

ESTIMASI STOK KARBON PADA TIGA TIPE REKLAMASI BEKAS TAMBANG BATUBARA DI KABUPATEN KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR

(Carbon-stock estimation in three types of coal post-mining reclamation at East Kutai Regency, East Kalimantan)

Fauziah* , Abban Putri Fiqa , Dewi Ayu Lestari , Sugeng Budiharta

Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi
Pusat Penelitian Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jalan Raya Surabaya-Malang Km.65, Purwodadi, Pasuruan, Jawa Timur, 67163, Indonesia

Article Info

ABSTRAK

Article History:

Received 04 November 2020; Accepted 14 July 2021; Published online 25 August 2021

Kata Kunci:

Area reklamasi, area referensi, jasa layanan lingkungan, stok karbon

Keywords:

Carbon stock, ecosystem services, reference area, reclamation area

How to cite this article:

Fauziah., Fiqa, A.P., Lestari, D.A., & Budiharta, S. (2021). Carbon-stock estimation in three types of coal post-mining reclamation at East Kutai Regency, East Kalimantan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 10(2), 189-197. :

<http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2021.vol10i2ss2pp189-197>

Read online



Scan this QR code with your Smart phone or mobile device to read online.

Keberhasilan suatu proses reklamasi dapat dievaluasi dengan menghitung stok karbon di kawasan tersebut. Stok karbon merupakan salah satu bentuk jasa ekosistem yang dapat dinilai secara kuantitatif. Oleh karena itu, perlu kajian pada proses reklamasi di area pasca tambang batubara di Kalimantan Timur dan membandingkannya dengan area referensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai stok karbon pada tiga tipe kawasan reklamasi pasca tambang batubara (Tipe A: tanpa pohon naungan, Tipe B: dengan satu spesies pohon naungan, Tipe C: dengan lebih dari satu spesies pohon naungan), dan membandingkannya dengan kawasan hutan alam sebagai area referensi. Penelitian dilakukan dengan membuat plot di dalam area referensi dan di area reklamasi, untuk tegakan tingkat pohon, tiang, dan pancang. Analisis dilakukan secara deskriptif dan statistik untuk tiap tipe reklamasi mengacu pada kawasan konservasi sebagai area referensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reklamasi tipe C, dengan usia tanam yang lebih tua, memiliki stok karbon yang lebih tinggi dari pada tipe B dan tipe A yaitu berturut-turut: 51,9 t C/ha, 37,8 t C/ha, dan 2,9 t C/ha. Namun cadangan karbon di ketiga tipe kawasan reklamasi tersebut masih jauh lebih rendah bila dibandingkan kawasan konservasi yang mencapai 296,8 t C/ha. Dengan demikian, semakin tua dan beragam spesies yang ditanam pada suatu tanaman di areal reklamasi, semakin tinggi simpanan karbon yang disimpan. Selain itu, penanaman pohon naungan juga dapat membantu meningkatkan nilai simpanan karbon pada suatu kawasan reklamasi.

ABSTRACT

The success of a reclamation process could be evaluated by calculating the carbon stocks in the area. Carbon stock is an ecosystem service that can be assessed quantitatively. The reclamation process in the coal post-mining area in East Kalimantan needs to be assessed by comparing it to the reference area. The aim of this study was to determine the value of carbon stock in the three types of coal post-mining reclamation areas (Type A: without shade trees, Type B: with one species shade trees, Type C: with more than one species of shade trees), then compared to the natural forest area used as the reference site. The research was carried out by making plots inside the reference site and in the reclamation areas, at the tree, poles, and sapling stages. The results were analyzed descriptively and statistically for each reclamation type refer to the conservation area. The results showed that reclamation type C, with older year plant, had higher carbon stock compared to Type B, or Type A, ie. 51.9 t C/ha, 37.8 t C/ha, and 2.9 t C/ha respectively. However, the carbon stock in the three types of reclamation area is still much lower, than the conservation area which reaches 296.8 t C/ha. Thus, the older and more diverse species planted in a reclamation area plant, the higher carbon stock saved. Moreover, planting shade trees can also help increase the value of carbon stocks in a reclamation area.

* Corresponding author. Tel: +62 85645546215

E-mail address fauziahkrp@gmail.com (Fauziah)

I. PENDAHULUAN

Hutan Kalimantan merupakan hutan hujan tropis dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, dengan sebagian besarnya merupakan hutan dipterocarpaceae. Di sisi lain, diketahui bahwa jasa ekosistem kawasan hutan adalah sebagai pengatur komposisi kimiawi atmosfer untuk menjaga keseimbangan CO₂ maupun O₂, O₃ serta perlindungan dari sinar ultraviolet dan SO_x, selain itu berperan pula dalam pengaturan iklim mikro dan perlindungan terhadap gangguan alam lainnya (Hardjana *et al.*, 2012). Selain itu, kompleksitas ekosistem hutan Kalimantan juga menyimpan potensi biomassa yang besar (Curran *et al.*, 2004; Hardjana *et al.*, 2012; Miettinen *et al.*, 2011; Whitten *et al.*, 2004). Namun, kerusakan hutan dan perubahan tutupan lahan yang cepat berakibat turunnya fungsi jasa ekosistem hutan, baik fungsi ekologi, sosial dan budaya. Kehilangan hutan di Kalimantan berdampak pada suhu harian lokal, suhu ekstrem dan curah hujan harian (McAlpine *et al.*, 2018).

Perubahan tutupan lahan, terutama yang terjadi di Kalimantan, mengancam keanekaragaman hayati, hutan tropis dan tentunya jasa ekosistem. Perubahan ini sangat dinamis, kompleks dan bervariasi sepanjang waktu dan ruang (van der Laan *et al.*, 2018). Perubahan tutupan lahan di Kalimantan salah satunya disebabkan oleh aktivitas pertambangan. Permasalahan lingkungan dari kegiatan pertambangan adalah degradasi lahan dan hutan, perubahan pola penggunaan lahan, pencemaran tanah, pencemaran udara, pencemaran air, kebisingan, kerusakan sistem drainase alami dan terutama hilangnya keanekaragaman hayati (Jhariya *et al.*, 2016; Mahalik & Satapathy, 2016). Pada dasarnya, proses penambangan tidak akan berdampak buruk bagi lingkungan, jika dilakukan reklamasi pasca tambang sesuai dengan prosedur yang tepat (Sheoran *et al.*, 2010).

Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.1211.K/008/M.PE/1995 dan Menteri Kehutanan dan Perkebunan No. 145/Kpts-II/1999 mengatur tentang kewajiban pelaksanaan reklamasi pada situs pasca penambangan. Sehingga, perusahaan tambang memiliki utang kepada pemerintah untuk mengembalikan fungsi hutan seperti fungsi

awal melalui reklamasi lokasi pasca tambang. Reklamasi pasca tambang merupakan upaya pemulihan lahan dan vegetasi di kawasan hutan yang rusak akibat kegiatan penambangan, agar mampu berfungsi secara optimal sebagaimana yang diinginkan (Ilyas, 2012).

Pengurangan emisi dari deforestasi di negara berkembang (REDD+) dapat secara bersamaan mengurangi laju perubahan iklim, melestarikan keanekaragaman hayati dan melindungi jasa ekosistem hutan lainnya. Untuk memperkirakan emisi, perlu diketahui luas hutan yang ditebangi (kawasan terdeforestasi) dan jumlah karbon yang disimpan hutan tersebut (Gibbs *et al.*, 2007). Lebih lanjut, pengurangan emisi CO₂ dapat dilihat dengan pengukuran produktivitas hutan. Pengukuran biomassa relevan dengan pengukuran produktivitas hutan. Biomassa hutan memberikan informasi penting dalam asumsi besarnya potensi sekuestrasi CO₂ dan biomassa dalam usia tertentu yang dapat digunakan untuk memperkirakan produktivitas hutan.

Kawasan hutan Kalimantan yang banyak mengalami perubahan bentuk dan fungsinya, menjadikan perhitungan biomassa pada area-area hutan yang terjaga dan area reklamasi yang ditujukan untuk mengembalikan fungsi dan jasa layanan ekosistemnya menjadi penting. Reklamasi yang dilakukan harus mengacu pada area hutan konservasi yang terjaga, agar tujuan reklamasi itu sendiri dapat tercapai.

Penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya pada umumnya hanya mengukur stok karbon area reklamasi dengan satu jenis atau lebih tanaman fase yang biasanya merupakan jenis tanaman industri (Agus *et al.*, 2016). Penelitian ini mengkaji perbandingan area reklamasi dengan variasi umur tanam dan dikombinasikan dengan jumlah jenis tanaman naungan yang selama ini belum pernah dilakukan, sehingga dapat diketahui jasa layanan ekosistem ekologi, yaitu karbon stok, yang telah disumbangkan oleh masing-masing tipe area reklamasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengetahui potensi simpanan karbon yang tersimpan pada tiga tipe area reklamasi pasca tambang di areal konsesi PT. Bharinto Ekatama, Kalimantan Timur, merujuk pada nilai stok karbon di kawasan hutan alam yang dijadikan

sebagai ekosistem referensi. Keberhasilan proses reklamasi yang dilakukan dapat dinilai dengan seberapa besar persamaan nilai layanan ekosistem, dalam hal ini nilai stok karbon, yang dihasilkan oleh area yang direklamasi dengan ekosistem referensi yang dipilih untuk dijadikan model. Selain itu, keberadaan ekosistem referensi juga akan membantu dalam memantau dan mengevaluasi apakah reklamasi telah berjalan sesuai dengan tujuan akhir yang diharapkan (Choi, 2004).

II. METODE PENELITIAN

A. Deskripsi Area Studi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2018. Kedua area baik kawasan reklamasi maupun kawasan konservasi yang digunakan sebagai lokasi acuan, berada di dalam konsesi pertambangan yang terletak di Desa Muara Begai, Kecamatan Muara Lawa, Kabupaten

Kutai Timur, Kalimantan Timur, Indonesia (Gambar 1). Area konservasi yang diamati adalah seluas 38 ha, sedangkan area reklamasi tersebar di dalam areal konsesi PT Bharinto Ekatama. Keduanya berada pada ketinggian <200 m dpl, dengan suhu harian sekitar 26-34°C, dan curah hujan sekitar 2378 cm hingga 2451 cm per tahun. Faktor iklim mikro di dua wilayah yang tercantum pada Tabel 1 (Fiqa et al., 2019; Lestari et al., 2019).

B. Prosedur Pengumpulan Data

Kawasan reklamasi diklasifikasikan dalam beberapa kategori, yaitu kawasan tanpa pohon naungan (Reklamasi A), dengan satu jenis pohon naungan (Reklamasi B), dan reklamasi dengan lebih dari satu jenis pohon naungan (Reklamasi C). Luasan plot yang diamati (30 x 32 m) untuk setiap tipe reklamasi, didasarkan atas luas dan bentuk plot reklamasi. Pengambilan sampel hanya dilakukan pada *carbon pool* di atas tanah



Gambar 1. A & B. Lokasi penelitian (hijau adalah Pulau Kalimantan, biru adalah Kalimantan Timur, titik merah adalah area penelitian); C. Area konservasi dan reklamasi dalam *mining site* (ditandai dengan lingkaran merah)

Figure 1. A & B Study site (green area is Borneo; blue area is East Borneo; red dot is the study area); C. Reclamation site (red circle)

Tabel 1. Faktor iklim mikro pada area konservasi dan reklamasi
Table 1. Microclimatic factors in the conservation and reclamation area

Faktor (Factor)	Area konservasi (Conservation area)	Area reklamasi (Reclamation area)
Temperatur/Temperature (°C)	26,7 - 31,5	30,2 - 34,7
Kelembapan/Humidity (%)	66 - 80	53 - 70
Intensitas cahaya/Light intensity (lux)	253 - 7660	5590 - 106400
pH tanah/Soil pH	5,1 - 6,2	5 - 6
Ketinggian/Altitude (m asl)	121 - 147	104 - 139

untuk menghindari metode destruktif. Sedangkan di areal acuan dibuat 15 petak bersarang dalam empat tahap dengan petak 20x20 m untuk pohon (dbh ≥ 30 cm), petak 10x10 m untuk tiang (30 > dbh > 10), petak 5x5 m untuk pancang (10 > dbh dan h > 1,5 m) (Hairiah et al., 2011). Setiap individu tanaman yang diamati diukur diameternya setinggi dada.

C. Perhitungan Data Karbon

Metode pengukuran karbon di atas tanah didasarkan pada metode *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA) (Hairiah et al., 2011). Berdasarkan penelitian terdahulu oleh (Hunter, 2015; Slik et al., 2010), peningkatan curah hujan berkorelasi positif pada nilai biomassa pohon, maka dari itu nilai curah hujan pada suatu area juga menjadi pertimbangan persamaan alometrik yang digunakan. Berdasarkan laporan BMKG, curah hujan Kalimantan Timur tidak lebih dari 4000 mm/tahun dan tidak kurang dari 1500 mm/tahun, sehingga dapat digunakan persamaan alometrik untuk biomassa pohon tanaman yang diamati diukur diameternya setinggi dada (Chave et al., 2005):

$$(AGB)_{est} = n * \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$$

Keterangan:

- (AGB)_{est} = biomassa pohon (kg/pohon);
- D = dbh (diameter setinggi dada) (cm);
- Π = berat jenis kayu (g/cm).

Berat jenis kayu setiap spesies yang terdapat di lokasi penelitian ditentukan berdasarkan <http://db.worldagroforestry.org>. Jumlah biomassa di atas permukaan tanah kemudian diubah menjadi C-stock dengan persamaan (Hairiah et al., 2011):

$$C = 0,46 \times biomass$$

Keterangan:

- C = karbon stok

D. Analisis Data

Data hasil penelitian kemudian ditabulasi untuk dianalisis lebih lanjut. Untuk mengetahui adanya perbedaan pada masing-masing area, data stok karbon pada tiap fase vegetasi dianalisis ANOVA dengan bantuan software PAST 3.0. Sedangkan data mengenai perbandingan jumlah pohon naungan dan jenis tanaman dalam plot pengamatan beserta tahun tanamnya, dianalisis secara deskriptif.

Tabel 2. Total stok karbon di berbagai tipe area reklamasi dan area konservasi
Table 2. Total of carbon stock in reclamation area types and conservation area

Tipe area (Area types)	Stok karbon (t C/ha) (Carbon stock)			
	Pohon (Trees)	Tiang (Poles)	Pancang (Sapling)	Total (Total)
Reklamasi A (Reclamation A)	0 ^a	2,51±2,90 ^a	0,48±0,25 ^b	2,99±2,69 ^a
Reklamasi B (Reclamation B)	0 ^a	37,72±7,31 ^{ab}	0,08±0,04 ^a	37,81±7,34 ^b
Reklamasi C (Reclamation C)	9,47±13,39 ^a	42,39±20,42 ^b	0,1±0,06 ^a	51,96±3,91 ^b
Area konservasi (Conservation area)	180,20±12,56 ^b	116,40±28,82 ^c	0,14±0,03 ^a	296,75±28,27 ^c

Keterangan: Perbedaan huruf kecil dalam satu kolom menunjukkan perbedaan yang signifikan antara C pools pada tiap tipe kawasan reklamasi dan kawasan konservasi

Remarks: Different lowercase letters in one column denote significance difference among C pools between reclamation area types and conservation area

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis pada Tabel 2, terdapat perbedaan estimasi total stok karbon yang signifikan antara kawasan reklamasi dan kawasan konservasi. Estimasi total stok karbon di kawasan konservasi lebih tinggi dari pada kawasan reklamasi ($296,75 \pm 28,27$ t C/ha). Total stok karbon tertinggi pada areal reklamasi adalah tipe C ($51,96 \pm 3,91$ t C/ha) dan terendah pada total stok karbon pada tipe reklamasi A ($2,99 \pm 2,69$ t C/ha). Total karbon stock pada area reklamasi A berbeda nyata dengan estimasi total stok karbon pada area reklamasi B dan C, tetapi reklamasi B tidak berbeda nyata dengan estimasi total stok karbon pada reklamasi C.

Total biomassa karbon stok di kawasan konservasi lebih tinggi dari pada kawasan reklamasi karena fase pohon diketahui lebih banyak berkontribusi terhadap stok karbon total, yaitu sebesar 180,20 t C/ha. Pohon menjadi prediktor terpenting dari stok karbon di atas tanah karena akar, pancang dan tiang mengalami penurunan urutan kepentingan

dalam diameter batang, tinggi total, berat jenis kayu, dan tipe hutan (Chave et al., 2005). Biomassa tidak hanya bergantung pada jumlah pohon tetapi juga ukuran diameter pohon, yang pada akhirnya akan mempengaruhi jumlah stok karbon yang terkandung. Semakin besar diameter pohon semakin tinggi simpanan karbon yang disimpan (Hairiah & Rahayu, 2007; Supriadi & Adiansyah, 2013). Selain itu, cadangan karbon atau cadangan biomassa berbanding lurus dengan strata vegetasi. Strata pohon akan memiliki stok karbon yang lebih besar daripada tiang atau pancang (Syaufina & Ikhsan, 2013).

Tabel 3 menunjukkan bahwa fase tanaman tiang dan pancang pada areal reklamasi A memiliki keragaman lebih tinggi dibanding areal reklamasi yang lain. Sejalan dengan hal tersebut, sebelumnya pada Tabel 2 menunjukkan bahwa stok karbon pancang pada areal reklamasi A paling tinggi dibandingkan dengan areal reklamasi yang lain, yaitu sebesar ($0,48 \pm 0,25$ t C/ha).

Tabel 3. Jenis pohon yang ditanam pada ketiga tipe area reklamasi

Table 3. Planted trees species on each reclamation area type

Tipe (Type)	Pohon naungan (Shade trees)		Jenis tanaman pokok per tingkat (Main plant species in each phase)		
	Jenis (Species)	Tahun tanam (Plant year)	Pohon (Trees)	Tiang (Poles)	Pancang (Sapling)
A (Type A)	-	2015	-	<i>D. moluccana</i> <i>V. pinnata</i> <i>P. gutta</i>	<i>S. balangeran</i> <i>D. moluccana</i> <i>N. macrophylla</i> <i>N. purpurea</i> <i>D. costulata</i> <i>P. gutta</i> <i>D. sumatrensis</i> <i>V. pinnata</i> <i>F. racemosa</i> <i>S. lamellata</i> <i>S. smithiana</i>
			N/Ha = 0	N/Ha = 10	N/Ha = 327
B (Type B)	<i>E. cyclocarpum</i> <i>N. macrophylla</i>	2013	-	<i>E. cyclocarpum</i> <i>N. macrophylla</i>	<i>S. lamellata</i> <i>E. zwageri</i> <i>D. sumatrensis</i> <i>S. balangeran</i> <i>S. leprosula</i> <i>P. gutta</i>
			N/Ha = 0	N/Ha = 28	N/Ha = 313
C (Type C)	<i>N. macrophylla</i> <i>E. cyclocarpum</i> <i>H. tiliaceus</i> <i>A. saman</i>	2012/2014	<i>A. saman</i> <i>H. tiliaceus</i>	<i>E. cyclocarpum</i> <i>N. macrophylla</i> <i>H. tiliaceus</i>	<i>S. lamellata</i> <i>S. balangeran</i> <i>D. sumatrensis</i> <i>D. costulata</i> <i>D. moluccana</i> <i>N. macrophylla</i>
			N/Ha = 2	N/Ha = 94	N/Ha = 224

Keterangan (Remarks):

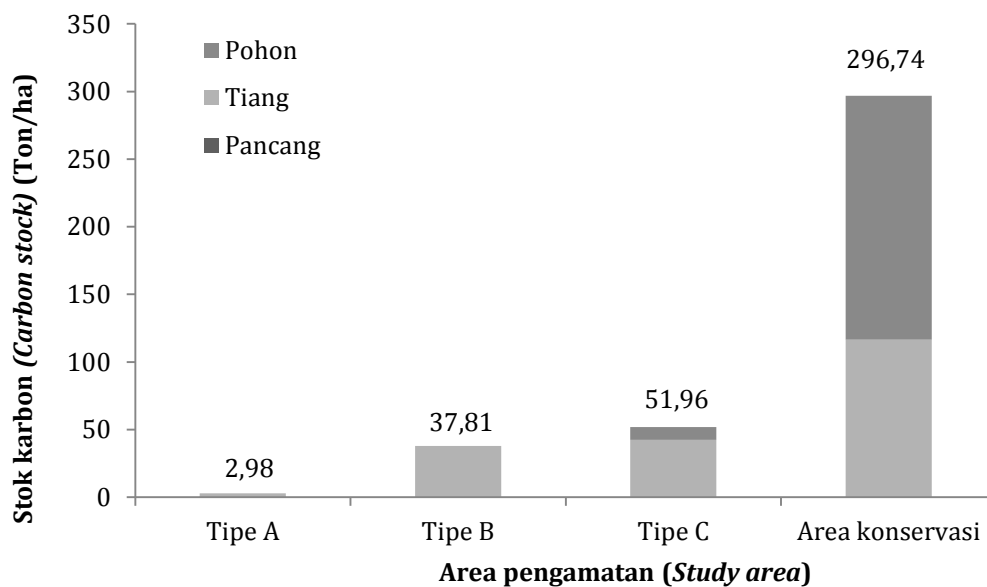
N: rata-rata jumlah individu (N: average of individual number)

Sedangkan areal reklamasi B dan C memiliki keragaman jenis tanaman pancang yang hampir sama dan diperkuat dengan nilai stok karbon jenis pancang yang tidak berbeda secara signifikan antara reklamasi B dan C (Tabel 2). Jenis tanaman pada fase tiang di area reklamasi A lebih beragam dibanding area reklamasi B dan C, namun nilai stok karbon pada tanaman pada fase tiang di area reklamasi A paling rendah dibandingkan reklamasi B dan C, yaitu sebesar $(2,51 \pm 2,90 \text{ t C/ha})$. Area reklamasi C memiliki jenis tanaman pohon lebih banyak dibanding area reklamasi yang lain dan ditunjukkan dengan nilai stok karbon paling tinggi yaitu sebesar $(9,47 \pm 13,39 \text{ t C/ha})$. Jenis-jenis yang ditanam di dalam area reklamasi A, memang belum menunjukkan nilai stok karbon yang tinggi, akan tetapi jenis-jenis yang ditanam merupakan tanaman-tanaman endemik yang memiliki keunggulan dalam hal ketahanan pada *coverage* dan tidak pula perlu beradaptasi dengan lingkungan baru, selain itu sebagaimana diketahui tanaman asli Kalimantan banyak yang terdaftar dalam IUCN *red list* dalam berbagai status, sehingga akan menambah nilai kawasan tersebut (Purnomo et al., 2018).

Karbon stok di area reklamasi yang tertinggi adalah reklamasi C ($51,96 \text{ t C/ha}$). Karbon stok pada areal reklamasi ini lebih

tinggi dari karbon stok pada penelitian lain di areal reklamasi tambang di PT. Newmont Nusa Tenggara dan Gunung Bayan Pratama Coal (masing-masing $45,19$ dan $22,35 \text{ t C/ha}$) (Lutfi & Antono, 2011; Supriadi & Adiansyah, 2013). Selain itu, tingginya karbon stok juga terkait dengan kontribusi biomassa pohon dan tiang yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai biomassa pohon dan tiang di areal reklamasi A dan B yang lebih rendah dibanding di areal reklamasi C (Gambar 2). Keberhasilan tanaman reklamasi salah satunya ditandai dengan banyaknya stok karbon dalam biomassa pohon. Jumlah stok karbon dalam biomassa pohon berbanding lurus dengan pertumbuhan dan perkembangan pohon (Hairiah & Rahayu, 2007; Supriadi & Adiansyah, 2013). Biomassa pohon sangat dipengaruhi oleh nilai kerapatan kayunya. Nilai kerapatan kayu sangat berpengaruh dalam perhitungan estimasi bobot kering biomassa pohon (Zhang et al., 2012). Semakin tinggi nilai kerapatan kayunya, semakin besar nilai bobot kering biomassa pohon dan semakin tinggi nilai karbon yang tersimpan pada pohon (Zhang et al., 2012).

Selain itu juga dapat dilihat, bahwa tanaman naungan yang dijumpai pada areal reklamasi B (2 jenis) dan C (3 jenis) memiliki tahun tanam yang berbeda-beda dengan jenis yang juga berbeda-beda. Perbedaan jenis



Gambar 2. Stok Karbon atas tanah di area reklamasi pada beberapa fase pertumbuhan dan di area konservasi

Figure 2. Carbon stock above ground in reclamation area on the various stages and conservation area

tanaman naungan ini dapat mempengaruhi stok karbon yang tersimpan. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai stok karbon pada area reklamasi B dan C yaitu sebesar $(37,81 \pm 7,34$ dan $51,96 \pm 3,91$ t C/ha), meskipun secara statistik stok karbon keduanya tidak berbeda secara signifikan. Keberadaan tanaman pada fase tiang dan pohon secara signifikan dapat menyumbang stok karbon yang cukup tinggi pada suatu area reklamasi. Selain itu, tahun tanam tanaman naungan juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap nilai stok karbon.

Stok karbon (tiang dan pohon) di kawasan konservasi, empat kali lebih tinggi dari pada kawasan reklamasi C ([Gambar 2](#)). Karbon stok dari pancang di kawasan konservasi lebih rendah dibandingkan di kawasan reklamasi ($0,14$ t C/ha). Pohon menjadi sumber karbon tertinggi ($180,20$ t C/ha) di kawasan konservasi. Stok karbon pada reklamasi C lebih tinggi dari pada reklamasi A atau B pada berbagai tipe tahapan. Fase pancang pada area reklamasi A berkontribusi sebesar $0,48$ t C/ha. Kontribusi pancang dan tiang pada area reklamasi B adalah sebesar $0,08$ t C/ha dan $37,72$ t C/ha. Karbon stok pancang pada area reklamasi A memiliki kontribusi yang tertinggi ($0,48$ t C/ha) sedangkan pada area reklamasi C kontribusi stok karbon tertinggi adalah pada pohon dan tiang, berturut-turut adalah $9,47$ t C/ha dan $42,39$ t C/ha.

Tingginya nilai karbon stok pada fase pancang pada area reklamasi A dapat disebabkan oleh tingginya keragaman jenis tanaman pancang yang terdapat di sana dan rata-rata jumlah individu tanaman per Ha. Selain itu, jenis-jenis tanaman pancang yang terdapat pada areal reklamasi A beberapa diantaranya merupakan jenis-jenis *fast growing*, salah satunya yaitu *Duabanga moluccana* yang termasuk salah satu jenis cepat tumbuh dan berperan dalam penyerapan karbon (Supriadi & Adiansyah, [2013](#)). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa jenis tanaman *fast growing* seperti *Paraserianthes falcataria* (sengon laut), menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi tingginya karbon di areal reklamasi (Noor et al., [2020](#)), mengingat biomassa akan semakin besar seiring semakin besarnya diameter tanaman (Masripatin et al., [2010](#)).

Stok karbon tertinggi di kawasan reklamasi C karena di kawasan ini ditanami lebih dari satu jenis pohon naungan. Terlihat juga bahwa areal reklamasi A (tidak ada pohon naungan) dan daerah B (dengan satu jenis pohon naungan) memiliki stok C yang lebih rendah dari areal reklamasi C ($2,99$ dan $37,81$ t C/ha). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tipe plot reklamasi yang ditanami pohon naungan *fast grow* dengan tiga spesies berbeda, memiliki nilai stok karbon yang lebih besar dibandingkan dengan hanya satu tipe naungan atau tanpa naungan. Akan tetapi harus menjadi pertimbangan pula, bahwa untuk mencapai biomassa yang tinggi, maka jenis-jenis yang ditanam di dalam area reklamasi juga merupakan jenis-jenis tanaman yang memiliki berat jenis kayu yang tinggi pula (Tuah et al., [2017](#)).

Meningkatnya usia tanam juga berkorelasi dengan cadangan karbon yang cenderung semakin besar terbukti pada hasil riset yang dilakukan, pada area reklamasi yang tahun penanamannya lebih awal juga memiliki kandungan karbon stok yang semakin besar, meskipun juga dipengaruhi pula oleh jumlah jenis dan individu yang ditanam pada area tersebut. Hal ini diperkuat oleh (Rusdiana & Lubis, [2012](#)) bahwa simpanan karbon pada suatu vegetasi dipengaruhi oleh kepadatan dan perkembangan vegetasi tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan pada tiga tipe reklamasi menunjukkan bahwa tipe reklamasi C dengan lebih dari satu pohon naungan, memiliki nilai stok karbon yang paling tinggi yaitu $51,96$ t C/ha, sedangkan area reklamasi dengan tipe B yang hanya memiliki satu pohon naungan memiliki nilai stok karbon sebesar $31,81$ t C/ha. Area reklamasi dengan tipe A, tanpa pohon naungan, nilai stok karbonnya paling rendah yaitu hanya $2,99$ t C/ha. Nilai stok karbon di area konservasi adalah $296,75$ t C/ha, dimana pada masa mendatang, diharapkan nilai stok karbon di area reklamasi dapat mendekati nilai stok karbon di area konservasi. Nilai stok karbon selain dipengaruhi oleh jumlah spesies naungan yang ditanam, juga dipengaruhi oleh usia tanam pohon naungan dan jumlah individu.

B. Saran

Monitoring dan evaluasi pada area reklamasi, perlu dilakukan secara berkala. Kegiatan yang dilakukan meliputi evaluasi pada area tutupan lahan, maupun evaluasi jasa layanan lingkungan yang dihasilkan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas reklamasi yang dilakukan pada area lahan pasca tambang batubara. Untuk mendapatkan stok karbon yang maksimal, area reklamasi hendaknya ditanami dengan tanaman yang beragam dengan sistem penanaman bertahap, tidak dalam satu kali tanam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya pada PT Bharinto Ekatama (BEK) sebagai penyandang dana kegiatan penelitian dan bantuannya selama di lapangan, juga kepada pimpinan Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi-LIPI. Selain itu penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak manajemen PT Indo Tambang Raya Megah (ITM) atas supportnya selama kegiatan berlangsung. Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Bapak Matrani, Bapak Abdul Goni dan Bapak Abdul Arifin sebagai identifikator dan teknisi selama di lapangan.

KONTRIBUSI PENULIS

FZ: kontributor utama, pelaksana penelitian, konseptualisasi penulisan, pembuatan peta, interpretasi hasil, penulisan naskah; APF: kontributor anggota, pelaksana penelitian, analisis hasil, penulisan naskah; DAL: kontributor anggota, pelaksana penelitian, penulisan naskah; SB: koordinator penelitian, review naskah.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki hubungan keuangan atau kepentingan pribadi yang dapat mempengaruhi penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, C., Putra, P. B., Faridah, E., Wulandari, D., & Napitupulu, R. R. P. (2016). Organic carbon stock and their dynamics in rehabilitation ecosystem areas of post open coal mining at

tropical region. *Procedia Engineering*, 159, 329–337.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99.

Choi, Y. D. (2004). Theories for ecological restoration in changing environment: Toward "futuristic" restoration. *Ecological Research*, 19(1), 75–81.

Curran, L. M., Trigg, S. N., McDonald, A. K., Astiani, D., Hardiono, Y. M., Siregar, P., ... Kasischke, E. (2004). Lowland forest loss in protected areas of Indonesian Borneo. *Science*, 303(5660), 1000–1003.

Figa, A. P., Fauziah, Lestari, D. A., & Budiharta, S. (2019). The importance of in-situ conservation area in mining concession in preserving diversity, threatened and potential floras in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(1), 198–210.

Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4).

Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., & Rahayu, S. (2011). *Pengukuran cadangan karbon: dari tingkat lahan ke bentang alam. Petunjuk praktis. World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya* (2nd ed., Vol. 2). Malang: World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya.

Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre.*

Hardjana, A. K., Noor'an, R. F., Tumakaka, I. S., & Rojikin, A. (2012). Pendugaan stok karbon kelompok jenis tegakan berdasarkan tipe potensi hutan di kawasan hutan lindung Sungai Wain. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 6(2), 85–96.

Hunter, J. T. (2015). Changes in allometric attributes and biomass of forests and woodlands across an altitudinal and rainfall gradient: What are the implications of increasing seasonality due to anthropogenic climate change? *International Journal of Ecology*, 208975, 1–10.

Ilyas, S. (2012). Carbon sequestration through reforestation in reclaimed coal mine sites in East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Environment and Earth Science*, 2(10), 27–35.

Jhariya, D. C., Khan, R., & Thakur, G. S. (2016). Impact of Mining Activity on Environment: An

- Overview. In *Proceedings of the Recent Practices and Innovations in Mining Industry* (pp. 271–277). Raipur, India.
- Lestari, D. A., Fiqa, A. P., Fauziah, & Budiharta, S. (2019). Growth evaluation of native tree species planted on post coal mining reclamation site in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(1), 134–143.
- Lutfi, M., & Antono, H. T. (2011). Estimasi biomassa hutan sekunder dan daerah reklamasi menggunakan teknologi inderaja dan sistem informasi geografi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 7(2), 54–62.
- Mahalik, G., & Satapathy, K. B. (2016). Impact of mining activity on water resource: An overview study. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 4(3), 224–227.
- Masripatin, N., Ginoga, K., Pari, G., Dharmawan, W. S., Siregar, C. A., Wibowo, A., ... Subekti, B. (2010). *Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Balitbang Kehutanan.
- McAlpine, C., Johnson, A., Salazar, A., Syktus, J., Wilson, K., Meijaard, E., ... Sheil, D. (2018). Forest loss and Borneo's climate. *Environmental Research Letters*, 13(4), 1–10.
- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. C. (2011). Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*, 17(7), 2261–2270.
- Noor, M. S., Hafizanoor, & Suyanto. (2020). Analisis cadangan karbon pada tanaman reklamasi lahan bekas pertambangan batubara di Pt. Borneo Indobara. *Jurnal Hutan Tropis*, 8(1), 99–108.
- Purnomo, D. W., Fijridiyanto, I. A., & Witono, J. R. (2018). Penilaian variabel vegetasi pada lahan reklamasi bekas tambang emas di Ratatotok, Minahasa Tenggara. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 7(2), 93–108.
- Rusdiana, O., & Lubis, R. (2012). Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (Carbon Stock) pada hutan sekunder. *Silvikultur Tropika*, 3(1), 14–21.
- Sheoran, V., Sheoran, A., & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: A review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 13.
- Slik, J. W. F., Aiba, S. I., Brearley, F. Q., Cannon, C. H., Forshed, O., Kitayama, K., ... van Valkenburg, J. L. C. H. (2010). Environmental correlates of tree biomass, basal area, wood specific gravity and stem density gradients in Borneo's tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 50–60.
- Supriadi, B., & Adiansyah, J. S. (2013). Carbon stock estimation at mining reclamation area: Case study Pt Newmont Nusa Tenggara. *Lingkungan Tropis*, 7(1), 1–9.
- Syaufina, L., & Ikhsan, M. (2013). Estimasi simpanan karbon di atas permukaan lahan reklamasi pasca tambang UBPE Pongkor, Jawa Barat. *Jurnal Silviculture Tropika*, 4(2), 100–107.
- Tuah, N., Sulaeman, R., & Yoza, D. (2017). Penghitungan biomassa dan karbon di atas permukaan tanah di hutan larangan adat Rumbio Kab Kampar. *JOM Faperta UR*, 4(1), 1–10.
- van der Laan, C., Budiman, A., Verstegen, J. A., Dekker, S. C., Effendy, W., Faaij, A. P. C., ... Verweij, P. A. (2018). Analyses of land cover change trajectories leading to tropical forest loss: Illustrated for the West Kutai and MahakamUlu Districts, East Kalimantan, Indonesia. *Land*, 7(3), 1–19.
- Whitten, T., van Dijk, P. P., Curran, L., Meijaard, E., Supriatna, J., & Ellis, S. (2004). Sundaland. In R. A. Mittermeier, P. R. Gil, M. Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, ... G. A. B. Da Fonseca (Eds.), *Hotspots revisited: Another look at Earth's richest and most endangered terrestrial ecoregions* (p. 300 pp). Mexico: Cemex.
- Zhang, L., Deng, X., Lei, X., Xiang, W., Peng, C., Lei, P., & Yan, W. (2012). Determining stem biomass of *Pinus massoniana* L. through variations in basic density. *Forestry*, 85(5), 601–609.