

## BAB. III

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1. Keanekaragaman mikroba tanah

Tanah merupakan habitat bagi mikroba (meliputi bakteri, jamur, actinomycetes, alga dan protozoa) dan fauna tanah (meliputi cacing, semut, rayap dan lainnya) (Minasny *et al.* 2008). Organisme tanah tersebut berinteraksi satu sama lain, dengan akar tumbuhan, dan dengan lingkungannya sehingga terbentuk rantai makanan di tanah. Keanekaragaman organisme tanah diketahui sangat tinggi. Kemelimpahan bakteri misalnya mencapai hingga jutaan species dalam satu gram tanah (Gans *et al.* 2005). Mikroba menempati hampir seluruh habitat alami di bumi. Jumlah bakteri di bumi diperkirakan mencapai  $(4-6) \cdot 10^{30}$ , meliputi  $1.2 \cdot 10^{29}$  sel di laut lepas dan  $2.6 \cdot 10^{29}$  sel di tanah dan diperkirakan mengandung 350-550 Pg karbon, 85-130 Pg nitrogen dan 9-14 Pg fosfor (Whitman *et al.* 1998). Diantara biota tanah, bakteri dan jamur menyusun bagian terbesar dari biomasa tanah yang menghasilkan sekitar 1-2 dan 2-5 t biomasa/ha lahan di padang rumput (Killham 1994).

Bakteri tanah dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu bakteri *autochthonous* (indigenus) dan *allochthonous*. Bakteri indigenus merupakan bakteri yang telah lama hidup di suatu komunitas tanah dan berperan serta dalam melakukan fungsi biokimia dalam komunitas tersebut. Bakteri *allochthonous* merupakan bakteri yang hanya tinggal dalam beberapa waktu tertentu pada suatu komunitas (Alexander 1977). Kebanyakan bakteri tanah adalah heterotroph karena tanah mengandung material organik yang tinggi. Diantara fraksi bakteri yang dapat dikulturkan (*culturable bacteria*), diperoleh sembilan genera yang dominan di tanah, yaitu: *Arthrobacter* (5-60%), *Bacillus* (7-67%), *Pseudomonas* (3-15%), *Agrobacterium* (hingga 20%), *Alcaligenes* (2-12%), dan *Flavobacterium* (2-10%) (Alexander 1977). Disisi lain, analisis keanekaragaman bakteri menggunakan amplifikasi gen 16S rRNA menunjukkan bahwa phyla *Proteobacteria*, *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Gemmatimonadetes*, *Verrucomicrobia*, *Bacteroidetes*, *Planctomycetes*, *Chloroflexi*, dan *Firmicutes* adalah komponen yang dominan di tanah (Janssen 2006).

Populasi bakteri tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: (1) tekstur tanah, (2) kandungan air, (3) ketersediaan bahan organik, (4) suhu, (5) pH dan (6) aktivitas antropogenik (pemupukan, praktik pertanian, penggunaan pestisida) (Rao

1994). Faktor-faktor ini tidak hanya mempengaruhi populasi bakteri tetapi juga mempengaruhi penyebaran dan jenis bakteri tanah. Akan tetapi sejauh ini, belum diketahui dengan jelas faktor apa saja yang mempengaruhi dan mengontrol komposisi komunitas mikroba tanah. Selain faktor biotik dan abiotik, masih sedikit diketahui apakah redundansi fungsi, relung ekologi, atau mekanisme adaptif juga berperan dalam memodifikasi komposisi komunitas mikroba tanah (Wertz *et al.* 2006). Salah satu faktor lingkungan yang memodifikasi komunitas mikroba adalah vegetasi yang ada dipermukaan tanah (Bezemer *et al.* 2006; Carney *et al.* 2005). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa komposisi komunitas bakteri di tanah lisimeter yang tidak ditumbuhi tanaman berbeda komposisinya dengan tanah lysimeter yang telah ditumbuhi dengan variasi jumlah dan jenis tanaman (Zul *et al.* 2007).

Berbagai pengaruh berbeda dari komposisi dan jumlah jenis tumbuhan terhadap aktivitas dan komposisi komunitas mikroba telah dilaporkan (Fierer *et al.* 2006, Grüter *et al.* 2006). Hasil-hasil penelitian terdahulu memperlihatkan kecenderungan yang tidak konsisten dari korelasi tumbuhan terhadap keanekaragaman mikroba tanah (Tabel 1), sehingga implikasi dari keanekaragaman tumbuhan dalam memodifikasi aktivitas dan keanekaragaman mikroba tanah tetap saja belum dimengerti.

**Tabel 1.** Rekapitulasi penelitian tentang korelasi antara jenis dan keanekaragam tumbuhan terhadap keanekaragaman mikroba di tanah

| Deskripsi lokasi pengambilan sampel tanah   | Respon dari mikroba tanah   | Referensi                  |
|---|---|----------------------------|
| Padang rumput yang dimodifikasi dari monokultur hingga ditanami kombinasi 32 jenis rumput, herba dan polong-polongan.                                   | Keanekaragaman dan jenis tumbuhan berkorelasi positif terhadap aktivitas dan keanekaragaman fungsi dari mikroba tanah.                          | Stephan <i>et al.</i> 2000 |
| Tanah di padang rumput asam tanpa tumbuhan, monokultur <i>Carex flacca</i> atau <i>Festuca ovina</i> , dan ditanami 12 jenis campuran rumput dan herba. | Tidak ada pengaruh signifikan dari jenis tumbuhan, tetapi kelompok fungsional tumbuhan memperlihatkan pengaruh terhadap keanekaragaman mikroba. | Johnson <i>et al.</i> 2003 |
| Lahan percobaan yang ditumbuhi 1, 3, 5 and >25 jenis tumbuhan dari <i>Cedrela odorata</i> (untuk monokultur), palem, and tanaman berkayu keras.         | Efek signifikan keanekaragaman tumbuhan terhadap komposisi komunitas mikroba.   | Carney <i>et al.</i> 2005  |
| Tanah llsimeter yang dibiarkan tanpa tanaman dan lysimeter yang ditanami 2, 4, dan 8 kombinasi rumput dan tanaman herba.                                | Keberadaan tumbuhan berpengaruh terhadap komposisi komunitas mikroba.   | Zul <i>et al.</i> 2007     |

Implikasi hilang atau berkurangnya vegetasi karena faktor alam atau aktivitas antropogenik terhadap perkembangan dan berkelanjutan ekosistem baik jangka pendek maupun jangka panjang masih sangat sedikit diketahui (Jackson *et al.* 2008; Fisk *et al.* 2003). Penggunaan dan pembukaan lahan menyebabkan penurunan jumlah jenis vegetasi atau perubahan vegetasi lahan yang tidak hanya akan mempengaruhi komposisi komunitas dan aktivitas mikroba, tetapi juga akan merubah properti tanah. Pengolahan lahan tersebut menyebabkan kompaksi tanah yang pada akhirnya akan meningkatkan *bulk density* dan menurunkan ruang pori tanah (Johnson *et al.* 1991), yang seterusnya akan mengurangi laju siklus biokimia beberapa unsur (Waldrop *et al.* 2000).

### **3.2. Aktivitas Mikroba Tanah: Sebagai Indikator Terhadap Tekanan Penggunaan Lahan**

Sudah lama diketahui bahwa mikroba dapat digunakan sebagai salah satu indikator dalam memonitor kualitas suatu ekosistem (Winding *et al.* 2005). Penggunaan mikroba tersebut melalui monitoring aktivitasnya pada ekosistem tertentu. Aktivitas mikroba tanah mencerminkan keseluruhan aktivitas metabolisme seluruh mikroba tanah termasuk bakteri, actinomycetes, jamur, alga, protozoa, tumbuhan dan mikrofauna. Aktivitas mikroba tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain penggunaan lahan, teknik manajemen tanah, penggunaan pupuk, pestisida dan aktivitas antropogenik lainnya. Praktek manajemen lahan dapat merubah struktur dan pori tanah yang menyebabkan perubahan lingkungan mikro sebagai habitat dari mikroba. Hal tersebut akan mengakibatkan perubahan komposisi komunitas dan aktivitas mikroba tanah (Sylvia *et al.* 2005). Diantara parameter aktivitas mikroba yang merupakan indikator kualitas tanah secara biologi adalah respirasi tanah, biomasa mikroba, dan eksoenzim tanah

#### **3.2.1 Respirasi Tanah**

Respirasi tanah adalah tipikal parameter aktivitas metabolik dari populasi mikroba/biota tanah yang berkorelasi positif dengan material organik tanah dan merupakan refleksi dari siklus karbon (Ryan and Law 2005). Respirasi tanah merupakan kombinasi respirasi akar (autotroph) dan respirasi mikroba tanah (heterotroph). Kecepatan respirasi tanah dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik, antara lain suhu dan kelembaban tanah (Kaur *et al.* 2007, Raich and Potter 1995), penggunaan lahan (Frank *et al.* 2006), praktek manajemen tanah (Raich and Potter



1995), serta populasi dan dinamika komunitas flora fauna tanah (Raich and Schlesinger 1992). Karena dikontrol oleh berbagai faktor lingkungan dan perubahannya (Rustad *et al.* 2000), maka kecepatan respirasi tanah dapat digunakan untuk menentukan efek gangguan ekosistem terhadap komunitas mikroba dan kualitas tanah pada akhirnya.

Beberapa metode dapat digunakan untuk mengukur laju respirasi mikroba tanah. Metode pengukuran ini berdasarkan laju penggunaan oksigen ( $O_2$ ) atau laju karbon dioksida ( $CO_2$ ) yang dihasilkan. Laju penggunaan oksigen digunakan sebagai pengukur aktivitas respirasi seluler. Pengukuran ini menggunakan 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 ditambah dengan menggunakan larutan alkali dan penghitungan menggunakan metode titrasi dengan penambahan asam (Atlas dan Bartha 1998).

### 3.2.2 Biomasa mikroba

Biomasa mikroba tanah merupakan salah satu parameter biologi tanah yang penting karena parameter tersebut berkorelasi dengan proses ekosistem seperti: integrasi biofisik dari material organik dengan fase padat, cair, dan gas tanah. Biomasa mikroba juga sangat penting dalam pengaturan jumlah dan kualitas komponen-komponen dalam siklus hidrologi dan emisi gas serta dapat digunakan sebagai indikator keberadaan biota tanah (Hargreaves *et al.* 2003), karena mikroba sangat peka terhadap aktivitas pengolahan tanah dan polusi (Dilly 2006). Biomasa mikroba merupakan komponen penting dalam mempertahankan fungsi tanah karena berperan dalam proses transformasi unsur C, N, dan P. Komposisi dan aktivitas biomasa mikroba mempengaruhi kuantitas dan kualitas ketersediaan material organik tanah. Oleh karenanya pengurangan biomasa mikroba dapat mengurangi laju siklus nutrien dan jumlah nutrien di tanah (Hernandez-Hernandez *et al.* 2002). 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 dapat digunakan sebagai indeks potensial dalam mengukur laju degradasi residu tanaman dan siklus karbon (Hargreaves *et al.* 2003), sedangkan biomasa (P) mikroba digunakan sebagai indeks potensial dalam mengukur laju siklus fosfor.

Pengukuran biomasa mikroba dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu metode fumigasi-inkubasi, metode fumigasi-ekstrak (FEM), *substrate-induced*

*respiration method* (SIR) dan penentuan level ATP. Metode fumigasi-ekstraksi dan fumigasi-inkubasi digunakan untuk menentukan organisme yang peka terhadap reaksi fumigasi contohnya, organisme yang mudah lisis terhadap kloroform. Metode fumigasi-ekstraksi juga dapat mendeteksi mikroba zimogen dan *autochthonous*. Metode *substrate-induced respiration* digunakan untuk memperkirakan biomasa mikroba yang merespon dengan cepat senyawa yang mudah terdegradasi seperti glukosa (Dilly 2006).

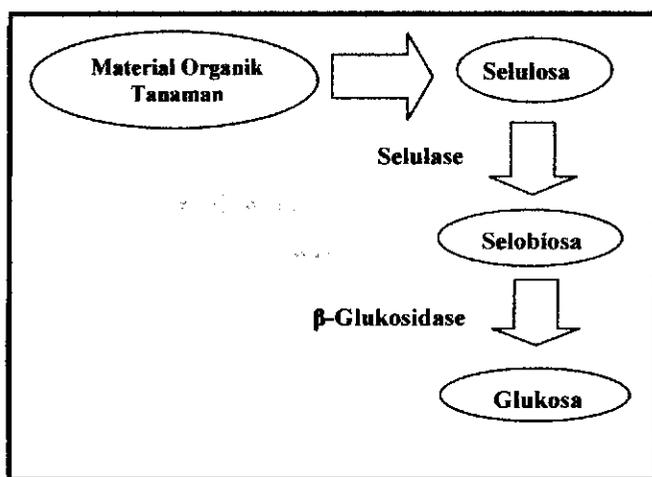
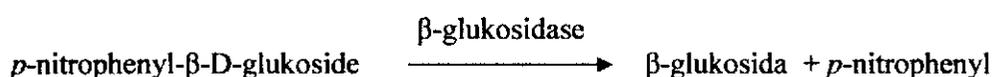
### 3.2.3 Eksoenzim Tanah

Eksoenzim tanah berasal dari berbagai sumber seperti tanaman, hewan, bahan organik dan terutama oleh mikroba tanah. Eksoenzim tersebut meliputi amilase, arilsulfatase,  $\beta$ -glukosidase, selulase, selobiohidrolase, khitinase, dehidrogenase, fosfatase, protease, urease dan lain-lain (Makoi dan Ndakidemi 2008). Aktivitas eksoenzim tanah berubah sangat cepat bila dibandingkan dengan parameter lainnya (Bergstrom *et al.* 1998). Gangguan aktivitas mikroba tanah sebagaimana ditunjukkan oleh perubahan level dari metabolik enzim dapat digunakan sebagai indikator dari perubahan ekosistem. Hubungan tersebut diperlihatkan sangat jelas ketika tanah terpapar dengan logam berat seperti Cd, Zn, Cu dan Pb yang aktivitas enzimatisnya lebih rendah dibanding tanah yang tidak terkontaminasi logam berat (Lee *et al.* 2002).

Aktivitas eksoenzim tanah di lahan gambut masih sedikit diketahui (Jackson *et al.* 2008; Dedysh *et al.* 2006). Banyak penelitian menggunakan pengukuran aktivitas eksoenzim untuk mempelajari keterkaitan antara dampak penggunaan lahan dengan total aktivitas mikroba (Zul *et al.* 2009; Acozta-Martinez *et al.* 2007). Eksoenzim tanah berperan dalam proses dekomposisi material organik dengan 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). Eksoenzim yang berperan dalam proses dekomposisi material organik di tanah diantaranya yaitu: selulase,  $\beta$ -glukosidase, selobiohidrolase (enzim selulolitik) (Renella *et al.* 2008) dan fosfatase.

Enzim selulolitik merupakan kelompok enzim ekstraseluler yang menghidrolisis selulosa, polisakarida dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glukosa (Ibrahim dan El-diwany 2007). Hasil akhir dari hidrolisis selulase meliputi selobiosa dan oligosakarida (Kanti 2007). Selanjutnya selobiosa diubah menjadi glukosa (Gambar 1) oleh  $\beta$ -glukosidase yang aktivitasnya sangat bergantung dari kualitas material organik (Eivazi dan Tabatabai 1990). Penelitian terdahulu menunjukkan aktivitas  $\beta$ -glukosidase lebih tinggi pada

topsoil atau pada kedalaman 0-20 cm (Wang dan Lu 2006).  $\beta$ -glukosidase merupakan enzim yang menghidrolisis berbagai macam  $\beta$ -glukosida yang terdapat dari sisa dekomposisi tanaman di tanah (Makoi dan Ndakidemi 2008).  $\beta$ -glukosidase merupakan refleksi dari aktivitas biologi, karena enzim ini sangat sensitif terhadap perubahan pH, dan praktek manajemen lahan yang dilakukan. Aktivitas  $\beta$ -glukosidase dapat diukur secara kolorimetri dengan penambahan dan inkubasi larutan tanah dengan substrat *p*-nitrophenil- $\beta$ -D-glukosida (PNG). Aktivitas eksoenzim diukur menggunakan spektrofotometri pada panjang gelombang 410 nm (Wang dan Lu 2006). Reaksi yang berlangsung dapat dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Dekomposisi bahan organik tanaman dan enzim yang terlibat (Xiao-feng *et al.* 2004)

### 3.3 Bakteri Selulolitik

Bakteri selulolitik merupakan bakteri yang menghidrolisis selulosa menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah dengan bantuan enzim selulolitik yang dihasilkannya. Bakteri selulolitik biasanya terdapat di tanah dan juga rumen hewan ruminansia (Karita *et al.* 2003; Alam *et al.* 2004), merupakan bakteri gram negatif, berbentuk batang, nonmotil, tumbuh pada medium nutrisi, dengan temperatur dan pH optimal yaitu 25-35°C dan pH 6-8 (Han dan Srinivasan 1986).

Aktivitas bakteri selulolitik pada tanah diuji secara kualitatif dengan menumbuhkan pada medium padat yang diperkaya selulosa. Koloni bakteri yang tumbuh akan membentuk zona bening sehingga memudahkan untuk mendeteksi bakteri selulolitik (Hendricks *et al.* 1995). Ibrahim dan El-diwani (2007) mengisolasi bakteri selulolitik termofilik dari sampel tanah dan air di Egyptian Hot Spring. Sampel tanah ditumbuhkan pada natrium agar dan diinkubasi selama 1-2 minggu selanjutnya ditambahkan Congo Red untuk memberi warna dan melihat zona bening yang terbentuk. Beberapa spesies bakteri yang termasuk dalam bakteri selulolitik diantaranya: *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Cytophaga*, *Streptomyces* (Alam *et al.* 2004).

### **3.4 Lahan Gambut: Kondisi Kekinian Cagar Biosfer Giam Siak Kecil/Bukit Batu**

Total luas lahan gambut di seluruh dunia adalah sekitar 450 juta hektar yang tersebar di berbagai benua yaitu Asia, Afrika, Amerika dan Eropa. Dari total luas lahan gambut dunia, sekitar 12% tersebar di kawasan tropis basah, terutama Asia, Karibia, Amerika Tengah dan Afrika Selatan (*Wetlands International* 2003). Khususnya di Asia Tenggara terdapat lebih dari 25 juta hektar lahan gambut atau sekitar 69% dari total lahan gambut tropis dunia (Drajat 2007). Indonesia merupakan negara yang memiliki luas lahan gambut terbesar di Asia Tenggara yaitu 50% dari luasan gambut tropis, terutama di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua (*Wetlands International* 2003).

Sebaran lahan gambut di Pulau Sumatera salah satunya terdapat di Provinsi Riau. Propinsi Riau memiliki luas lahan gambut 4,044 juta hektar pada tahun 2002 (Wahyunto *et al.* 2005) dan potensi lahan gambut yang utuh hanya 17% atau sekitar 202.985 hektar (Suprpto 2009). Sebaran lahan gambut yang cukup luas terdapat di sebelah timur hingga ke bagian pesisir. Lahan gambut di Propinsi Riau merupakan gambut yang terdalam di dunia yaitu mencapai 16 meter yang terdapat di wilayah Kuala Kampar (Drajat 2006).

Telah diketahui bahwa fungsi ekologis sekitar 4,3 juta hektar lahan gambut di Propinsi Riau terancam rusak. Mengakibatkan sejumlah hewan dan tumbuhan endemis yang hidup di lahan tersebut mati. Hal ini terjadi karena adanya pembukaan lahan gambut untuk lahan perkebunan, pemukiman penduduk dan pembuatan kanal-kanal (Anonim<sup>a</sup> 2006). Pembukaan lahan ini, akan menyebabkan pelepasan karbon dari lahan gambut ke atmosfer sehingga berpengaruh terhadap perubahan iklim dunia (Napitupulu 2007). Selain itu, faktor yang mengakibatkan fungsi ekologis lahan gambut rusak adalah kebakaran hutan gambut yang selama ini terjadi di Propinsi Riau.

Cagar Biosfer Giam Siak Kecil/Bukit Batu merupakan salah satu kawasan gambut di Propinsi Riau yang merupakan perpaduan unik antara kawasan konservasi dan kawasan yang tidak dikonservasi. Cagar ini memiliki tiga zona, yaitu zona inti (sebagai konservasi sumber daya alam, pemantauan ekosistem, dan penelitian), zona penyangga (sebagai area kerjasama yang tidak mengganggu fungsi ekologis), dan zona transisi (sebagai areal pemukiman, pertanian, dan lain-lain) (Ariyanto 2008). Saat ini, sebagian besar wilayah tersebut sudah berubah fungsi menjadi lahan perkebunan kelapa sawit, hutan tanaman industri yang ditanami kayu pulp dan perambahan perladangan oleh penduduk setempat. Akibatnya lapisan kanopi hutan di suaka margasatwa ini sudah berkurang dan terjadi bukaan kanopi di mana-mana (Partomiharjo *et al.* 2007). Aktivitas tersebut mengakibatkan perubahan vegetasi, sehingga vegetasi asli mulai menyusut dan digantikan oleh semak belukar dan pohon kecil. Secara umum informasi tentang flora, fauna, dan komunitas mikroba hutan rawa gambut masih kurang. Demikian juga halnya dengan lahan gambut yang ada di CB-GSK/BB.

Analisis vegetasi telah dilakukan oleh tim peneliti dari LIPI pada tahun 2007. Hasil penelitian dari cuplikan 24 petak menunjukkan bahwa terdapat sekitar 126 jenis pohon yang tergolong dalam 67 marga dan 34 suku. Jumlah tersebut akan lebih banyak apabila kelompok semak dan anakan pohon diikutkan dalam perhitungan. Tujuh belas pohon jenis utama penyusun hutan rawa gambut telah diidentifikasi yaitu antara lain: *Callophyllum*, *Chamnosperma*, *Dyera*, *Alstonia*, *Shorea*, *Gonystylus*, dan *Palaquium*. Beberapa suku yang umum dijumpai antara lain Euphorbiaceae, Lauraceae, Myristicaceae, Rubiaceae dan Sapotaceae (Partomiharjo *et al.* 2007).

|               |  |                  |
|---------------|--|------------------|
| I (Tahun 1)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Penghitungan total populasi bakteri</li> <li>5. Penghitungan total populasi bakteri selulolitik</li> <li>6. Pengukuran biomassa mikroba</li> <li>7. Pengukuran kecepatan respirasi tanah</li> <li>8. Pengukuran aktivitas eksoenzim</li> </ol> | Telah dikerjakan |
| II (Tahun 2)  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Purifikasi isolat bakteri (dari kegiatan penghitungan total populasi bakteri)</li> <li>2. Identifikasi isolat bakteri secara konvensional</li> <li>3. Penghitungan indeks keanekaragaman</li> </ol>  | Usulan           |
| III (Tahun 3) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Purifikasi isolat bakteri selulolitik</li> <li>2. Seleksi semikuantitatif isolat bakteri selulolitik</li> <li>3. Identifikasi isolat bakteri terseleksi secara konvensional dan molekular</li> </ol>   | Usulan           |