

### III. TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1 Lahan Gambut: Studi Kasus di Cagar Biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu

Secara geografis Cagar Biosfer GSK-BB merupakan hutan gambut dataran rendah dengan beberapa danau alam dan salah satu dari 553 cagar biosfer yang tergabung dalam *UNESCO's World Network of Biosphere Reserves* (WNBR). Cagar ini menggabungkan Suaka Margasatwa Giam Siak Kecil dan Bukit Batu yang terletak di tiga kabupaten masing-masing Bengkalis, Siak dan Kota Dumai dengan total area mencapai 701.984 hektare (Dephut 2009). Berdasarkan zonasi, Cagar Biosfer GSK-BB terbagi atas area inti seluas 178.722 hektar untuk konservasi sumber daya alam, pemantauan ekosistem, dan penelitian; zona penyangga seluas 222.425 hektar (32%) untuk kegiatan kerja sama yang tidak bertentangan dengan fungsi ekologis dan area transisi seluas 304.123 hektare (43%) sebagai tempat berbagai kegiatan pertanian, pemukiman, dan lainnya (Dewi 2009).

Sebagian besar wilayah di cagar telah dikonversi menjadi Hutan Taman Industri yang ditanami kayu pulp, lahan perkebunan kelapa sawit dan perambahan perladangan oleh penduduk setempat. Alih fungsi lahan ini mengakibatkan berkurangnya lapisan kanopi hutan dan dapat mengganggu keseimbangan lingkungan (Partomiharjo *et al.* 2007). Walaupun demikian, keanekaragaman hayati Cagar Biosfer GSK-BB sangat tinggi. Beberapa spesies di cagar ini termasuk ke dalam jenis flora dan fauna yang dilindungi. Partomiharjo *et al.* (2007) melaporkan sedikitnya terdapat 159 jenis burung, 10 jenis mamalia, 13 jenis ikan, 8 jenis reptil, 52 jenis tumbuhan langka dan 189 spesies tanaman yang tergolong kedalam 113 genus dan 59 famili. Marga pohon yang dominan adalah *Calophyllum*, *Chamnosperma*, *Dyera*, *Alstonia*, *Shorea*, *Gonystylus*, dan *Palaquium*. Hal yang sangat menarik adalah masih banyak ditemukannya jenis ramin (*Gonystylus bancanus*) dan gaharu (*Aquilaria beccariana*), serta meranti bunga (*Shorea teysmanniana*) dan punak (*Tetramerista glabra*) yang dikenal sebagai indikator hutan rawa yang masih baik.

#### 3.2 Indikator Kualitas Tanah

Kualitas tanah merupakan kapasitas tanah untuk berperan dalam ekosistem, menjaga kualitas lingkungan, meningkatkan kesuburan tanaman dan menyokong pertumbuhan organisme yang ada di atasnya (Doran dan Parkin 1994). Analisis kualitas tanah perlu dilakukan untuk mengevaluasi manajemen penggunaan lahan, sebagai upaya untuk memelihara dan memperbaiki kondisi tanah, serta sangat berhubungan dengan sumber nutrisi yang ada di tanah (USDA 1996).



Kualitas lahan dapat dianalisis melalui parameter lahan secara fisika, kimia, dan biologi (Doran dan Parkin 1994; USDA 1996; O'Neill dan Amacher 2003). Parameter fisika memberikan informasi tentang porositas, *bulk density*, berat kering tanah dan stabilitas agregat tanah (O'Neill dan Amacher 2003). Parameter kimia meliputi pengukuran bahan organik (total organik karbon dan total nitrogen), pH dan pengukuran kontaminasi bahan berbahaya seperti arsenik dan logam, serta salinitas (Doran dan Parkin 1994). Sementara parameter biologi meliputi populasi biota tanah, keanekaragaman dan aktivitas mikroba tanah (Boerner *et al.* 2005; Bahig *et al.* 2008). Diantara parameter aktivitas mikroba adalah aktivitas eksoenzim tanah, respirasi tanah dan biomasa mikroba yang merupakan indikator kualitas tanah secara biologi.

### 3.2.1 Eksoenzim Tanah

Eksoenzim tanah berasal dari berbagai sumber seperti tanaman, hewan, dan mikroba tanah. Eksoenzim tersebut meliputi amilase, arilsulfatase,  $\beta$ -glukosidase, selulase, khitinase, dehidrogenase, fosfatase, protease, urease dan lain-lain (Makoi dan Ndakidemi 2008). Enzim-enzim tersebut akan menghidrolisis substrat yang ada disekitarnya untuk menghasilkan nutrisi atau karbon organik yang dibutuhkan oleh mikroba, dan detoksifikasi senyawa-senyawa yang ada di lingkungan (Tate 1999; Bahig *et al.* 2008).

Aktivitas eksoenzim tanah berubah sangat cepat dibanding parameter lainnya sehingga dapat digunakan sebagai indikator awal dari perubahan kualitas tanah. Hubungan tersebut diperlihatkan sangat jelas ketika tanah terpapar dengan logam berat seperti Cd, Zn, Cu, dan Pb yang aktivitas enzimatisnya lebih rendah dari tanah yang tidak terkontaminasi (Lee *et al.* 2002). Aktivitas enzim  $\beta$ -glukosidase dan fosfatase pada sampel tanah Sungai Wisconsin, USA yang mengalami gangguan akibat aktivitas antropogenik mengalami penurunan aktivitas setelah dibangun bendungan pada sungai tersebut bila dibandingkan dengan sampel tanah yang diambil dari luar bendungan (Kang dan Stanley 2005). Aktivitas eksoenzim (khitinase, fosfatase asam, fenol oksidase) pada tanah hutan yang mengalami kebakaran lebih tinggi dibanding tanah hutan yang tidak terbakar (Boerner *et al.* 2005).

#### 3.2.1.1 Dehidrogenase

Dehidrogenase merupakan enzim dasar dalam mikroba tanah yang terlibat dalam proses respirasi, siklus asam sitrat dan metabolisme nitrogen. Dehidrogenase termasuk kelompok oksidoreduktase yang mengkatalisis senyawa organik dengan memindahkan dua atom hidrogen (H) (Subhani *et al.* 2001). Aktivitas dehidrogenase dapat ditentukan dengan penambahan larutan garam tetrazolium (TTC, INT) ke dalam sampel tanah. Atom H melalui



reaksi hidrolisis dapat dipindahkan ke dalam larutan garam tetrazolium dengan mengubah tetrazolium menjadi formazan merah. Konsentrasi formazan setelah diekstraksi dengan pelarut organik diukur dengan spektrofotometer (*Department of Environmental Chemistry* 2009). Aktivitas dehidrogenase dipengaruhi oleh beberapa faktor. Aktivitas dehidrogenase berjalan baik pada pH tanah yang rendah, tetapi maksimal pada pH antara 7,4 dan 8,5. Suhu 37°C akan meningkatkan aktivitas dehidrogenase, terutama pada kelembaban yang tinggi (Subhani *et al.* 2001).

### 3.2.1.2 Selulase

Selulase merupakan kelompok enzim selulolitik yang menghidrolisis selulosa dengan memutus ikatan  $\beta$ -1,4-glukosa (Ibrahim dan El-diwany 2007) sehingga dihasilkan selobiosa. Selulase berperan dalam humifikasi material organik tanaman dan dekomposisi sisa tanaman sebagai langkah pertama pada proses mineralisasi selulosa (Hakamada 1998). Degradasi selulosa di alam berlangsung lambat dan akan lebih cepat jika mikroba tanah ikut serta dalam proses dekomposisi tersebut (Kanti 2007). Balota *et al.* (2004), mengukur aktivitas selulase pada lahan pertanian Parana, Brazil. Hasilnya menunjukkan bahwa aktivitas selulase sangat tinggi pada kedalaman tanah 0-20 cm dan berkurang pada kedalaman >20 cm. Hakamada (1998) mengukur aktivitas dan temperatur optimum enzim selulase dari 20 sampel tanah dari lahan pertanian di Jepang. Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur optimal enzim selulase pada tanah pertanian berkisar antara 55,6 sampai 67°C. Substrat yang digunakan untuk mengukur aktivitas selulase antara lain *p*-nitrophenyl- $\beta$ -cellobioside dan carboxymethyl-cellulase.

### 3.2.1.3 Selobiohidrolase

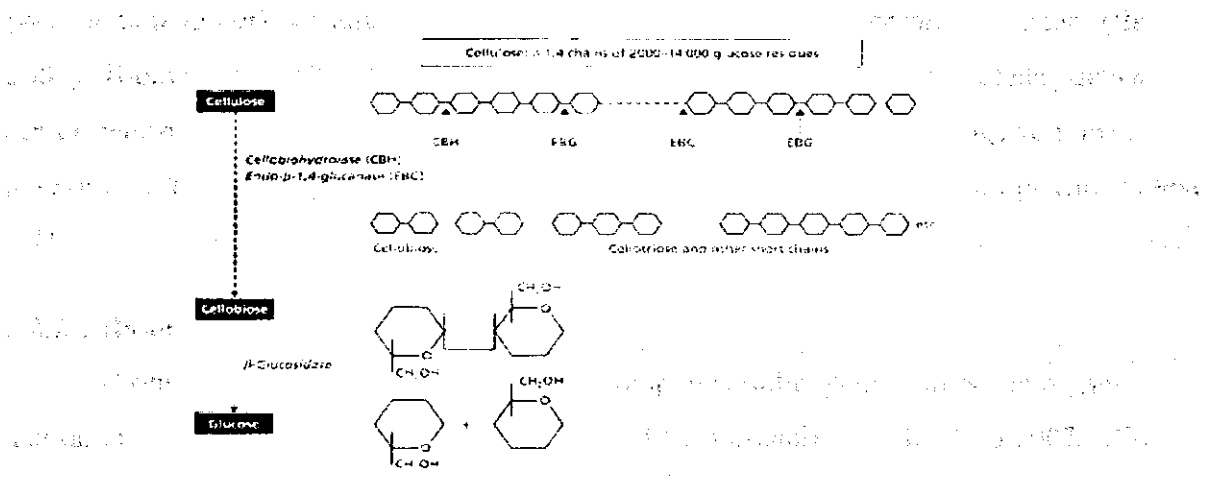
Selobiohidrolase merupakan salah satu eksoenzim dari tiga kompleks enzim selulase (Beguín dan Aubert 1994). Ketiga enzim selulase bekerja menghidrolisis selulosa baik secara bersamaan atau berturut-turut. Enzim ini menyerang selulosa terutama pada gugus selobiosa. Selobiohidrolase memecah selulosa melalui pemotongan ikatan hidrogen yang menyebabkan rantai-rantai selobiosa mudah untuk dihidrolisis lebih lanjut (Irawan *et al.* 2008). Hidrolisa selanjutnya berlangsung sehingga diperoleh glukosa yang dilakukan oleh enzim  $\beta$ -glukosidase (Beguín dan Aubert 1994). Dengan demikian selobiohidrolase memiliki peranan penting terhadap berlangsungnya proses dekomposisi dan siklus karbon (Varrot *et al.* 2003).

### 3.2.1.4 $\beta$ -glukosidase

$\beta$ -glukosidase juga termasuk kelompok enzim selulolitik yang menghidrolisis berbagai

$\beta$ -glukosidase secara umum dihasilkan

oleh mikroba tanah, yang secara aktif berada pada permukaan tanah (Wang dan Lu 2006).  $\beta$ -glukosidase bertanggung jawab dalam proses perubahan selobiosa menjadi glukosa (Eivazi dan Tabatabai 1990) yang aktivitasnya sangat bergantung dari kualitas material organik. Hasil akhir dari enzim ini adalah glukosa.  $\beta$ -glukosidase merupakan refleksi dari aktivitas biologi, karena enzim ini sangat sensitif terhadap perubahan pH, dan praktek manajemen lahan. Aktivitas  $\beta$ -glukosidase dapat diukur secara kolorimetri dengan penambahan dan inkubasi larutan tanah dengan substrat *p*-nitrophenyl- $\beta$ -D-glukosida (PNG) (Wang dan Lu 2006). Tahapan hidrolisis selulosa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema tahapan dalam selulolisis

### 3.2.1.5 Fosfatase Asam

Fosfatase merupakan enzim yang berperan penting dalam siklus P karena mampu mempercepat perubahan P organik menjadi P anorganik (Salam *et al.* 1999). Fosfatase di alam terdiri atas fosfatase asam dan fosfatase basa. Fosfatase basa berperan dalam mineralisasi fosfat yang efektif bekerja pada tanah basa dengan pH optimum berkisar antara 8 sampai 8,5. Fosfatase asam berperan penting dalam generasi, mineralisasi, dan imobilisasi fosfat anorganik pada tanah masam atau tanah gambut (Reilly *et al.* 2009; Olander dan Vitousek 2000). Fosfatase asam mengkatalis substrat secara optimal pada pH <7. *Para*-nitrophenyl phosphate (*p*-NPP) merupakan substrat kromogenik yang digunakan untuk mengukur aktivitas fosfatase. Penggunaan *p*-NPP sebagai substrat akan menginduksi produksi fosfomonoesterase. Reaksi *p*-NPP menghasilkan larutan berwarna kuning dan sensitivitasnya diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 405 nm (Olander dan Vitousek 2000).

### 3.2.2 Biomasa Mikroba

Biomasa mikroba tanah merupakan komponen mikroba pada ekosistem yang dengan cepat merespons perubahan kondisi tanah terutama pada penurunan dan peningkatan residu tanaman dan hewan tanah (Brookes 2001). Di alam, biomasa mikroba tanah berperan penting dalam siklus nutrisi di tanah. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya korelasi positif antara jumlah nutrisi yang telah dimineralisasi dengan jumlah nutrisi yang terdapat di tanah (Smith *et al.* 1993), sehingga biomasa mikroba dapat digunakan sebagai indikator perubahan kualitas tanah dan siklus nutrisi (Hargreaves *et al.* 2003; Hu dan Cao 2007). Biomasa mikroba tanah pada umumnya berkisar antara 1-4% dari total kandungan bahan organik di tanah (Brookes 2001). Biomasa mikroba tanah dapat diukur menggunakan beberapa metoda, diantaranya *direct microscopic counting*, *chloroform fumigation incubation*, *fumigation extraction*, *adenosine 5'triphosphate* (Brookes 2001), *substrate-induced respiration* dan penentuan level ATP.

#### 3.2.2.1 Biomasa Karbon (C) Mikroba

Biomasa C mikroba tanah merupakan komponen hidup penyusun bahan organik tanah dan umumnya terdiri dari 1-5% kandungan total bahan organik (Hu dan Cao 2007). Biomasa C mikroba merupakan gambaran keberadaan biota tanah dan indeks potensial dalam mengukur laju degradasi residu tanaman dan siklus nutrisi (Hargreaves *et al.* 2003). Komposisi dan aktivitas biomasa mikroba mempengaruhi kuantitas dan kualitas ketersediaan material organik tanah (Hernandez-Hernandez *et al.* 2002). Aktivitas antropogenik, seperti pembakaran hutan berdampak besar terhadap kehilangan karbon pada lapisan 0 - 5 cm tanah (Pennington *et al.* 2001).

#### 3.2.2.2 Biomasa Fosfat (P) Mikroba

Biomasa P mikroba berperan penting dalam proses transformasi biokimia P organik menjadi P anorganik sehingga P mampu diserap oleh tumbuhan. Selain itu, biomasa P mikroba juga mempengaruhi ketersediaan fosfat melalui imobilisasi, yaitu pengikatan ion ortofosfat menjadi bentuk organik yang terikat dalam organisme. Konsentrasi biomasa P mikroba tanah bervariasi tergantung pada jenis vegetasi tumbuhan dan jenis tanahnya. Berdasarkan penelitian Lawrence *et al.* (1998) ditemukan bahwa pada hutan primer lahan basah tropis mengandung 30-301 kg P/ha biomasa P mikroba, sedangkan hutan sekunder hanya mengandung biomasa P sebanyak 17-137 kg P/ha. Biomasa P mikroba pada tanah merah asam berkisar 4,5 mg P/kg sampai 52,3 P/kg (Guo-Chao dan Zhen-Li 2003).

### 3.2.3 Respirasi Tanah

Respirasi tanah mencerminkan produktivitas suatu ekosistem (Sawamoto *et al.* 2000) sehingga dapat digunakan untuk menentukan efek gangguan ekosistem terhadap komunitas mikroba dan kualitas tanah. Respirasi tanah merupakan kombinasi respirasi akar (autotroph) dan respirasi mikroba tanah (heterotroph). Respirasi tanah merupakan refleksi dari siklus karbon (Ryan dan Law 2005). Respirasi tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor abiotik (suhu, ketersediaan air) dan biotik (kuantitas dan kualitas sisa-sisa vegetasi tanaman, respirasi akar dan komunitas mikroba tanah) (MC Culley *et al.* 2007). Selain itu, sistem manajemen tanah dan penggunaan lahan juga dapat mempengaruhi aktivitas respirasi tanah.

Beberapa metode dapat digunakan untuk mengukur laju respirasi mikroba tanah. Metode pengukuran ini berdasarkan laju penggunaan oksigen ( $O_2$ ) dan laju karbon dioksida ( $CO_2$ ) yang dihasilkan. Laju penggunaan oksigen digunakan sebagai pengukur aktivitas respirasi seluler. Pengukuran ini menggunakan beberapa oksigen-elektroda seperti *microprobes* yang dapat digunakan pada pengukuran *in situ* dan alat respirometer untuk mengukur perubahan volume gas. Pengukuran  $CO_2$  biasanya untuk pengukuran laju respirasi di tanah. Karbon dioksida yang dihasilkan oleh mikroba dapat ditambat dengan menggunakan larutan alkali dan penghitungan menggunakan metode titrasi dengan penambahan asam (Atlas dan Bartha 1998).

### 3.2.4 Mikroba Tanah

Kelompok mikroba tanah adalah bakteri, aktinomisetes, jamur, alga dan protozoa. Mikroba tanah berperan dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus hara, sehingga berpengaruh terhadap sifat fisik dan kimia tanah (Purwaningsih 2004; Isroi 2008). Keberadaan mikroba tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: 1) jumlah dan jenis zat hara, 2) kelembaban, 3) aerasi, 4) suhu, dan 5) pH. Selain itu, keberadaan mikroba tanah juga dipengaruhi oleh faktor penggunaan lahan, teknik manajemen tanah, pemupukan, dan aktivitas antropogenik lainnya. Praktek manajemen lahan dapat merubah struktur dan pori tanah, yang pada akhirnya menyebabkan perubahan lingkungan mikro. Hal tersebut akan mengakibatkan perubahan komposisi komunitas dan aktivitas mikroba tanah (Sylvia *et al.* 2005).

Sudah lama diketahui bahwa mikroba dapat digunakan sebagai salah satu indikator dalam monitoring kualitas suatu ekosistem (Winding *et al.* 2005). Mikroba tanah berperan dalam perubahan senyawa organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana. Perubahan senyawa kimia tanah, terutama perubahan senyawa anorganik yang mengandung karbon,

Jamur tanah adalah salah satu mikroba



tanah yang mempunyai peranan penting dalam siklus hara yang selanjutnya akan menentukan kesuburan tanah.

#### 3.2.4.1 Bakteri Selulolitik

Bakteri selulolitik adalah bakteri yang dapat menghasilkan enzim selulolitik. Sebagian besar bakteri selulolitik hidup pada lapisan atas tanah di kedalaman 0 – 30 cm dan bersifat aerob. Bakteri selulolitik merupakan bakteri gram negatif, berbentuk batang, nonmotil, dapat tumbuh pada medium nutrient agar, dengan temperatur dan pH optimal yaitu 25-35°C dan 6-8 (Han dan Srinivasan 1968). Isolasi bakteri selulolitik pada tanah dapat dilakukan dengan menumbuhkannya pada medium padat yang diperkaya selulosa. Koloni bakteri yang tumbuh akan membentuk zona bening sehingga memudahkan untuk mendeteksi bakteri selulolitik (Hendricks *et al.* 1995). Beberapa spesies bakteri yang termasuk dalam bakteri selulolitik diantaranya: *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Cytophaga*, *Streptomyces* (Alam *et al.* 2004), *Clostridium thermocellum*, *Ruminococcus albus*, *Streptomyces* sp. serta kelompok *Actinomycetes* seperti *Streptomyces* sp. dan *Thermomonospora curvata* (Irawan *et al.* 2008).

#### 3.2.4.2 Bakteri Pelarut Fosfat

Fosfat di tanah umumnya berada dalam bentuk yang tidak terlarut, total P terlarut hanya sebesar 0,1% (Tilaki *et al.* 2005). Oleh karena itu, fosfat perlu dikonversi dalam bentuk terlarut sehingga tersedia bagi tumbuhan. Konversi fosfat di alam dapat terjadi karena adanya kemampuan dari beberapa mikroba dalam melarutkan fosfat organik menjadi fosfat anorganik yang dikenal dengan mikroba pelarut fosfat. Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan bakteri tanah yang dapat melarutkan P yang bersenyawa dengan Al-P dan Fe-P (Hartono 2000).

Mikroba pelarut fosfat berhubungan erat dengan siklus P karena berperan dalam mineralisasi P-organik. BPF pada umumnya terdiri dari genus *Rhizobium* (Abd-Alla 1994) *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter*, *Proteus* dan *Klebsiella* (Thaller *et al.* 1995), *Bacillus* sp., *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas* (Gaur *et al.* 1980) dan *Chromobacterium* sp. (Widawati dan Suliasih 2006). Kelompok BPF yang banyak terdapat pada tanah pertanian di Indonesia berasal dari genus *Enterobacter* dan *Mycobacterium* (Gunarto dan Nurhayati 1994). Jenis dan jumlah BPF yang terdapat di tanah sangat bervariasi tergantung pada vegetasi dan jenis tanahnya. Tanah gambut Kalimantan Tengah kaya dengan *Rizobacteria* sp. yang efektif dalam melarutkan P yang tidak tersedia (Sitepu *et al.* 2007).