

## Respirasi Tanah sebagai Indikator Kepulihan Lahan Pascatambang Batubara di Sumatera Selatan

*Soil Respiration as Recovery Indicator of Coal Postmining in South Sumatra*

Dwi Setyawan<sup>\*)1</sup> dan H. Hanum<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya

<sup>\*)</sup>Penulis untuk korespondensi: [dsetyawan@unsri.ac.id](mailto:dsetyawan@unsri.ac.id)

### ABSTRACT

Soil respiration has been widely studied in relation to soil health and carbon sequestration. Respiration measurements are better performed in the field, either with *in-situ* static or dynamic systems. This study evaluated the recovery of coal post-mining land in Tanjung Enim, South Sumatra, which is reflected from the ground surface indicators and soil respiration. Observations were carried out at PT Bukit Asam location represented by Muara Tiga Besar (MTB). Secondary forest was also used as a reference. The area had been revegetated generally with sengon, bamboo and acacia in 2000 (North MTB), while planting in 2005, 2006 and 2007 only with acacia interspersed with eucalyptus (South MTB). Soil samples were taken with a number of brass rings and then divided into 0-2, 2-5 and 5-10 cm depth. Respiration with inverted box technique used a solution of 0.5 M KOH. Revegetation increased significantly the organic carbon content from 0.96% to 1.96%, although still lower than organic carbon of the forest soil with the average of 2.81%. There was also a similar pattern found for total N and available P. It is evident that soil enrichment occurs in the 0-2 cm layer. *In situ* soil respiration showed no consistent increase with age of revegetation with values ranging from 670 to 767 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per hour, while the forest soil reaches 789 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per hour. Based on these facts we conclude that soil respiration can not be used as the sole indicator of recovery in coal post-mining land, thus needs to be combined with other variables.

Keywords: Coal mining, soil respiration, static system

### ABSTRAK

Respirasi tanah sudah banyak dikaji dalam kaitannya dengan kesehatan tanah dan sekuestrasi karbon. Pengukuran respirasi sebaiknya dilakukan di lapangan secara *in-situ*, baik dengan sistem statis maupun dinamis. Penelitian ini mengevaluasi kepulihan lahan pascatambang batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan yang dicerminkan dari indikator permukaan tanah dan respirasi tanah. Pengamatan dilaksanakan di PT Bukit Asam yang diwakili lokasi Muara Tiga Besar (MTB). Hutan sekunder juga digunakan sebagai acuan. Lokasi tersebut telah direvegetasi umumnya dengan sengon, bambu dan akasia pada tahun 2000 (MTB Utara), sedangkan penanaman tahun 2005, 2006 dan 2007 hanya dengan akasia diselingi dengan eukaliptus (MTB Selatan). Contoh tanah diambil dengan ring (cincin tanah) kemudian dipilah menjadi 0-2 cm, 2-5 cm dan 5-10 cm. Respirasi dengan teknik *inverted box* menggunakan larutan 0,5 M KOH. Pengaruh revegetasi meningkat secara nyata terhadap kadar karbon organik dari 0,96% menjadi 1,96% meskipun masih lebih rendah dibanding tanah hutan dengan C-organik 2,81%. Pola yang serupa ditemukan untuk N-total dan P-tersedia. Pengkayaan nyata terjadi pada lapisan tanah 0-2 cm. Respirasi tanah secara *in-situ* tidak menunjukkan peningkatan yang konsisten dengan umur revegetasi dengan nilai berkisar antara 670 hingga 767 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per jam, sedangkan pada tanah hutan mencapai 789 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per jam. Berdasarkan fakta tersebut dapat disimpulkan respirasi tanah secara *in-situ* belum dapat

digunakan sebagai indikator tunggal kepulihan lahan pascatambang batubara sehingga perlu dikombinasikan dengan peubah lainnya.

Kata kunci: Respirasi tanah, sistem statis, tambang batubara

## PENDAHULUAN

Respirasi tanah adalah proses evolusi CO<sub>2</sub> dari tanah ke atmosfer, terutama dihasilkan oleh mikroorganisme tanah dan akar tanaman. Hal ini dipengaruhi tidak hanya oleh faktor biologis (vegetasi, mikroorganisme) dan faktor lingkungan (suhu, kelembaban, pH), tetapi juga lebih kuat oleh faktor buatan manusia. Fang *et al.* (1998) meneliti hubungan respirasi tanah dengan posisi lintang dan suhu tahunan yang dianalisis dengan menggunakan data yang diukur dari vegetasi hutan di berbagai belahan dunia. Tingkat respirasi tanah menurun secara eksponensial dengan peningkatan lintang dan meningkat dengan meningkatnya suhu. Setelah hubungan antara respirasi tanah dan suhu, nilai Q<sub>10</sub> (hukum Van Hoff) diperoleh sebesar 1,57 dalam skala global.

Setelah fotosintesis, respirasi tanah merupakan aliran karbon terbesar kedua di sebagian besar ekosistem. Respirasi tanah yang meliputi akar dan respirasi mikroba diperkirakan kontribusinya 60-90% dari total respirasi ekosistem di hutan beriklim sedang atau temperate (Goulden *et al.* 1996). Fenomena ini mendapat perhatian yang besar terutama untuk ekosistem di daerah temperate (Clinton dan Vose 1999; Boone *et al.* 1998). Pengukurannya mulai dari tataran akar atau rhizosper (Cheng *et al.* 1996) hingga tegakan hutan (Ekblad dan Högberg 2001; Abnee *et al.* 2004).

Pengukuran respirasi secara *in-situ* sering diterjemahkan sebagai flux CO<sub>2</sub>. Respirasi dapat dikaitkan dengan status kesehatan tanah. Laju respirasi tanah dapat diukur dalam sistem dinamis maupun statis. Teknik pengukuran yang canggih umumnya menggunakan *infrared gas analyser* (IRGA). Teknik ini masih relatif mahal. Untuk aplikasi yang lebih sederhana di lapangan, Tongway *et al.* (2003) menggunakan pengukuran EC larutan 0,5 M KOH yang telah menyerap CO<sub>2</sub> dalam

*inverted box* sebagai teknik pendekatan yang mudah diadopsi dan relatif lebih murah.

Penelitian ini bertujuan mengukur besaran laju respirasi tanah secara *in-situ* di berbagai macam tutupan lahan pascatambang batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan dan mengkorelasikannya dengan berbagai kondisi permukaan tanah.

## BAHAN DAN METODE

### Analisis Fungsi Lansekap

Kegiatan pengamatan dalam analisis fungsi lansekap dilakukan secara bertahap sebagai berikut. *Pertama*, mengenali jenis-jenis zona dalam bentang lahan daerah bekas tambang dengan memperhatikan proses-proses yang mempengaruhi akumulasi atau erosi sumberdaya lahan (partikel tanah, serasah, air). *Kedua*, menetapkan transek pengamatan yang dapat mewakili berbagai zona bentang lahan berdasarkan pengamatan dalam tahap pertama. Sifat-sifat permukaan tanah yang digunakan dalam pengamatan tahap kedua tersebut mencakup kondisi tutupan tanah sampai tekstur permukaan tanah (Tongway dan Hindley 1995; Setyawan 2004). Berdasarkan nilai (skor) yang diperoleh untuk setiap sifat permukaan lahan tersebut, selanjutnya ditetapkan tiga macam indeks, yaitu stabilitas, infiltrasi dan siklus hara. Sifat-sifat tertentu mungkin tidak berlaku dalam kondisi khusus, misal kriptogam tidak terbentuk pada tanah dengan serasah yang tebal. Dalam hal ini kriptogam akan diberi nilai nol dan tidak diperhitungkan dalam menentukan nilai indeks ANSILAN. Perhitungan nilai indeks tersebut dilakukan secara otomatis dengan *template* Excel

### Pengambilan Contoh Tanah dan Respirasi

Contoh tanah diambil mewakili zona (*patches*) dari pengamatan transek di lapangan. Zona *run-on* dan *run-off* dipilih secara sistematis dari blok revegetasi dengan umur berbeda sesuai dengan kondisi setiap lokasi tambang. Kedalaman contoh tanah yang diambil yaitu 0-2 cm, 2-5 cm dan

5-10 cm. Dari setiap lokasi juga akan diamati keadaan tanah yang belum terganggu (dianggap sebagai lokasi acuan).

Beberapa sifat tanah yang dianalisis meliputi distribusi ukuran partikel (tekstur) dengan metode hidrometer, kerapatan isi (cincin tanah dan gravimetrik) dan stabilitas agregat (pengayakan basah), sedangkan sifat kimia meliputi nilai pH tanah dan salinitas (EC) dengan menggunakan suspensi 1:5 dalam air destilasi, kadar karbon organik (Walkley dan Black) dan nitrogen total (destruksi Kjeldahl) dan fosfor (P-Bray). Pengukuran respirasi tanah menggunakan *ring* berdiameter 20 cm dan tinggi 10 cm menurut metode *inverted box* (Hartigan, 1980) dengan larutan 0,5 M KOH sebagai penangkap gas CO<sub>2</sub>. Rumus respirasi sebagai berikut:

$$\text{Respirasi} = \frac{220(x_2 - x_1)}{x_2 - x_1} \times \frac{10000}{314} \times \frac{1}{t}$$

Keterangan:

Laju respirasi dinyatakan dalam mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/jam

x = EC contoh (mS/cm)

x<sub>1</sub> = EC dari KOH jenuh CO<sub>2</sub>

x<sub>2</sub> = EC dari KOH segar

t = waktu untuk pengukuran (jam).

### Analisis Data

Statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data yang dikumpulkan. Hasil amatan LFA diolah khusus dengan *template* Excel yang dikembangkan oleh Tongway dan Hindley (1995).

## HASIL

### Sifat Kimia Tanah Pascatambang Batubara

Tanah alami dan bahan timbunan yang digunakan untuk menimbun lahan reklamasi (*back filling*) umumnya bersifat masam sampai sangat masam (Tabel 1). Nilai pH berkisar dari 3,6 hingga 4,6 untuk lapisan teratas (0-2 cm), selanjutnya berubah tidak dengan pola tertentu pada lapisan di bawahnya (2-10 cm). Tanah yang diamati juga tidak menunjukkan salinisasi seperti ditunjukkan oleh nilai EC kurang dari 1 mS/cm. Reklamasi secara umum

meningkatkan kadar karbon organik antara 1-1,5% dalam waktu 5-6 tahun. Pola peningkatan ini serupa untuk nitrogen total dan fosfor tersedia.

### Respirasi Tanah dan Indeks Siklus Hara

Pengukuran respirasi tanah secara *in situ* menunjukkan keragaman hasil yang cukup besar. Laju respirasi berkisar antara 700 hingga 1700 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per jam (Gambar 1). Indeks siklus hara berkisar 20% sampai 50% dengan pola yang mendekati linier dengan umur revegetasi. Dengan beberapa titik pengamatan di luar garis regresi, secara umum laju respirasi tanah cenderung meningkat dengan peningkatan indeks siklus hara.

## PEMBAHASAN

Pada lokasi Tanjung Enim ketiga indeks (stabilitas, infiltrasi dan daur hara) meningkat relatif lambat dalam rentang umur 7 tahun revegetasi. Nilai awal indeks stabilitas lebih tinggi dan meningkat jauh lebih cepat dibanding dua indeks lainnya. Indeks stabilitas menunjukkan kecenderungan meningkat pada tanah dengan stabilitas agregat lebih besar (Gambar 1). Kondisi ini sangat berbeda dengan bentang lahan daerah subtropika atau iklim sedang dengan curah hujan tahunan umumnya jauh lebih rendah dibanding di daerah tropika (Tongway *et al.* 2003; Setyawan 2004). Dorongan (*pulse*) akibat curah hujan yang lebih tinggi di daerah tropika menghasilkan laju pertumbuhan vegetasi lebih cepat. Oleh karena itu, masa dua tahun pertama dalam kegiatan rehabilitasi lahan tambang merupakan saat yang kritis sebagai pijakan untuk menilai apakah kegiatan rehabilitasi tersebut menuju kondisi yang berkelanjutan. Dalam rentang waktu tersebut pemantauan kondisi lahan sebaiknya lebih sering dilakukan.

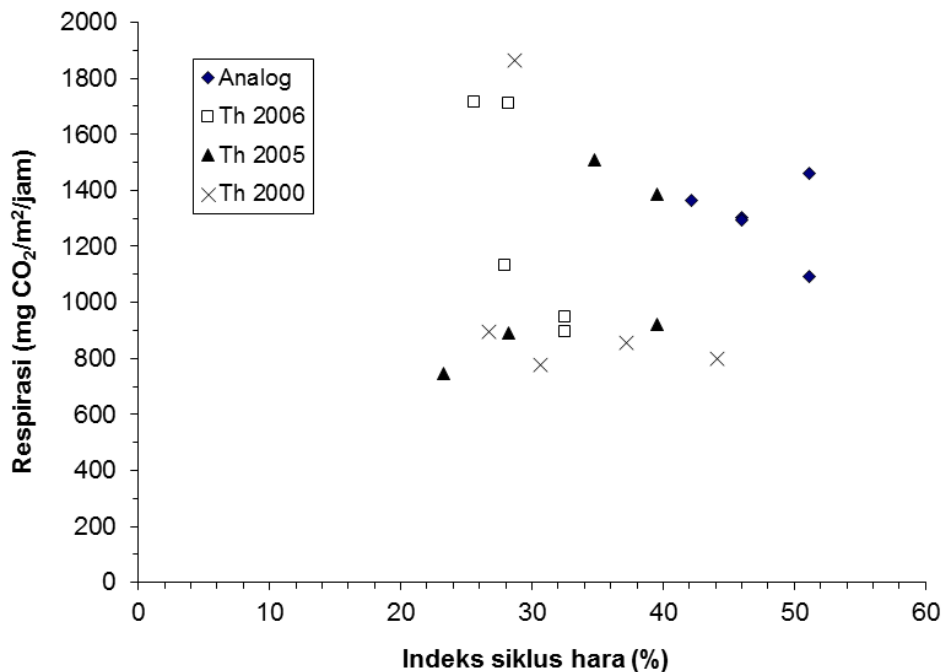
Banyak faktor yang mempengaruhi laju respirasi tanah. Hakekatnya respirasi tanah adalah proses mikrobiologis, selain oleh perakaran tanaman. Bahan timbunan yang mengandung cukup kapur atau karbon

juga potensial untuk teroksidasi dan melepaskan CO<sub>2</sub>. Dengan melihat perubahan bahan organik (serasah) menjadi bahan organik tanah, laju respirasi tanah dapat ditafsirkan secara kualitatif (Setyawan *et al.* 2011). Lahan tambang

kadang mengalami cekaman kelembaban yang dapat mengganggu proses metabolisme mikroba perombak bahan organik. Jadi dengan memperhatikan laju respirasi tanah, tingkat kepulihan lahan pascatambang batubara dapat dikaji secara kuantitatif.

Tabel 1. Rerata nilai analisis contoh tanah mewakili berbagai umur revegetasi dan hutan analog MTBS Tanjung Enim

Revegetasi Tahun	Kedalaman (cm)	pH	EC (μS/cm)	C-organik (%)	N-total (%)	P Bray (mg/kg)
2006	0-2	4,66	145,5	1,03	0,10	4,85
	2-5	4,65	186,3	0,88	0,09	2,70
	5-10	4,27	240,3	0,97	0,09	2,25
2005	0-2	4,56	51,5	0,67	0,07	7,05
	2-5	4,57	70,3	0,60	0,06	4,09
	5-10	4,64	54,6	0,62	0,06	3,04
2000	0-2	3,60	700,6	2,46	0,22	4,09
	2-5	3,72	478,4	1,81	0,16	2,81
	5-10	3,65	582,6	1,61	0,15	1,84
Hutan	0-2	4,44	85,5	3,41	0,30	10,58
	2-5	4,38	64,4	2,66	0,24	7,05
	5-10	4,78	58,9	2,38	0,22	6,19



Gambar 1. Hubungan antara laju respirasi tanah dengan indeks siklus hara LFA

### KESIMPULAN

Tingkat kepulihan lahan dapat dihubungkan dengan aktivitas komunitas

mikroba tanah dan kualitas tegakan revegetasi. Tanaman dengan perakaran yang sehat, meluas akan lebih aktif dalam

respirasi. Laju respirasi tanah merupakan indikator tingkat kepulihan lahan pascatambang meskipun dengan derajat determinasi yang beragam.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terima kasih kepada General Manajer dan para staf di Bagian Perencanaan Lingkungan Unit Penambangan Tanjung Enim yang telah memfasilitasi penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abnee AC, Thompson JA, Randall, Kolka RK. 2004. Landscape modeling of in-situ soil respiration in a forested watershed of Southeastern Kentucky, USA. *Environmental Management* 33(1):S168-S175.
- Boone RD, Nadelhoffer KJ, Canary JD, Kaye JP. 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* 396:571-572.
- Cheng W, Zhang Q, Coleman DC, Carroll CR, Hoffman CA. 1996. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere? *Soil Biology and Biochemistry* 28(10/11):1283-1288.
- Clinton BD, Vose JM. 1999. Fine root respiration in mature eastern white pine (*Pinus strobus*) in situ: the importance of CO<sub>2</sub> in controlled environments. *Tree Physiology* 19:475-479.
- Ekblad A, Högberg P. 2001. Natural abundance of <sup>13</sup>C in CO<sub>2</sub> respired from forest soils reveals speed of link between tree photosynthesis and root respiration. *Oecologia* 127:305-308.
- Fang J, Zhao K, Liu S. 1998. Factors affecting soil respiration in reference with temperature's role in the global scale. *Chinese Geographical Science* 8(3):246-255.
- Goulden ML, Munger JW, Fan SM, Daube BC, Wofsy SC. 1996. Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: response to interannual climate variability. *Science* 271:1576-1578.
- Hartigan J. 1980. Soil Respiration as an index of forest floor metabolism [PhD thesis]. Armidale NSW Australia: University of New England.
- Tongway D, Hindley N. 1995. *Manual for Assessment of Soil Condition of Tropical Grasslands*. Canberra: CSIRO Division of Wildlife and Ecology.
- Tongway D, Hindley N, Seaborn B. 2003. *Indicators of ecosystem rehabilitation success. Stage two - verification of EFA indicators*. Canberra: CSIRO Sustainable Ecosystems.
- Setyawan D. 2004. Soil development, plant colonization and landscape function analysis for disturbed lands under natural and assisted rehabilitation [PhD Thesis]. Perth: The University of Western Australia.
- Setyawan D, Hanum H, Tambas D. 2007. Uji kehandalan dan verifikasi metode analisis fungsi ekosistem (ANSIKO) sebagai indikator kepulihan lahan di daerah tropika. [Laporan Penelitian Hibah Bersaing Batch XV]. Jakarta: DP2M Dikti.
- Setyawan D, Gilkes R, Tongway D. 2011. Nutrient cycling index in relation to organic matter and soil respiration of rehabilitated mine sites in Kelian, East Kalimantan. *Journal of Tropical Soil* 11(3):209-214.