tumbuh-tumbuhan dalam jumlah yang cukup sebagai nutrisi mikro dan makro. Keberadaan logam dalam konsentrasi tinggi pada tanah berdampak berkurangnya keragaman mikroorganisme yang berpengaruh terhadap kualitas tanah dan produktifitas primer. Komunitas mikroba tanah terdiri dari lebih dari 10.000 jenis archaea, bakteri, dan jamur yang memegang peranan penting dalam proses biogeokimia dan fungsi ekosistem. Fungsi utama mikroba tanah adalah untuk mendegradasi senyawa karbon alami yang ada di dalam tanah, sehingga dengan berkurangnya keragaman mikroorganisme dapat mengakibatkan kehilangan ketahanan vegetasi terhadap penyakit dan penurunan fungsi ekosistem (Ghorbani et.al., 2002; Crowley, 2008). Lebih lanjut dijelaskan oleh Ghorbani et.al (2002) bahwa kontaminasi logam mengakibatkan berkurangnya jumlah bakteri heterotrofik, penurunan aktifitas enzim dehidrogenase, hilangnya kemampuan tanah untuk mengikat nitrogen di atmosfer, menghambat kolonisasi bakteri pada permukaan tanah dan penurunan aktifitas pengikatan oksigen hingga 30% (Ghorbani et.al., 2002).

Toksisitas logam Cd lebih besar dibandingkan dengan Pb yaitu terjadinya penurunan yang signifikan terhadap jumlah populasi bakteri pada tanah terpapar Cd dibandingkan Pb (Abdousalam, 2010). Toksisitas logam pada hewan dan tumbuhan terlihat di Tabel 3.

Tabel 3. Toksisitas Logam pada Tumbuhan dan Hewan

| No. | Jenis Logam | Toksisitas                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                | Referensi                                                    |
|-----|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|     |             | Tumbuhan                                                                                                                                                                             | Hewan                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                              |
| 1.  | Aluminium   | Menghambat pertumbuhan akar dan kerusakan akar, perubahan selular dan ultrastruktural daun, peningkatan tingkat ketahanan difusi, penurunan aktifitas fotosintesis                   | Ikan: gangguan pertumbuhan dan paru-paru (pulmonary)                                                                                                                                                                                                                           | Delhaize and Ryan (1995); Vardar and Ünal (2007); EPA (2011) |
| 2.  | Arsen       | Klorosis, berwarna kecoklatan, dehidrasi, kematian dan menghambat penetrasi cahaya                                                                                                   | Karsinogen, teratogen, mutagen, kelelahan, gangguan saluran pencernaan, anemia, neuropathy, menghambat pertumbuhan dan kegagalan metabolisme                                                                                                                                   | EPA (2011)                                                   |
| 3.  | Kadmium     | Menghambat pertumbuhan                                                                                                                                                               | Tekanan darah tinggi, penyakit liver dan kerusakan otak atau syaraf, Gangguan pertumbuhan, karsinogen, mutagen dan teratogenik                                                                                                                                                 | EPA (2011)                                                   |
| 4.  | Tembaga     | Mengurangi fotosintesis, menghambat pertumbuhan, kehilangan pigmen fotosintesis, gangguan pada penyerapan potassium, kematian                                                        | Kematian, kehilangan natrium, gangguan liver, necrosis di ginjal dan otak, gangguan saluran pencernaan, tekanan darah rendah dan kematian janin                                                                                                                                | EPA (2011)                                                   |
| 5.  | Sianida     | -                                                                                                                                                                                    | Ikan: mengurangi reproduksi (jumlah sel telur dan ketahanan embrio dan larva), mengurangi kemampuan berenang, menghambat pertumbuhan                                                                                                                                           | WHO (2004); EPA (2007); EPA (2011)                           |
| 6.  | Timbal      | Mengganggu pertumbuhan, fotosintesis, mitosis dan penyerapan air                                                                                                                     | Mengganggu system syaraf, ginjal, liver, sterilitas, menghambat pertumbuhan, penurunan pertumbuhan, gangguan pada darah                                                                                                                                                        | EPA (2011)                                                   |
| 7.  | Mangan      | Penggelapan tulang daun, klorosis                                                                                                                                                    | Menurunkan Hb, anemia, menurunkan pertumbuhan                                                                                                                                                                                                                                  | Schubert (1992); EPA (2011)                                  |
| 8.  | Merkuri     | Kerusakan klorofil, penurunan pertumbuhan tunas dan akar, perubahan membrane ujung sel akar, mengurangi fotosintesis, respirasi, pengambilan air dan nutrisi serta sintesis klorofil | Gangguan system syaraf, iritabilita, gugup, rasa malu berlebih, insomnia, perubahan neuromusculan, kehilangan ingatan, penurunan fungsi kognitif, gagal fungsi paru-paru, peningkatan tekanan darah, gangguan fungsi hati, iritasi, gangguan system reproduksi, janin abnormal | EPA (2011)                                                   |
| 9.  | Nikel       | Klorosis, mengganggu nutrisi tanaman, fotosintesis, morfogenesis, menghambat pertumbuhan dan                                                                                         | Kerusakan jaringan, genotoksitasi dan menghambat pertumbuhan                                                                                                                                                                                                                   | Chen et al., (2009)                                          |
| 10. | Selenium    | Gangguan pertumbuhan                                                                                                                                                                 | Kehilangan keseimbangan, gangguan neurological, kerusakan hati, kegagalan reproduksi, penurunan pertumbuhan, mengurangi pergerakan, kerusakan kromosom, menurunkan Hb, dan meningkatkan jumlah sel darah putih dan nekrosis pada sel telur                                     | EPA (2011)                                                   |
| 11. | Seng        | Gangguan pertumbuhan, kemampuan bertahan hidup dan reproduksi                                                                                                                        | Gangguan pertumbuhan, kemampuan bertahan hidup dan reproduksi, kematian, kerusakan pancreas, menurunkan berat badan                                                                                                                                                            | EPA (2011)                                                   |

## 2.3. Regulasi dan Baku Mutu Logam di dalam Tanah

Kandungan logam berlebihan di dalam tanah dapat mengakibatkan dampak negatif bagi kehidupan, sehingga ditetapkan batas maksimum logam di dalam tanah. Beberapa baku mutu logam diperbolehkan di beberapa negara tertera di dalam Tabel 4, 5, 6, dan 7.

Tabel 4. Baku Mutu Batas Logam yang diperbolehkan di dalam Tanah

| No. | Jenis Logam Berat | Konsentrasi maksimum di dalam sludge (ppm) |
|-----|-------------------|--------------------------------------------|
| 1.  | Arsen (As)        | 75                                         |
| 2.  | Kadmium (Cd)      | 85                                         |
| 3.  | Kromium (Cr)      | 3000                                       |
| 4.  | Tembaga (Cu)      | 4300                                       |
| 5.  | Timbal (Pb)       | 420                                        |
| 6.  | Merkuri (Hg)      | 840                                        |
| 7.  | Molybdenum        | 57                                         |
| 8.  | Nikel (Ni)        | 75                                         |
| 9.  | Selenium (Se)     | 100                                        |
| 10. | Zinc (Zn)         | 7500                                       |

Sumber: EPA (1993)

Tabel 5. Standar Baku Mutu Logam pada Tanah di Jepang

| No. | Senyawa | Kebijakan Pengukuran Kontaminasi Tanah |                               | Kebijakan Pencegahan pada tanah Lahan Pertanian    |
|-----|---------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|
|     |         | Standar Konsentrasi tanah (mg/kg)      | Standar leachate tanah (mg/l) | Standar Konsentrasi (mg/kg)                        |
| 1.  | Cd      | $\leq 150$                             | $\leq 0,01$                   | < 1 dalam beras coklat<br>< 15 dalam tanah (sawah) |
| 2.  | As      | $\leq 150$                             | $\leq 0,01$                   |                                                    |
| 3.  | Cr (VI) | $\leq 250$                             | $\leq 0,05$                   |                                                    |
| 4.  | Pb      | $\leq 150$                             | $\leq 0,01$                   |                                                    |
| 5.  | Hg      | $\leq 15$                              | $\leq 0,0005$                 |                                                    |
| 6.  | Se      | $\leq 150$                             | $\leq 0,01$                   |                                                    |

Sumber: MOE Japan (1991)

Tabel 6. Batas yang Diperbolehkan bagi Beberapa Jenis Logam yang Berada di Dalam Tanah (ppm) di Beberapa Negara

| No. | Jenis Logam | Negara               |                     |                       |                         |                      |                     |                      |                    |                     |                    |
|-----|-------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|     |             | Austria <sup>a</sup> | Jerman <sup>a</sup> | Perancis <sup>a</sup> | Luxembourg <sup>a</sup> | Belanda <sup>a</sup> | Swedia <sup>a</sup> | Inggris <sup>a</sup> | China <sup>b</sup> | Taiwan <sup>c</sup> | Korea <sup>d</sup> |
| 1.  | Cd          | 1 - 2                | 1                   | 2                     | 1 - 3                   | 0,5                  | 0,4                 | 3                    | 0,2 - 1            | 20                  | 10 - 180           |
| 2.  | Cr          | 100                  | 60                  | 150                   | 100 - 200               | 30                   | 60                  | 400                  | 90 - 300           | 250                 | 15 - 120           |
| 3.  | Cu          | 60 - 100             | 40                  | 100                   | 50 - 140                | 40                   | 40                  | 135                  | 35 - 400           | 400                 | 500 - 6000         |
| 4.  | Ni          | 50 - 70              | 50                  | 50                    | 30 - 75                 | 15                   | 30                  | 75                   | 40 - 200           | 200                 | 200 - 1500         |
| 5.  | Pb          | 100                  | 70                  | 100                   | 50 - 300                | 40                   | 40                  | 300                  | 35 - 500           | 2000                | 400 - 2100         |
| 6.  | Zn          |                      |                     |                       |                         |                      |                     |                      | 100 - 500          | 2000                | 600 - 5000         |

Sumber: <sup>a</sup>Amlinger et al. (2004); <sup>b</sup>Ministry of Environmental Protection of Republic China (1995); <sup>c</sup>Environmental Protection Administration (2006); <sup>d</sup>Ministry of Environment of Korea, (2010): tergantung pada tingkat kontaminasi tanah dan potensi kerusakannya



Tabel 7. Konsentrasi Logam Maksimum yang Diperbolehkan pada Tanah Pertanian (ppm)

| Unsur | Austria <sup>1</sup> | Polandia <sup>1</sup> | Jerman <sup>1</sup> |      | Rusia <sup>1</sup> | Inggris <sup>1</sup> | Amerika <sup>1</sup> |      | European Communities <sup>1</sup> | Kanada <sup>2</sup> |
|-------|----------------------|-----------------------|---------------------|------|--------------------|----------------------|----------------------|------|-----------------------------------|---------------------|
|       | 1977                 | 1977 & 1993           | 1984                | 1992 | 1986               | 1987                 | 1988                 | 1993 | 1986                              |                     |
| As    | 50                   | 30                    | 20                  | -    | 2                  | 10                   | 14                   | -    | -                                 | 20                  |
| Cd    | 5                    | 1 – 3                 | 25                  | 1,5  | -                  | 3 – 15               | 1,6                  | 20   | 1 – 3                             | 3                   |
| Co    | 50                   | 50                    | -                   | -    | -                  | -                    | 20                   | -    | -                                 | -                   |
| Cr    | 100                  | 50 – 80               | 100                 | 100  | 0,05               | -                    | 120                  | 1500 | 50 – 150                          | 750                 |
| Cu    | 100                  | 30 – 70               | 100                 | 60   | 23                 | 50                   | 100                  | 750  | 50 – 140                          | 150                 |
| Hg    | 5                    | 5                     | 2                   | 1    | 2,1                | -                    | 0,5                  | 8    | 1 – 1,5                           | 0,8                 |
| Ni    | 100                  | 30 – 75               | 50                  | 50   | 35                 | 20                   | 32                   | 210  | 30 – 75                           | 150                 |
| Pb    | 100                  | 50 – 150              | 100                 | 100  | 20                 | 500 – 2000           | 60                   | 150  | 50 – 300                          | 200                 |
| Se    | 10                   | 10                    | 10                  | -    | -                  | -                    | 1,6                  | -    | -                                 | -                   |
| Zn    | 300                  | 100 - 300             | 300                 | 200  | 110                | 130                  | 220                  | 1400 | 150 - 300                         | 600                 |

Sumber: <sup>1</sup>Kabata-Pendias dan Pendias (2001); <sup>2</sup>Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)

Namun, di Indonesia sendiri hingga saat ini belum memiliki regulasi dan baku mutu yang mengatur konsentrasi logam diperbolehkan di dalam tanah yang peruntukannya bagi pertanian, kehutanan atau kegiatan lain yang terkait dengan makhluk hidup.

Keberadaan logam dan nutrisi mikro di dalam tanaman juga harus berada di bawah ambang batas agar tidak beracun bagi makhluk hidup lainnya. Tabel 8 dan 9 mencantumkan nilai kisaran konsentrasi logam pada jaringan tanaman normal.

Tabel 8. Kisaran Nilai Konsentrasi Unsur Mikro pada Jaringan Daun Dewasa

| No. | Unsur           | Jumlah Logam (ppm) |           |            |
|-----|-----------------|--------------------|-----------|------------|
|     |                 | Defisiensi         | Normal    | Beracun    |
| 1.  | Boron (B)       | 5 – 30             | 10 – 100  | 50 – 200   |
| 2.  | Tembaga (Cu)    | 2 – 5              | 5 – 30    | 20 – 100   |
| 3.  | Besi (Fe)       | < 50               | 100 – 500 | > 500      |
| 4.  | Mangan (Mn)     | 10 – 30            | 30 – 300  | 400 – 1000 |
| 5.  | Molybdenum (Mo) | 0,1 – 0,3          | 0,2 – 5   | 10 - 50    |
| 6.  | Seng (Zn)       | 10 – 20            | 27 – 150  | 100 - 400  |

Sumber: Kabata dan Pendias (2001)

Tabel 9. Kisaran Konsentrasi untuk Logam yang Ditemukan pada Jaringan Tanaman Normal

| No | Unsur        | Konsentrasi Logam pada jaringan tanaman Normal |
|----|--------------|------------------------------------------------|
| 1. | Arsen (As)   | 0,02 – 7 mg/kg                                 |
| 2. | Merkuri (Hg) | 30 – 700 µg/kg                                 |
| 3. | Kadmium (Cd) | 20 – 100 µg/kg                                 |
| 4. | Kobalt (Co)  | 30 – 1.000 µg/kg                               |
| 5. | Krom (Cr)    | 0,5 – 2 mg/kg                                  |
| 6. | Nikel (Ni)   | 1 – 5 mg/kg                                    |
| 7. | Timbal (Pb)  | 3 – 20 mg/kg                                   |

Sumber: Kabata dan Pendias (2001)

## **2.4. Deskripsi Logam dan Tanaman**

### **2.4.1. Deskripsi Seng (Zn), Nikel (Ni) dan Kadmium (Cd)**

#### **2.4.1.1. Seng (Zn)**

Seng terdapat secara alami di dalam semua jenis tanah dengan konsentrasi berkisar antara 10 hingga 100 mg/kg (Mertens and Smolders, 2013), tetapi jumlah Seng di dalam tanah dapat bertambah secara alami melalui deposisi atmosfer maupun dari aktifitas manusia melalui pemupukan, pertambangan, pembakaran Seng, industri logam non besi (Kabata and Pendias, 2001; Mertens and Smolders, 2013). Seng di dalam tanah terdapat bersamaan dengan besi hidrat dan oksida Al (diperkirakan 14 hingga 38% dari Seng total) dan dengan mineral liat (24 hingga 63% dari Seng total, sementara dalam bentuk fraksi bergerak Seng sebesar 1 hingga 20% dan Organik kompleks Seng sebesar 1,5 hingga 2,3% (Kabata and Pendias, 2001)

Seng merupakan salah satu unsur nutrisi mikro yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah kecil untuk pertumbuhan, di mana apabila kekurangan maka dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Alloway, 2013). Ditambahkan oleh Rengel (1999) bahwa bagi tanaman seng diperlukan untuk aktifitas berbagai jenis enzim seperti dehidrogenase, aldolase, isomerase, transphosphorilase, serta polimerasi RNA dan DNA. Konsentrasi Seng dikatakan defisiensi kritis pada tanaman berkisar antara 10 – 20 mg/kg, dengan gejala terlihat adanya klorosis pada tulang daun, terhambatnya pertumbuhan, ukuran daun yang kecil, pohon yang berwarna kemerahan dan munculnya noda merah keunguan pada bagian daun (Kabata and Pendias, 2001). Adaptasi tanaman terhadap defisiensi Seng adalah dengan meningkatkan eksudat akar pada asam amino, gula dan fenol (Rengel, 1999).

Jumlah Seng yang berlebih mengakibatkan toksisitas pada tanaman yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan bahkan berakibat kematian. Tanaman yang sehat mengandung Seng dengan kisaran antara 10 – 100 ppm (Rengel, 1999), dengan rata-rata umumnya sebesar 60 mg/kg (Mertens and Smolders, 2013). Sedangkan konsentrasi Seng total yang bersifat toksik di dalam tanah berkisar antara 100 hingga 1000 mg/kg (Mertens and Smolders, 2013). Sementara konsentrasi Seng kritis di dalam jaringan tanaman pada tanaman yang sensitif berkisar antara 150 hingga 200 mg/kg dan konsentrasi Seng yang mengakibatkan penurunan 10% biomasa berkisar antara 100 hingga 500 mg/kg (Kabata dan Pendias, 2001).

Gejala toksisitas Seng pada tumbuhan antara lain gangguan pada proses fisiologis yaitu menghambat proses fotosintesis dan respirasi, menghambat translokasi floem, adanya akumulasi sukrosa, pengulangan gula dan kanji pada daun utama ; klorosis bahkan kemerahan pada daun akibat produksi anthocanin; nekrotik dengan noda coklat pada daun; menurunnya biomasa; menghambat pertumbuhan akar utama dan lateral (Collins, 1981; DalCorso, 2012).

#### **2.4.1.2. Nikel (Ni)**

Nikel secara alami terdapat pada bebatuan di mana kandungan Nikel total pada bebatuan induk mempengaruhi kandungan Nikel di dalam tanah yang juga bergantung pada proses pembentukan tanah dan polusi (Gonnelli and Renella, 2013). Tanah di seluruh dunia mengandung Nikel yang berkisar antara 0,2 hingga 450 ppm (Kabata and Pendias, 2001) dengan rata-rata sebesar 100 ppm (Hutchinson, 1981) dan kandungan Nikel yang terbesar terdapat pada tanah liat dan lempung (Kabata and Pendias, 2001). Adanya aktifitas manusia seperti emisi dari pengolahan logam dan pembakaran batubara dan minyak, pemupukan

mengakibatkan peningkatan yang signifikan terhadap kandungan Nikel di dalam tanah (Hutchinson, 1981; Kabata and Pendias, 2001; Gonnelli and Renella, 2013).

Nikel merupakan salah satu unsur penting yang diperlukan tanaman dalam jumlah kecil dengan kisaran antara 0,05 hingga 10 mg/kg berat kering (Gonnelli and Renella, 2013) sebagai kofaktor dalam enzim seperti urease (DalCorso, 2012). Apabila kekurangan unsur ini akan mengakibatkan gangguan aktifitas urease, dan metabolisme nitrogen serta akumulasi jumlah urea beracun (DalCorso, 2012) yang menimbulkan gejala seperti nekrosis pada ujung daun, tulang daun dan daun muda (DalCorso, 2012; Gonnelli dan Renella, 2013) dan klorosis (Dalcorso, 2012). Jumlah Nikel yang berlebihan mengakibatkan terjadinya toksisitas pada tanaman, di mana batas konsentrasi yang diperbolehkan adalah  $< 100$  mg/kg berat kering dengan batas kritis toksisitas adalah  $> 50$  mg/kg berat kering (Gonnelli and Renella, 2013). Kandungan 10 – 100 mg/kg berat kering pada daun dewasa bersifat toksik bagi tanaman, di mana konsentrasi kritis Nikel di dalam jaringan tanaman sebesar 10 hingga 30 mg/kg mengakibatkan penurunan biomasa sebesar 10% (Kabata and Pendias, 2001).

Gejala toksisitas yang terjadi adalah hambatan perkecambahan dan pertumbuhan, mengurangi biomasa, klorosis pada daun dan daun layu, gangguan fotosintesis, menghambat asimilasi CO<sub>2</sub>, pengurangan konduktansi stomata (Hutchinson, 1981; Kabata and Pendias, 2001; DalCorso, 2012; Gonnelli dan Renella, 2013).

#### **2.4.1.3.Kadmium (Cd)**

Kadmium secara alami terdapat di dalam tanah pada konsentrasi 0,1 mg/kg hingga 1 mg/kg dan dapat meningkat lebih dari 0,1 mg/kg hingga 0,3 mg/kg dengan adanya deposisi atmosfer serta aktifitas manusia seperti pemupukan, emisi dari pembakaran pada industri Zn-

Cd serta pertambangan, produksi, penggunaan dan pembuangan Kadmium (Kabata and Pendias, 2001; Smolders and Mertens, 2013). Logam Kadmium dan senyawanya digunakan dalam produksi pigmen untuk menstabilkan plastik (PVC) dan produksi akumulator, batang kendali untuk reaktor nuklir, radiator motor, logam campuran dan pupuk (Kvesitadze et al., 2006). Kadmium terdapat di alam sebagai kation divalen dalam bentuk  $\text{Cd}^{2+}$  dan ion kompleks  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$  dan  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$  dan chelate organik (Kabata and Pendias, 2001; Smolders and Mertens, 2013).

Faktor yang mempengaruhi konsentrasi ketersediaan Kadmium di dalam tanah antara lain pH dan potensial oksidasi di mana pada pH dengan kisaran antara 4,5 hingga 5,5 Cd memiliki mobilitas yang tinggi dibandingkan pada pH alkali  $> 7,5$  (Page et al., 1981; Kabata and Pendias, 2001; Shah et al., 2010). Kadmium bukan merupakan logam yang diperlukan oleh tanaman dan memiliki mobilitas dan permeabilitas yang tinggi sehingga bersifat sangat toksik meskipun dalam jumlah kecil terhadap aktifitas biologi tanah, metabolisme tanaman, hewan dan kesehatan manusia (Kvesitadze et al. 2006; Kabata and Pendias, 2001; DalCorso, 2012; Smolders and Mertens, 2013).

Konsentrasi kritis Kadmium di dalam tanaman yang mengakibatkan toksisitas berkisar antara 10 hingga 20 ppm berat kering dengan gejala toksisitas antara lain menghambat pertumbuhan dan kerusakan akar, klorosis daun, warna merah kecoklatan pada pinggir daun dan tulang daun, menghambat fotosintesis, penutupan stomata, mengganggu transpirasi dan fiksasi  $\text{CO}_2$ , mengurangi permeabilitas membran sel; mengurangi keseimbangan asupan air dan nutrisi di air, mengganggu penyerapan Ca, Mg, K dan P; menghambat enzim akar yang berhubungan dengan metabolisme nutrisi, mengurangi metabolisme dan asimilasi Nitrogen serta mengakibatkan defisiensi Fe (II) (Kabata and Pendias, 2001; Shah et al., 2010;

DalCorso, 2012). Disamping itu Kadmium juga menghambat pertumbuhan akar dan pembentukan akar lateral (DalCorso, 2012).

Toksisitas Kadmium di dalam tanah tidak berkurang karena tanah terpapar dalam waktu yang lama dan ketersediaannya secara biologi yang tidak berkurang dalam jangka panjang. Manusia yang terpapar Kadmium melalui rantai makanan dalam jangka panjang dapat berakibat gangguan kesehatan seperti kegagalan fungsi ginjal, peningkatan ekskresi Kalsium dan protein dengan berat molekul rendah, osteomalacia (melemahkan tulang) serta kematian, sebagaimana pada kasus “itai-Itai” di Tahun 1950 di Jepang (Smolders and Mertens, 2013).

## **2.4.2.Deskripsi *Acacia mangium* (Mangium), *Anthocephalus cadamba* (Jabon) dan *Samanea saman* (Trembesi)**

### **2.4.2.1. *Acacia mangium* Willd. (Mangium)**

*Acacia mangium* Willd. (Mangium) termasuk jenis pepohonan legum yang berasal dari famili Leguminosae (Mimosoideae) dikenal dengan nama Mangium, mangga hutan, tongke hutan, black wattle, brown salwood (Pinyopusarerk et al., 1993; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011), yang tersebar dari Indonesia bagian timur, Papua New Guinea, dan Queensland bagian utara di Australia



Gambar 2. Pohon Mangium berusia 2 tahun yang ditanam dengan jarak 3x3 m (Krisnawati et al., 2011)

(Pinyopusarerk et al., 1993; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011; Hedge et al., 2013). Mangium termasuk tanaman cepat tumbuh dengan daur hidup yang pendek (30 – 50 tahun) bagi pepohonan, di mana dapat beradaptasi dengan baik pada tanah tropis lembab di daerah

dataran rendah yang bersifat masam dengan pH berkisar antara 4,5 hingga 6,5 (Pinyopusarerk et al., 1993; Joker, 2000; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011; Hedge et al., 2013).

Mangium dapat tumbuh dengan baik pada tanah dengan kandungan besi dan aluminium oksida yang tinggi, meskipun tidak toleran terhadap salinitas tinggi (Pinyopusarerk et al., 1993; Krisnawati et al., 2011) tetapi toleran terhadap naungan serta tumbuh pada daerah yang ditumbuhi oleh alang-alang yang biasanya sulit untuk dihilangkan kembali karena kondisi tanah yang tidak subur dan adanya kompetisi dengan gulma sehingga Mangium dikenal sebagai jenis pionir di daerah terbuka untuk kebun (Pinyopusarerk et al., 1993). Pengukuran terhadap tingkat fotosintesis Mangium yang berkisar antara 7 – 10 mgCO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup> yang termasuk kriteria rendah (Awang and Taylor, 1993).

Pohon Mangium dapat mencapai tinggi hingga 30 m dengan diameter lebih dari 60 cm yang memiliki batang lurus tinggi bebas cabang mencapai lebih dari setengah dari tinggi pohon keseluruhan (Pinyopusarerk et al., 1993; Orwa et al., 2009a; Krisnawati, et al., 2011; Hedge et al., 2013). Namun pada daerah yang kurang subur, Mangium hanya berukuran semak atau pohon kecil dengan tinggi yang berkisar antara 7 hingga 10 m (Krisnawati, et al., 2011). Mangium yang baru berkecambah memiliki daun juvenile mirip dengan *Albizia* dan jenis lainnya dari subfamili Mimosoideae, dan setelah beberapa minggu muncul daun yang sesungguhnya dengan tulang daun paralel dan panjang mencapai 25 cm dan lebar mencapai 10 cm (Pinyopusarerk et al., 1993; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011; Hedge et al., 2013).

Pohon Mangium dapat digunakan sebagai naungan, tujuan ornamen, pagar, pemecah angin, pemecah api karena sifatnya yang tahan api, pengendali erosi dan agroforestry, memperbaiki kesuburan tanah dengan memperbaiki nitrogen tanah dan meningkatkan aktifitas

biologi tanah, serta untuk mengatasi kompetisi dari gulma seperti rumput alang-alang (Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011). Daun Mangium dapat juga digunakan sebagai suplemen untuk pertumbuhan domba (Clavero and Razz, 1999).

Kayu Mangium memiliki kerapatan sebesar 0,493 g/cm<sup>3</sup> hingga 0,559 g/cm<sup>3</sup>, kekuatan elastis sebesar 79221 hingga 101297 kg/cm<sup>2</sup>; kekuatan patah sebesar 596,2 hingga 708,5 kg/cm<sup>2</sup> sehingga baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi ringan seperti mebel dan kusen (Hadjib dkk., 2007). Sementara kayu Mangium mengandung selulosa sebesar 48,62%; hemiselulosa sebesar 29,58%; lignin sebesar 29,54% dan zat ekstraktif sebesar 4,17% dengan serat yang termasuk ke dalam kelas mutu II untuk bahan baku pulp, sehingga kayu Mangium baik untuk digunakan sebagai bahan baku pulp dan kertas (Syafii dan Siregar, 2006; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011). Kayu Mangium memiliki nilai kalori yang berkisar antara 4800 hingga 4900 Kcal/kg sehingga dapat digunakan sebagai kayu bakar dan arang, disamping penggunaan lain sebagai bahan papan partikel, kayu gergajian, moulding, furniture, dan vinir (Abdul-Kader and Sahri, 1993; Orwa et al., 2009a; Krisnawati et al., 2011; Hedge et al., 2013) serta untuk produksi tannin (Abdul-Kader and Sahri, 1993; Hedge et al., 2013).

#### **2.4.2.2. *Anthocephalus cadamba* (Jabon)**

Tanaman ini dikenal di Indonesia sebagai Jabon atau kelampayan dengan nama latin “*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq.”, sedangkan di India sebagai “Kadam” atau dalam bahasa inggris “New Guinea labula atau common bur-flower tree” dan dalam bahasa Thai “Kratum” (ICRAFT, 2004; Jøker, 2000; Orwa et.al., 2009).



Jabon termasuk family Rubiaceae dengan tinggi mencapai 45 m dan tinggi bebas cabang 25 m, diameter lebih dari 1.000 cm dan sistem percabangan melingkar (Orwa et.al., 2009b). Orwa et.al. (2009b) dan Krisnawati et.al (2011) menjelaskan bahwa ciri-ciri yang dimiliki oleh Jabon adalah kulit pohon yang berwarna keabuan dan bertekstur halus pada pohon muda serta kasar pada pohon yang tua; daunnya berwarna hijau mengkilat, opposite, petiolate, oval hingga elips, buahnya banyak dan dapat dimakan serta bunganya berkelamin ganda.

Jabon tersebar mulai dari India, Thailand. Malaysia, Indonesia, Australia, Papua New Guinea, Philipina, Singapura dan Vietnam (Orwa et.al., 2009b; Jøker, 2000). Tanaman ini merupakan tanaman pionir yang termasuk jenis cepat tumbuh (*fast growing species*)

(Jøker, 2000; ICRAFT, 2004; Krisnawati et.al., 2011 dan Orwa, et.al., 2009b) dan dapat tumbuh pada berbagai tipe tanah, (Jøker, 2000).

Kemampuan Jabon yang dapat tumbuh di berbagai tipe tanah sangat cocok sebagai tanaman rehabilitasi di sepanjang daerah aliran sungai (DAS), daerah terkena erosi, lahan kritis dan sebagai pohon naungan untuk jenis dipterocarpaceae (Jøker, 2000). Disamping itu, pohon ini juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kesuburan tanah melalui ukuran daun besar yang terdekomposisi dibawah kanopinya sehingga meningkatkan kandungan karbon organik tanah, kapasitas pertukaran kation, ketersediaan nutrisi dan pertukaran basa (ICRAFT, 2004; Orwa et.al., 2009b).



(sumber: dokumentasi pribadi)

Gambar 3. Jabon yang ditanam untuk rehabilitasi lahan bekas tambang batubara

Penggunaan Jabon di India sebagai tanaman jalur hijau untuk menangkap debu, menyaring dan mengabsorpsi polutan TSP (*total suspended particulate*) yang berasal dari aktifitas pertambangan batubara (Chaulya, 2005; CPCB-MOEF, 2007; Mansur dan Tuheteru, 2010).

Jabon umumnya tumbuh pada ketinggian 300 – 800 m di atas permukaan laut dengan suhu antara 3 – 15,5 °C hingga mencapai 32 – 42 °C (Jøker, 2000; Krisnawati et.al., 2011) dengan suhu rata-rata tahunan sekitar 23 °C (Orwa et.al., 2009b) dan curah hujan tahunan berkisar antara 1.500 hingga 5.000 mm ((Jøker, 2000; Krisnawati et.al., 2011). Namun di Bagian Tengah Sulawesi Utara ditemukan mampu hidup pada daerah kering dengan curah hujan 200 mm pertahun (Jøker, 2000; Krisnawati et.al., 2011).

Jabon menghasilkan kayu dengan berat ringan. Kayu gubalnya berwarna putih dengan tidak banyak perbedaan dengan kayu terasnya. Berat jenis kayu Jabon 290 – 560 kg/cm pada kelembaban 15%, dengan tekstur yang sedang hingga sedang, serat lurus dan tidak memiliki bau khas (Orwa et.al., 2009b).

Kayu Jabon dapat digunakan antara lain untuk kayu lapis, bahan konstruksi ringan, lantai, mainan,



Gambar 4. Jabon berusia 4 tahun  
(Krisnawati, et al., 2011)

pensil, perahu, dan campuran bahan pulp (ICRAFT, 2004; Krisnawati et.al., 2011). Kulit akar pohon Jabon dapat digunakan untuk bahan pewarna, sedangkan bunganya digunakan sebagai bahan baku produksi bibit minyak wangi dengan kayu cendana yang merupakan parfum. Kulit

pohon Jabon dapat digunakan sebagai obat anti demam dan sebagai tonik. (Orwa et.al., 2009b).

#### 2.4.2.3. *Samanea saman* (Trembesi)

*Samanea saman* (Jacq.) Merr. dikenal sebagai Trembesi atau “raintree” termasuk ke dalam famili Leguminosae (Mimosoideae) merupakan tanaman endemik pada Amerika Selatan bagian utara, Amerika Tengah dan Kepulauan Caribbean dengan penyebaran dan dibudidayakan di kebanyakan negara tropis (Schmidt., 2008; Orwa et al., 2009c). Trembesi dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah tetapi sensitif terhadap tanah masam, sehingga pH tanah harus lebih dari 5.5 (Schmidt, 2008). Namun Orwa et al.(2009c) menjelaskan bahwa Trembesi biasanya ditemukan tumbuh pada tanah agak masam dengan pH rendah hingga 4,6 dan dengan kesuburan yang rendah.



(Sumber: dokumentasi pribadi)

Gambar 5. Trembesi yang ditanam dengan jarak 4x4 m digunakan sebagai tanaman revegetasi dalam reklamasi tambang batubara

Pohon Trembesi memiliki tinggi mencapai lebih dari 20 -25 m bahkan hingga 40 m dan diameter mencapai 2 m hingga 4,5 m (Durr, 2001; Orwa et al., 2009c), dengan cabang rendah dan besar (Schmidt, 2008) serta tajuk rapat dan menyebar (Orwa et al., 2009c). Polong Trembesi biasanya dimakan anak-anak karena mengandung serat dengan rasa manis dan lengket serta minuman terbuat dari Jus buah Trembesi (Orwa et al., 2009c).

Pohon Trembesi berfungsi sebagai pelindung dan naungan bagi jenis tanaman bawah maupun tanaman utama yang tidak toleran terhadap cahaya (Orwa et al., 2009c). Pohon

Trembesi dapat memperbaiki hubungan simbiotik Nitrogen dengan rizobium (Qadri et al., 2007; Orwa et al., 2009c) di mana pada bintil akar Trembesi ditemukan adanya infeksi bakteri rizobium dengan jamur mikoriza yang berguna untuk fiksasi Nitrogen sehingga Trembesi menjadi tanaman potensial untuk rehabilitasi tanah tandus (Qadri et al., 2007).

Kayu Trembesi memiliki berbagai kegunaan antara lain sebagai bahan furnitur, kayu panel, kerajinan tangan, dinding kapal, boks, vinir, kayu lapis dan konstruksi ringan serta kulit kayu Trembesi sebagai sumber resin dan perekat (Orwa et al., 2009c)

Trembesi juga dimanfaatkan sebagai obat-obatan yaitu rebusan kulit pohon bagian dalam dan daun segar merupakan pengobatan untuk diare; ekstrak alkohol dari daun Trembesi dapat menghambat pengaruh bakteri *Mycobacterium* pada penyakit TBC (Orwa et al., 2009c). Tanin Trembesi berfungsi sebagai antimikroba dan anti jamur (Ukoha et al., 2011), dan ekstrak kulit Trembesi merupakan antioksidan dan sitotoksik yang baik dan potensial pada kloroform dan fraksi terlarut heksana serta aktifitas antimikroba pada fraksi karbon tetraklorida (Ferdous et al., 2010). Sedangkan daun Trembesi dapat diekstrak menjadi methanol yang berfungsi sebagai analgesik (Muzammil et al., 2013). Oleh karena itu, Trembesi menjadi sumber pengobatan herbal, makanan sumber energi, serta bahan baku industri farmasi, pangan dan biodiesel (Nnamdi et al., 2010).

## **2.5. Pertambangan Batubara**

Batubara termasuk salah satu bahan mineral tersimpan di dalam bumi yang mengalami pertumbuhan pesat seiring dengan berkurangnya cadangan minyak bumi di dunia. Sejak tahun 1980 dunia telah mengkonsumsi batubara sebesar 4.129,498 juta ton dan mengalami peningkatan menjadi 6.743,786 juta ton (IEA, 2006). Sedangkan produksi batubara dunia

pada tahun 1980 mencapai 4.186,39 juta ton yang meningkat menjadi 6.806,99 juta ton pada tahun 2006 (IEA, 2006). Indonesia memproduksi batubara sebesar 3.901,919 batubara pada tahun 2005, di mana 85% batubara tersebut diekspor dan konsumsi dalam negeri sebesar 15% (IEA, 2008).

### **2.5.1. Metode Penambangan Batubara**

Penambangan batubara dilakukan dengan 2 macam metode, yaitu penambangan terbuka dan penambangan di dalam tanah. Penambangan batubara di dalam tanah dilakukan dengan dua cara yaitu tambang room and pillar dan tambang longwall. (penjelasan). WCA (2011) dan KGS (2006) menjelaskan bahwa terdapat pilar yang menyangga atap dimana pilar tersebut mengandung lebih dari 40% batubara. Pengambilan batubara yang terdapat pada pilar penyangga dilakukan terakhir kali saat para penambang kembali ke atas dan tambang dibiarkan ambruk ke bawah lalu kemudian tambang tersebut dibiarkan begitu saja. Sedangkan pada tambang longwall pilar penyangga dapat bergerak otomatis secara hidrolik, sehingga setelah batubara diambil maka atap tambang di daerah tersebut dibiarkan ambruk, lalu pindah ke daerah lain (KGS, 2006; WCI, 2009, WCA, 2011).

### **2.5.2. Pemilihan Metode Tambang**

Keuntungan penggunaan metode tambang bawah tanah adalah memiliki dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan terutama yang ada di permukaan tanah (EPA, 2000). Di samping itu diperoleh rendemen batubara yang lebih besar dan cepat daripada metode tambang di atas tanah (WCI, 2009). Namun kelemahannya, dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah, mempengaruhi air permukaan dan air asam tambang dapat merusak air tanah (EPA, 2000).

Metode tambang terbuka yang paling banyak digunakan adalah open pit mining atau yang dikenal juga sebagai opencast mining. Pemilihan metode penambangan terbuka ini dipengaruhi oleh kedalaman lapisan batubara yaitu dekat dengan lapisan permukaan tanah (WCA, 2011). Penambangan batubara di Indonesia hampir 95% menggunakan penambangan terbuka, di mana Pertambangan batubara di Provinsi Kalimantan Timur hanya 1 atau 2 perusahaan saja yang menggunakan metode pertambangan dalam.

Metode tambang terbuka dilakukan dengan mengupas top soil dan memindahkannya ke bagian timbunan lain, selanjutnya dilakukan ekstraksi batubara. Metode ini tidak baik digunakan bila lapisan batubara tersimpan lebih dari 300 kaki, karena mengakibatkan terjadinya cekungan yang sangat dalam sehingga sulit untuk direklamasi, sehingga harus menggunakan metode tambang dalam tanah (Edgar, 2010)

Terdapat beberapa keuntungan dari penggunaan metode tambang terbuka, antara lain biaya operasional yang lebih murah daripada dari metode tambang dalam tanah (WCA, 2011) dan menghasilkan rendemen batubara yang lebih besar (Edgar, 2010). Namun dampak kerusakan lingkungan yang ditimbulkan jauh lebih besar dibandingkan dengan metode tambang di dalam tanah, yaitu terjadi cekungan pada lahan bekas pertambangan, erosi, dan hilangnya ekosistem (Bapedal, 2001).

Metode penambangan batubara yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah metode penambangan di atas tanah (*open pit mining*). Di ibukota Provinsi Kalimantan Timur, Kota Samarinda ditemukan 76 KP dan 5 PKP2B2, dengan konsesi meliputi 71% dari luas kota Samarinda (Jatam, 2010) dan hampir 90% menggunakan *open pit mining* (Pemerintah Kota Samarinda, 2009).

Proses penambangan batubara itu sendiri meliputi beberapa tahapan, yaitu tahap eksplorasi, tahap eksploitasi dan tahap pasca penambangan (Bapedal, 2001).

## **2.6. Kandungan Batubara**

World Coal Institute menjelaskan bahwa “*batubara terbentuk dari sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut*” (WCI, 2009). Selanjutnya dijelaskan bahwa dengan adanya perubahan fisika dan kimia secara terus menerus dalam jangka waktu yang sangat lama maka terbentuk batuan hitam dan keras yang disebut sebagai batubara bitumen atau antrasit.

Gambut merupakan batubara yang mutunya paling rendah, selanjutnya akan berubah menjadi batubara muda dengan kandungan karbon rendah dan mengandung kadar kelembaban tinggi sehingga menghasilkan energi yang rendah (WCI, 2009). Lebih lanjut dijelaskan pula oleh WCI (2009) bahwa batubara tersebut akan berubah menjadi sub bitumen, bitumen dan terakhir adalah antrasit yang merupakan batubara dengan kualitas yang terbaik mengandung karbon dan energi tinggi serta kelembaban yang rendah.

Sifat fisika batubara yang terdiri dari berat jenis sebesar 1,1 sampai 1,5 gram/cm<sup>3</sup>, reflektivitas yang berkisar antara 0,5 sampai 1,3, dan sifat fisika lainnya seperti kekerasan, suhu, grindability, dan indeks pengembangan bebas (Encyclopaedia Britannica, 2011).

Kandungan kimia batubara umumnya terdiri dari hydrogen, karbon, oksigen dan senyawa anorganik, dengan komposisi masing-masing yang bervariasi tergantung dari jenis batubara tersebut (KOEP and KCA, 2008). Pada batubara bitumen memiliki komposisi berupa 5% Hidrogen, Karbon sebanyak 67%, oksigen sebesar 25%, nitrogen dan sulfur sebesar 1% serta mineral dan senyawa anorganik lainnya sebesar 2% (Chemistry encyclopedia, 2008). Lebih lanjut dijelaskan bahwa senyawa anorganik tersebut berupa aluminium dan abu. Abu

ini mengandung silica, besi, alumina dan bahan yang tidak dapat terbakar lainnya (KOEP and KCA, 2008).

## **2.7. Aspek lingkungan penambangan batubara**

Penambangan batubara menimbulkan berbagai permasalahan bagi lingkungan sekitar, baik terhadap lingkungan biotik maupun abiotik. Permasalahan yang terjadi pada lingkungan abiotik antara lain deforestasi dan devegetasi serta hilangnya makhluk hidup yang memiliki habitat di tempat tersebut (Ezeigbo and Ezeanyim, 2006; Sourcewatch, 2011), sehingga dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati.

Gangguan pada lingkungan biotik yang ditimbulkan oleh penambangan batubara adalah sebagai berikut:

### **a. Gangguan lahan**

Gangguan lahan yang terjadi akibat pertambangan batubara secara fisik berupa degradasi lahan dan lahan kritis sebagai akibat dari pengupasan top soil, devegetasi dan deforestasi (Sourcewatch, 2011). Lebih lanjut dijelaskan secara sosial dapat terjadi konflik penggunaan lahan dengan masyarakat lokal dan dengan sektor lainnya.

### **b. Runtuh/amblasan tambang**

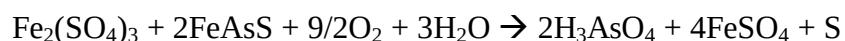
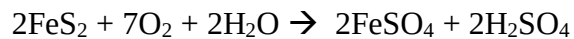
Penambangan batubara menggunakan metode dalam tanah memiliki resiko runtuhnya lapisan tanah bagian atas yang disebabkan oleh pengambilan batubara yang terdapat pada lapisan tanah bagian bawah dan tanah tersebut tidak terdapat penyangga di bawahnya sehingga menjadi tidak stabil (EPA, 2000; WCI, 2009; Sourcewatch, 2011; WCA, 2011).



Saat ini telah terjadi 1 juta hektar runtuh/amblesan lahan akibat pertambangan batubara menggunakan metode tambang bawah tanah, di mana dari 10 juta ton batubara mentah yang diambil akan menghasilkan 0,2 hektar penurunan lahan di Negara China (Bian et.al., 2010).

c. Pencemaran air dan tanah

Pencemaran terhadap air tanah dan air permukaan sebagai akibat timbulnya drainage tambang asam atau yang dikenal sebagai air tambang asam (AMD). AMD ini terjadi dari reaksi kimia antara air dan bebatuan yang mengandung sulfur (Bian et.al., 2010; Sourcewatch, 2011; WCA, 2011). Dijelaskan lebih lanjut bahwa apabila mineral logam sulfida teroksidasi dan terdapat air untuk menggerakkan ion sulfurnya maka dapat terjadi AMD dan adanya aliran air akan menyebabkan terjadinya pencemaran terhadap air tanah dan air permukaan (Ezeigbo and Ezeanyim, 2006; EPA, 2000; WCI, 2009; WCA, 2011). Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut (Nagajyoti et.al., 2010):



Air tambang asam (AMD) ini terjadi lebih dari 1,1 juta acre permukaan pada tambang batubara dan 900 mill sungai yang telah tercemar oleh AMD ini (Bian et.al., 2010).

EPA (2000) menerangkan bahwa kegiatan penambangan juga dapat mengakibatkan pencemaran logam berat pada air permukaan. Jenis logam berat ini tergantung dari kandungan logam pada batubara tersebut. Lebih lanjut dijelaskan oleh Wan Yaacob et.al. (2009) bahwa pada areal bekas tambang yang dibiarkan begitu saja dan areal tambang

yang aktif menunjukkan keberadaan konsentrasi arsen (As) sebesar 755 – 74475 mg/kg dan logam berat lainnya seperti Cu, Fe, Mn, Pb dan Zn yang melebihi ambang batas yang diperbolehkan oleh EQA (1974) dan ICRCL (1987). Logam berat berbahaya berupa Cr (VI) juga ditemukan pada tanah bekas tambang batubara di Provinsi Kalimantan Selatan dengan kisaran yang mencapai 7 – 14 mg/kg (Saidi dan Badruzsaufari, 2009). Di samping itu aktifitas tailing yang banyak mengandung mineral sulfida juga dapat mencemari air dan udara dengan menghasilkan air asam dan bahan kimia berbahaya.

Penelitian Maiti et.al. (2004) juga melaporkan bahwa pada tanah penutup batubara (*Overburden*) mengandung DTPA-Zn sepuluh hingga tigapuluh kali lipat dari tanah normal (0,63 mg/kg), yaitu sebesar 5,8 hingga 62 mg/kg.

#### d. Erosi dan Sedimentasi

Adanya devegetasi dan pengupasan top soil mengakibatkan hilangnya pengikat air hujan yang jatuh ke tanah. Air hujan tersebut akan mengalir dan membawa partikel tanah yang menyebabkan terjadinya erosi dan apabila air yang mengandung tanah tadi masuk ke dalam air permukaan akan mengakibatkan terjadinya sedimentasi (EPA, 2000). Lebih lanjut dijelaskan bahwa sedimentasi ini berpengaruh terhadap kehidupan biota perairan.

#### e. Pencemaran Udara

Pencemaran udara yang terjadi akibat penambangan batubara berupa debu dan kebisingan. Debu ini terjadi karena truk pengangkut batubara melintas di jalan tidak beraspal, operasi pemecahan batubara, pengeboran dan angin yang bertiup di daerah tersebut. Sementara kebisingan biasanya ditimbulkan oleh peralatan yang digunakan untuk pengeboran batubara (EPA, 2000; WCI, 2009; WCA, 2011).

Pencemaran dan berbagai gangguan yang ditimbulkan oleh penambangan batubara turut memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada tumbuhan dan hewan berakibat hilangnya habitat sehingga mempengaruhi keanekaragaman hayati dan jumlah populasinya. Sedangkan pada manusia mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan bahkan kematian. Terjadi pula banjir pada daerah hilir dan yang lebih rendah sehingga mengakibatkan kerugian secara ekonomi. Permasalahan sosial seperti tumpangtindih lahan, hilangnya matapencaharian pokok penduduk lokal sebagai petani dan krisis budaya pada masyarakat lokal.

Pencemaran udara lainnya yang ditimbulkan oleh pertambangan batubara berupa gas-gas seperti metana, sulfur dioksida, karbondioksida, karbonmonoksida dan nitrogen oksida (Bian et.al., 2010).

## **2.8. Kasus-kasus pencemaran akibat Pertambangan Batubara (di dunia dan di Indonesia)**

Pertambangan batubara mengakibatkan berbagai pencemaran baik udara, tanah maupun air, yang terjadi hampir di seluruh dunia termasuk di Indonesia. Beberapa kasus pencemaran terjadi di Amerika, Afrika, China dan Indonesia seperti terlihat di uraian berikut.

Hasil penelitian Yenilmez et.al. (2011) pada lahan bekas pertambangan batubara yang dibiarkan begitu saja di Ovacik-Yaprakli (Cankiri, Turki) menunjukkan bahwa lahan tersebut terkontaminasi oleh logam krom (Cr), Nikel (Ni) dan tembaga (Cu). Konsentrasi Cr ditemukan berkisar antara 196,45 mg/kg – 652,65 mg/kg; kemudian Ni sebesar 167,67 mg/kg – 504,20 mg/kg dan Cu dengan kisaran 30,50 mg/kg – 109,58 mg/kg. Selanjutnya di Alabama terjadi pula pencemaran terhadap sungai-sungai seperti Sungai Black Warrior, yang berasal dari limpasan air yang mengandung asam, logam berat, sedimen dan pencemar lainnya

(SELC, 2011). Sementara itu, di Virginia bagian barat, juga terjadi pencemaran selenium di saluran air akibat aktivitas pertambangan batubara (Sierra Club, 2011).

Kemungkinan terjadinya pencemaran juga muncul pada lahan bekas tambang batubara yang telah direklamasi. Penelitian yang dilakukan Mayes et.al. (2006) menunjukkan bahwa terdapat kontaminasi logam Fe pada sungai Gaunless, County Durham akibat pertambangan batubara di sepanjang daerah aliran Sungai Gaunless, meskipun tambang tersebut telah ditutup dan direklamasi sejak tahun 1980-an.

Hasil penelitian geokimia yang dilakukan oleh Wu et.al. (2009) menunjukkan bahwa kandungan air tambang asam (AMD) akibat pertambangan batubara di Xingren coalfield, Southwest China, berupa sulfat dalam konsentrasi tinggi, logam terlarut Fe, Al, Mn dan As dalam tingkat yang sangat tinggi, ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  dan nilai pH yang sangat rendah, sehingga air bawah tanah dan air permukaan mengandung ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{HCO}_3^-$ . Sementara itu Shan et.al (2010) melaporkan bahwa pertambangan batubara di Xuzhou-Datun, Jiangsu, China telah menyebabkan terjadinya pencemaran Cr.

Pertambangan batubara di Pennsylvania bagian northeastern telah menyebabkan pencemaran pada Daerah Aliran Sungai Schuylkill. Keberadaan tambang yang ditinggalkan begitu saja mengakibatkan terjadinya Air tambang asam (AMD) yang mengalir ke sungai tersebut, sehingga terjadi perubahan warna pada air sungai menjadi berwarna orange. Berdasarkan analisis pada kualitas air sungai tersebut, ditemukan bahwa air sungai Schuylkill mengandung logam berat Mn, Al dan Fe yang melebihi ambang batas yang diperbolehkan oleh EPA (Sadak, 2008). Di samping itu pertambangan batubara juga mengakibatkan pencemaran udara dengan konsentrasi rata-rata harian SPM (*Suspended Particulate Matter*)

berkisar 511,0 – 598,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – dan RPM (*Respirable Particulate Matter*) sebesar 164,2 – 193,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , yang melebihi standar kualitas udara ambient nasional di India (Chaulya, 2005).

Sementara itu, di Provinsi Mpumalanga, Afrika Selatan teridentifikasi sekitar 118 bekas tambang batubara yang dibiarkan begitu saja. Gangguan lingkungan yang terjadi berupa degradasi lahan dan pencemaran air akibat *air tambang asam (AMD)*, kontaminasi logam berat dan debu batubara, serta adanya tanah yang amblas/ambruk bekas pertambangan batubara di dalam tanah (EO-Miners, 2011)

Indonesia juga mengalami nasib sama dengan negara-negara maju lainnya yang memproduksi batubara. Surat kabar Nasional Kompas edisi 25 Januari 2011 memberitakan bahwa pencemaran pada sungai di Indonesia yang terjadi akibat pertambangan batubara sepanjang tahun 2010 tercatat sebanyak 25 kasus (Kompas, 2011). Selanjutnya Khodijah (2011) menyatakan bahwa di Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur, terdapat beberapa pelanggaran yang dilakukan oleh sebanyak 10 Perusahaan Tambang Batubara akibat tidak melakukan penataan lingkungan serta tidak melaksanakan reklamasi lahan dan penutupan lokasi tambang. Di samping itu, terdapat pula pertambangan batubara yang berlokasi di areal pemukiman sehingga membahayakan masyarakat umum yang berakibat pada penutupan operasional pada 3 perusahaan dan pencabutan ijin usaha pada 2 perusahaan.

Kerusakan lingkungan yang terjadi akibat aktivitas pertambangan batubara di Provinsi Kalimantan Selatan antara lain: air tambang asam (AMD) pada lubang-lubang bekas tambang yang dibiarkan begitu saja sehingga dapat mencemari tanah, devegetasi dan deforestasi, dan pencemaran debu. Hasil penelitian Saidi dan Badruzsaufari (2009) menunjukkan bahwa tanah bekas tambang batubara di Provinsi Kalimantan Selatan mengandung total Cr dengan kisaran yang mencapai 700 – 1500 mg/kg. Sementara kandungan Cr (VI) ditemukan sebanyak 7 – 14

mg/kg, di mana Cr (VI) merupakan logam yang bersifat toksik dan karsinogen di antara bentuk Cr lainnya.

Terjadinya pencemaran air Sungai di Desa Gosong Panjang Kecamatan Pulau Laut Barat, Kotabaru, Kalimantan Selatan akibat pencucian batubara dan debu batubara oleh PT. Indonesia Bulk Terminal. Selain itu juga pencemaran pada ladang dan sawah masyarakat yang menjadi saluran pembuangan limbah oleh PT. Adaro di Kecamatan Lampihong, Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan (Banjarmasin Post, 2005). Selanjutnya terjadi pula pencemaran dan pendangkalan pada perairan Asam-Asam mengakibatkan petani kehilangan tambaknya (Banjarmasin Post, 2010a)

Pencemaran akibat pertambangan batubara di Kalimantan Selatan umumnya karena perusahaan tambang tidak membuat tempat pengolahan limbah, titik penataan dan sumur pantau, sehingga akibatnya apabila terjadi banjir maka limbah tambang tersebut akan langsung mengalir ke daerah yang lebih rendah, masuk ke sungai dan menimbulkan pencemaran pada tanah dan sungai (Banjarmasin Post, 2010b). Di samping itu, terjadi pula pencemaran limbah B3 yang berasal dari oli bekas, aki bekas, filter bekas, majun/lap, grease/gemuk, dan lainlain pada alat berat yang digunakan untuk eksploitasi batubara. (Banjarmasin Post, 2010c).

## **2.9. Kebijakan Reklamasi Lahan Bekas Pertambangan Batubara**

Lahan bekas pertambangan batubara meninggalkan berbagai gangguan lingkungan sebagaimana dijelaskan di atas. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya untuk merehabilitasi lahan tersebut agar dapat kembali seperti semula sehingga dampak negatif yang ditimbulkan dapat ditekan seminimal mungkin.

### 2.9.1. Kewajiban pasca penambangan

Pasca penambangan batubara, terdapat beberapa kewajiban yang harus dilaksanakan oleh pengusaha sebagaimana tertera di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 78 tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pasca Tambang. Pasal 3 ayat 2 pada PP tersebut menerangkan bahwa *“pelaksanaan reklamasi dan pasca tambang oleh pemegang IUP operasi produksi dan IUPK Operasi Produksi wajib memenuhi prinsip: a. Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup pertambangan; b. keselamatan dan kesehatan kerja; c. konservasi mineral dan batubara.”*

Dijelaskan lebih lanjut dalam pasal 4 ayat 1 yang menyatakan bahwa *“Prinsip perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup pertambangan meliputi: a. perlindungan terhadap kualitas air permukaan, air tanah, air laut dan tanah serta udara berdasarkan standar baku mutu atau kriteria baku kerusakan lingkungan hidup sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan; b. Perlindungan dan pemulihan keanekaragaman hayati; c. Penjaminan terhadap stabilitas dan keamanan timbunan batuan penutup, kolam tailing, lahan bekas tambang dan struktur batuan lainnya; d. Pemanfaatan lahan bekas tambang sesuai dengan peruntukannya; e. Memperhatikan nilai-nilai sosial dan budaya setempat dan f. Perlindungan terhadap kuantitas air tanah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.”*

Lebih lanjut dijelaskan dalam pasal 10 yang menyatakan bahwa *“Program pasca tambang meliputi: (1) reklamasi pada lahan bekas tambang dan lahan di luar bekas tambang; (2) Pemeliharaan hasil reklamasi; (3) pengembangan dan pemberdayaan masyarakat dan (4) pemantauan”*.

Reklamasi di dalam kawasan hutan diatur secara khusus di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 76 tahun 2008 tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan pada Pasal 42 yang menjelaskan bahwa *“reklamasi hutan dilakukan pada lahan dan vegetasi hutan yang telah mengalami perubahan permukaan tanah dan perubahan penutupan tanah”*. Selanjutnya di dalam Pasal 43 ayat 2 menyebutkan bahwa salah satu kegiatan yang wajib melaksanakan reklamasi hutan adalah kegiatan pertambangan

Berdasarkan peraturan perundang-undangan tersebut di atas maka reklamasi lahan mencakup pengembalian kondisi lahan ke rona awal yang disesuaikan dengan peruntukan lahan tersebut, di mana harus mengurangi dampak negatif pencemaran lingkungan akibat pertambangan batubara tersebut. Reklamasi lahan mencakup pengembalian top soil dan revegetasi.

### **2.9.2. Kebijakan tentang Reklamasi dan Revegetasi pada Lahan Bekas Tambang Batubara**

Reklamasi secara umum yang termaktub dalam Undang-Undang No. 27 tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, berarti *“kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat sumberdaya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan atau drainase”*.

Namun dalam bidang pertambangan, reklamasi merupakan restorasi produktifitas atau fungsi lahan yang telah terdegradasi oleh aktifitas manusia atau fenomena alam (FAO, 2002). Sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 76 Tahun 2008 tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan dan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 56 Tahun 2008 tentang Tata Cara Penentuan Luas Areal Terganggu dan Areal Reklamasi dan Revegetasi untuk Perhitungan Penerimaan Negara Bukan Pajak Penggunaan Kawasan Hutan, definisi reklamasi hutan



adalah *“usaha untuk memperbaiki atau memulihkan kembali lahan dan vegetasi hutan yang rusak agar dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan peruntukannya”*.

Dijelaskan lebih lanjut mengenai definisi reklamasi lahan bekas tambang di dalam Keputusan Menteri Kehutanan dan Perkebunan Nomor 778/menhutbun-V/1998 bahwa reklamasi lahan bekas tambang adalah *“kegiatan untuk memulihkan kembali lahan yang terganggu akibat penambangan sehingga dapat berfungsi kembali sesuai dengan peruntukannya”*. Hal senada juga dinyatakan dalam Keputusan Direktur Jenderal Nomor 29/kpts/V/1999, bahwa reklamasi lahan merupakan *“kegiatan pemulihan lahan yang terganggu atau rusak sebagai akibat pengusahaan pertambangan keadaan sebelumnya atau penggunaan-penggunaan lainnya”*.

Keberhasilan suatu reklamasi lahan juga ditentukan oleh jenis tanaman yang digunakan. Pemilihan jenis tanaman harus disesuaikan dengan fungsi lahan, kondisi biofisik, tujuan akhir penggunaan kayu dan kondisi sosial ekonomi. Peraturan Menteri Kehutanan No.4 tahun 2011 tentang Pedoman Reklamasi Hutan mengatur tentang pemilihan vegetasi yang digunakan untuk reklamasi hutan. Di dalam Pasal 23 dinyatakan bahwa dalam *“tahapan revegetasi, harus diawali dengan penanaman jenis tanaman pionir atau cepat tumbuh (fast growing species) yang merupakan jenis tumbuhan asli atau lokal”*. Lebih lanjut dijelaskan di dalam Pasal 24 bahwa *“jenis tumbuhan yang digunakan tergantung pada penggunaan lahan, di mana untuk hutan lindung, jenis tanaman harus memiliki daur panjang, perakaran dalam, evapotranspirasi rendah, menghasilkan kayu, getah, kulit atau buah dan heterogen. Sedangkan untuk hutan produksi jenis tanaman harus memiliki pertumbuhan cepat, nilai komersial tinggi, mudah memperoleh benih dan bibit yang berkualitas dan disesuaikan dengan kebutuhan pasar”*.

Pemilihan jenis juga harus memperhatikan hal-hal sebagaimana tertera di dalam Pasal 25, yaitu: *“(a) spesies tanaman yang tumbuh secara alamiah di lokasi reklamasi agar pengelompokan dan pertumbuhannya dapat diidentifikasi, (b) tanah dan kondisi drainase di mana species lokal yang berbeda dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lokasi bekas tambang, (c) jenis tanaman yang dapat menghasilkan biji dan dapat memperbanyak diri secara alami, (d) jenis tanaman yang bernilai ekonomi/komersil dapat digunakan dengan mempertimbangkan peruntukan lahannya sesuai Rencana Umum Tata Ruang (RUTR) atau Tata Guna Hutan (e), pertimbangan persyaratan habitat, di mana kemungkinan kembalinya satwa liar ke daerah tersebut merupakan unsur penting dari penggunaan lahan pasca penambangan (post mining land use), dan (f) Pertimbangan penanaman tumbuhan pangkas (trubus) karena tumbuhan ini sering merupakan kelompok tumbuhan yang baik dan akan memperbaiki kesuburan tanah”*.

Rahmawaty (2002) menjelaskan bahwa yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis untuk pemulihan lahan bekas tambang meliputi kemampuan adaptasi tanaman yang tinggi, yaitu memilih jenis lokal atau non lokal yang tumbuh dengan baik di lokasi setempat serta ujicoba spesies dan uji provenance; termasuk jenis tanaman cepat tumbuh; teknik silvikultur yang sudah diketahui; ketersediaan bahan tanaman dan bersimbiose dengan mikroba. Revegetasi pada reklamasi lahan merupakan fitoremediasi melalui sistem penutupan vegetasi.

## **2.10. Gambaran Umum Lokasi Pertambangan CV. Tujuh Tujuh**

### **2.10.1. Profil Perusahaan CV. Tujuh Tujuh**

CV. Tujuh Tujuh merupakan perusahaan Perseroan Komanditer dengan usaha kegiatan pertambangan batubara. Secara geografis, lokasi kegiatan pertambangan batubara CV. Tujuh

Tujuh terletak pada 117°11'20" s/d 117°12'32" BT dan 00°27'08" s/d 00°27'59" LS. Sementara secara administrasi, terletak di Kelurahan Sungai Pinang Dalam, Kecamatan Samarinda Utara, Samarinda, Kalimantan Timur. CV. Tujuh Tujuh berbatasan dengan CV. Limbuh di sebelah selatan dan barat dan di sebelah timur berbatas dengan KSU. Putra Mahakam Mandiri. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Propinsi (RTRWP) Kalimantan Timur, lokasi pertambangan tersebut termasuk ke dalam kawasan budidaya non kehutanan (KBNK).

Cadangan total batubara di lahan eksploitasi CV Tujuh Tujuh adalah sebanyak 371.685,60 ton. Luas wilayah untuk kegiatan pertambangan batubara mencakup wilayah KP eksploitasi seluas 189,4 ha dan rencana produksi sebesar 20.000 ton/bulan, sehingga pertahun terdapat produksi sebanyak 240.000 ton. Batubara yang diperoleh memiliki nilai kalori sebesar 4,774 – 5,857 cal/kg, dengan kandungan abu sebanyak 0,73 – 4,3%.

Kegiatan penambangan dilakukan berdasarkan blok mulai dari arah selatan menuju utara, dengan metode penambangan terbuka (*open pit*). Batubara yang diperoleh diletakkan sementara di dalam lokasi penambangan dengan luas areal penimbunan sebesar 30.500 m<sup>2</sup>.

### **2.10.2. Kondisi Biofisik Lokasi Pertambangan**

Iklim lokasi penambangan CV. Tujuh Tujuh termasuk ke dalam tipe tropis basah dengan suhu rata-rata 31,7 °C. Curah hujan rata-rata mencapai 212,5 mm, sedangkan penyinaran matahari sebesar 45,7.

Kondisi awal lokasi pertambangan sebelum dieksploitasi adalah berupa semak belukar, padang ilalang dan kebun terbuka dengan jenis tanaman perupuk, sengon, akasia, sungkai, rengas, karet, kelapa, pisang, mangga, rambutan, leban, nangka, gelinggang, kopi, dan aren serta pada beberapa tempat terdapat bekas ladang yang sudah lama ditinggalkan. Morfologi

lokasi penambangan berupa perbukitan bergelombang sedang dengan ketinggian 13 – 60 m dari muka air laut. Lokasi pertambangan CV. Tujuh Tujuh termasuk ke dalam Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Karang Mumus, yang merupakan bagian dari DAS Mahakam. Air Sungai Karang Mumus digunakan oleh masyarakat sebagai MCK, transportasi dan pertanian.

