

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Potensi Jasa Lingkungan Penyerap Karbon dan Penyedia Oksigen Hutan Lindung Mangunan, Yogyakarta

Ghalbi Mahendra Putra^{1*}, Pramudya Bagas Utama²⁾, Hatma Suryatmojo³⁾, Ambar Kusumandari³⁾

¹ Magister Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281 Indonesia

² Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Lingkungan & Mineral, Universitas Teknologi Sumbawa 84371, Indonesia

³ Program Studi Ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281 Indonesia

*Koresponden: ghalbi.mahendra@mail.ugm.ac.id

Diterima: 6 Juli 2022

Diperbaiki: 11 Januari 2023

Disetujui: 28 Juni 2023

A B S T R A C T

Forests have a multifunction ecology, one of which is environmental services as a CO₂ absorber and and O₂ producer. The fact is that until now the magnitude of the potential for environmental services as carbon sinks and oxygen producers in the Mangunan Protection Forest is not known, so it is important to research it. The focus of this research is to determine the potential for environmental services in the form of biomass potential, carbon potential, carbon sinks, oxygen providers and their economic value. Carbon data collection in the field by measuring DBH and height of woody vegetation. Calculations using the 2011 BSNI standard and analyzed descriptively. The biomass potential of the Mangunan Protected Forest is 52.83 tons/ha and has threats in the form of trees and fires, so it needs to be preserved. Mangunan Protected Forest Environmental Services in the form of CO₂ absorbers of 193.87 tons/ha/year and O₂ producers of 141.53 tons/ha/year. The environmental services, if translated properly, are worth Rp. 2,122,640,368.

Keywords: environment, sustainability, climate, biomass, vegetation

A B S T R A K

Hutan memiliki multifungsi ekologi, salah satunya adalah jasa lingkungan sebagai penyerap CO₂ dan penghasil O₂. Faktanya sampai saat ini belum diketahui besarnya potensi jasa lingkungan sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen di Hutan Lindung Mangunan, sehingga penting untuk diteliti. Fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi jasa lingkungan berupa potensi biomassa, potensi karbon, penyerap karbon, penyedia oksigen dan nilai ekonominya. Pengumpulan data karbon di lapangan dengan mengukur DBH dan tinggi vegetasi berkayu. Perhitungan menggunakan standar BSNI 2011 dan dianalisis secara deskriptif. Potensi biomassa Hutan Lindung Mangunan sebesar 52,83 ton/ha dan memiliki ancaman berupa pohon dan kebakaran sehingga perlu dilestarikan. Jasa Lingkungan Hutan Lindung Mangunan berupa penyerap CO₂ sebesar 193,87 ton/ha/tahun dan penghasil O₂ sebesar 141,53 ton/ha/tahun. Jasa lingkungan tersebut, jika diterjemahkan dengan baik, bernilai Rp. 2.122.640.368.

Kata Kunci: lingkungan, kelestarian, iklim, biomassa, vegetasi

1. PENDAHULUAN

Hutan memiliki multifungsi ekologis untuk keberlanjutan lingkungan dan aspek kehidupan manusia. Multifungsi hutan berupa fungsi produksi dari hasil kayu maupun fungsi lingkungan berupa jasa lingkungan yang dihasilkan hutan. Jasa lingkungan dari hutan seperti penyerap karbon dan penghasil oksigen (Purnawan et al. 2020). Peran hutan sebagai penyerap dan penghasil oksigen dapat berfungsi untuk mengatur

perubahan iklim maupun upaya dalam mitigasi perubahan iklim (Yuniawati et al. 2011; Budiadi 2020).

Aktivitas manusia di bumi seperti pembakaran lahan, penggunaan bahan bakar fosil, dan pengerusakan hutan merupakan kegiatan yang dapat melepaskan karbon diudara. Karbon-karbon diudara dan gas lain merupakan salah satu faktor penyebab Efek Rumah Kaca (Greenhouse Gas). Aktivitas manusia maupun bisnis

dapat menghasilkan Efek Rumah Kaca (Heriyanti, et al. 2022), apabila berlangsung tanpa diimbangi penyerapan karbon dapat mengakibatkan bencana. Isu lingkungan terkini selain karbon yaitu oksigen. Manusia pada umumnya membutuhkan oksigen sebanyak 600 liter/hari atau 864 g/hari (Sinambela, 2020). Oksigen digunakan untuk proses metabolisme dalam tubuh manusia. pentingnya penyerapan karbon dan oksigen bagi lingkungan, sehingga perlu mendapatkan perhatian khusus.

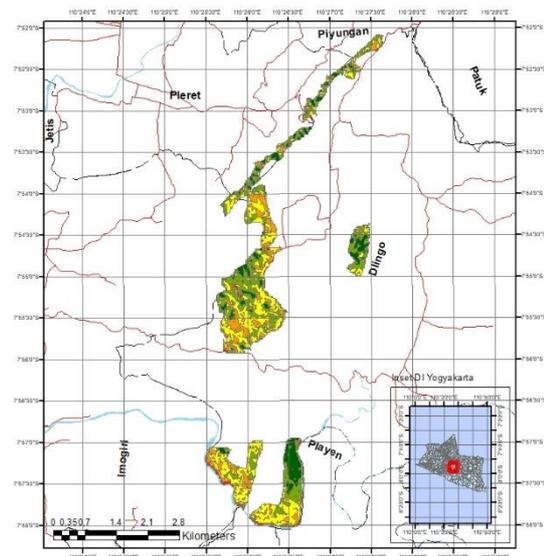
Hutan dengan fungsi sebagai jasa lingkungan penyerap karbon dan penghasil oksigen terdapat di Hutan Lindung Mangunan. Potensi besar untuk menyimpan karbon dan penghasil oksigen di Hutan Lindung Mangunan dengan luas 570,70 Ha sangat besar. Fakta di lapangan, kenyataannya sampai saat ini belum diketahui besaran potensi jasa lingkungan sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen di Hutan Lindung Mangunan. Keberadaan hutan dihadapkan pada peningkatan aktivitas penggunaan (konversi) lahan dan hutan yang semakin berkembang sebagai akibat dari peningkatan kebutuhan manusia dan pembangunan. Upaya konservasi perlu dilakukan untuk menghindari hilangnya cadangan karbon maupun produksi oksigen dari hutan (Alongi et al. 2016).

Fokus penelitian ini untuk mengetahui potensi jasa lingkungan berupa potensi biomassa, potensi karbon, penyerap karbon, dan penyedia oksigen. Nilai ekonomi dari kredit karbon juga dihitung untuk mengetahui nilai ekonomi hutan. Hasil penelitian berupa informasi karakteristik karbon diharapkan dapat memberikan alternatif tindakan dan pengelolaan yang tepat untuk kelestarian lingkungan kawasan hutan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada kawasan Hutan Lindung Mangunan, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara geografis terletak pada koordinat 7°52'0" LS - 7°58'0"LS dan 110°25'0" BT - 110°27'30" BT. Topografinya berbukit dengan kemiringan lereng antara kelerengan datar (0%-8%) hingga lereng curam (25%-40%). Lokasi penelitian terletak pada ketinggian 500 mdpl dengan curah hujan 2500 mm/tahun. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian Hutan Lindung Mangunan

Pengambilan data dilakukan pada bulan Maret 2021 terbagi menjadi 7 zona berdasarkan blok perlindungan. Zona tersebut yaitu Blok Terong, Blok Sudimoro 1, Blok Sudimoro 2, Blok Sudimoro 3, Blok Ceme, Blok Kediwung, dan Blok Gumelem. Vegetasi pada setiap blok diidentifikasi menggunakan plot 20 x 20 meter ditempatkan secara purposiv sesuai dengan kondisi vegetasi di kawasan. Pengukuran biomassa menggunakan pendekatan volume pohon dari diameter pohon setinggi dada (DBH) dan tinggi pohon (T).

2.2. Biomassa Atas Permukaan

Taksiran biomassa atas permukaan (Aboveground Biomass) menggunakan rumus Badan Standarisasi Nasional Indonesia nomor 7724 (2011) dengan pendekatan Biomass Expansion Factor (BEF). Untuk mendapatkan taksiran biomassa atas permukaan (AGB), terlebih dahulu menghitung volume pohon dengan rumus:

$$V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dbh \cdot H \cdot f \quad (1)$$

Keterangan :

- V : Volume pohon berdiri (m³)
- dbh : Diameter setinggi dada (1,3 m)
- H : Tinggi total pohon (m)
- F : Faktor bentuk pohon berdiri (0,6)

$$B_{ap} = V \cdot BJ \cdot BEF \quad (2)$$

Keterangan :

- B_{ap} : Biomassa di atas permukaan tanah (kg)
- V : Volume kayu (m³)
- BJ : Berat jenis kayu (kg/m³)
- BEF : Biomass expansion factor (1,49 untuk hutan jenis campur)

$$B_{ap} = \frac{B_x}{1000} \cdot \frac{1000}{L} \quad (3)$$

Keterangan :

- B_{ap} : Biomassa per satuan luas (ton/ha)
- B_x : Nilai simpanan biomassa (kg)
- BJ : Berat jenis kayu (kg/m³)
- L : Luas petak contoh (m²)

2.3. Biomassa Bawah Permukaan

Biomassa bawah permukaan tanah (BGB) pada penelitian ini yaitu biomassa yang terkandung dalam akar pohon berdiri. Biomassa akar hidup tidak termasuk akar halus berdiameter kurang dari 2 mm (Dhyani, et al. 2021). Perhitungan menggunakan rumus BSNI nomor 7724 (2011) sebagai berikut:

$$B_{bp} = NAP \cdot B_{ap} \quad (4)$$

Keterangan :

- B_{ap} : Nilai biomassa di bawah permukaan (kg)
- NAP : Nisbah akar pucuk hutan tropis lahan kering (0,29)
- B_{ap} : Nilai biomassa di atas permukaan (kg)

$$B_{bp} = \frac{B_x}{1000} \cdot \frac{1000}{L} \quad (5)$$

Keterangan :

- B_{ap} : Biomassa per satuan luas (ton/ha)
- B_x : Nilai simpanan biomassa (kg)
- BJ : Berat jenis kayu (kg/m³)
- L : Luas petak contoh (m²)

2.4. Potensi Karbon Hutan

Karbon terserap dalam hutan dihitung menggunakan rumus BSNI (2011) dengan menghitung potensi karbon atas permukaan dan bawah permukaan. Perhitungan potensi karbon atas permukaan dan bawah permukaan berdasarkan turunan hasil perhitungan biomassa. Karbon total dihitung dengan menjumlahkan karbon di atas permukaan dengan karbon di bawah permukaan. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$C_{ap} = B_{ap} \cdot (\% C \text{ organik}) \quad (6)$$

Keterangan :

- C_{ap} : Karbon di atas permukaan tanah (ton/ha)
- B_{ap} : Biomassa di atas permukaan tanah (ton/ha)
- % C Organik : Koefisien prosentase simpanan karbon (0,47)

$$C_{bp} = B_{bp} \cdot (\% C \text{ organik}) \quad (7)$$

Keterangan :

- C_{bp} : Karbon di bawah permukaan tanah (ton/ha)
- B_{bp} : Biomassa di bawah permukaan tanah (ton/ha)
- % C Organik : Koefisien prosentase simpanan karbon (0,47)

$$C_t = C_{ap} + C_{bp} \quad (8)$$

Keterangan :

- C_t : Karbon total (ton/ha)
- C_{ap} : Karbon di atas permukaan tanah (ton/ha)
- C_{bp} : Karbon di bawah permukaan tanah (ton/ha)

Perhitungan jasa lingkungan Hutan Lindung Mangunan sebagai penyerap karbon dioksida diudara menggunakan rumus Hardjana (2010) dengan pendekatan nilai koefisien daya serap karbon vegetasi berkayu di hutan. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$DCO_2 = C_t + A_{co} \quad (9)$$

Keterangan :

- DCO₂ : Karbondioksida terserap (ton/ha)
- C_t : Karbon total (ton/ha)
- A_{co} : Koefisien karbondioksida terserap hutan tropis (3,67)

2.5. Nilai Ekonomi Hutan Sebagai Penyerap Karbondioksida

Harga rata-rata nilai karbon sebesar \$2 MgC-1 hasil kesepakatan Chicago Climate Exchange (Gitart, 2010). Kurs rupiah terhadap dolar bulan Maret Rp.14.159,00, maka harga karbon per ton/ha (MgC-1) sebesar Rp.28.318,00. Rumus untuk menghitung nilai ekonomi total karbondioksida terserap sebagai berikut:

$$TDCO_2 = (\sum DCO_2 \cdot L_a) \cdot Ha \quad (10)$$

TDCO₂ : Nilai ekonomi total karbondioksida terserap (Rp)
 DCO₂ : Total karbon dioksida terserap (ton/ha)
 L_a : Luas area (ha)
 Ha : Harga nilai karbon (Rp.28.318,00)

2.6. Nilai Ekonomi Hutan Sebagai Penghasil Oksigen

Hutan memiliki fungsi sebagai penghasil oksigen melalui proses biokimia di dalamnya. Proses biokimia dihasilkan dari proses fotosintesis pada vegetasi. Penilaian Hutan Lindung Mangunan sebagai penghasil oksigen menggunakan rumus Purnawan, et al. (2020), dari pengembangan karbondioksida terserap. Penentuan harga oksigen berdasarkan Permenkeu 112/PMK.05/2014, yaitu Rp.30 / liter.

$PO_2 = (DCO_2 \cdot AO_2 \cdot L_a) \cdot Ha$ (11)
 PO₂ = Nilai ekonomi penghasil oksigen hutan (Rp)
 DCO₂ = Daya serap karbondioksida (ton/ha)
 AO₂ = Nilai ekivalen konversi CO₂ ke O₂ (0,73)
 L_a = Luas kawasan hutan (ha)
 HA = Harga Oksigen per liter (Rp.30,00)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Potensi Biomassa

Hutan Lindung Mangunan mempunyai potensi biomassa atas permukaan sebesar 87,13 ton/Ha lebih tinggi dari biomassa bawah permukaan sebesar 25,27 ton/Ha. Biomassa atas permukaan berupa daun, ranting, cabang, batang, dan buah, sedangkan biomassa bawah permukaan yaitu akar pohon. Perbedaan nilai antara biomassa atas permukaan dengan biomassa bawah permukaan pada penelitian ini disebabkan oleh faktor umur dan volume pohon. Nilai biomassa bawah permukaan meningkat lebih tinggi searah dengan nilai volume pohon (Sahoo et al. 2021). Total biomassa di Hutan Lindung Mangunan sebesar 112,40 ton/Ha seperti pada Tabel 1., dengan vegetasi penyusun campuran. Potensi biomassa di Hutan Lindung Mangunan cukup besar dan penting untuk keseimbangan ekosistem sehingga perlu dijaga kelestariannya.

Banyaknya biomassa di atas permukaan memiliki faktor turunan lain yang menyertainya seperti kemampuan fotosintesis pada vegetasi berkayu. Biomassa atas permukaan juga berkaitan dengan suhu bumi dan hujan. Modeling menggunakan LANDIS PRO

menunjukkan biomassa atas permukaan hutan berbanding lurus dengan suhu bumi dan hujan yang turun di suatu kawasan (Huang, 2021). Fakta tersebut menunjukkan hutan memiliki multifungsi ekologis dan berhubungan dengan komponen pengatur komponen iklim di bumi. Biomassa di Hutan Lindung Mangunan dapat hilang dengan cepat sehingga perlu dijaga keberadaannya.

Tabel 1. Potensi Biomassa Hutan Lindung Mangunan

No	Jenis Biomassa	Nilai Biomassa (ton/Ha)
1	Biomassa Atas Permukaan	87,13
2	Biomassa Bawah Permukaan	25,27
3	Biomassa Total	112,40

Tabel 2. Potensi karbon Hutan Lindung Mangunan

No	Jenis Karbon	Nilai Karbon (ton/Ha)
1	Karbon Atas Permukaan	40,95
2	Karbon Bawah Permukaan	11,88
3	Karbon Total	52,83

3.2. Potensi Karbon

Potensi karbon dapat diartikan sebagai banyaknya karbon yang mampu diserap vegetasi dalam bentuk biomassa (Purnawan et al. 2020). Hasil perhitungan (Tabel 2) potensi karbon atas permukaan 40,95 ton/Ha lebih tinggi daripada potensi karbon bawah permukaan 11,88 ton/Ha. Nilai karbon tersebut berbanding lurus dengan nilai biomassa, artinya semakin tinggi nilai biomassa, maka nilai karbon akan semakin tinggi. Potensi karbon hutan dipengaruhi oleh faktor internal seperti diameter pohon dan tinggi pohon (Dhyani et al. 2021). Hutan Lindung Mangunan memiliki umur pohon cukup tua yang ditanam pada tahun 1980 dengan dominasi jenis *Pinnus merkusii*, sehingga mempunyai peran terhadap banyaknya karbon yang tersimpan.

Simpanan karbon di Hutan Lindung Mangunan lebih kecil dari simpanan karbon Hutan Lindung Sentajo sebesar 223,17 ton/Ha (Efrinaldi, 2014), dan Hutan Lindung Gunung Bondang sebesar 293,68 ton/Ha. Hutan alami dengan pohon berdiameter besar dengan umur pohon yang tua merupakan tempat penyimpanan karbon yang potensial (Pangabeian et al. 2013). Temuan lain di hutan Nigeria menunjukkan, hutan berumur muda hasil revegetasi memiliki simpanan karbon lebih tinggi dari hutan alami (Komolafe, 2020). Kondisi tersebut disebabkan jenis vegetasi di hutan yang mengalami permudaan memiliki tingkat pertumbuhan lebih cepat dari hutan alami.

Hutan Lindung Mangunan berfungsi sebagai penyimpan karbon melalui biomassa yang tersimpan di dalam hutan. Konsentrasi CO₂ di atmosfer dapat diserap oleh vegetasi dan disimpan melalui daun, batang, hingga akar. Perkembangan urbanisasi saat ini berpotensi mengubah cadangan karbon tersimpan di hutan, sehingga dapat mengganggu ekosistem (Dhyani et al. 2021; Huang, 2021). Karbon yang tersimpan di Hutan Lindung Mangunan dapat hilang apabila terjadi penebangan, kebakaran, maupun matinya pohon yang ada di dalam kawasan. Penebangan dan kebakaran hutan merupakan gangguan umum yang secara signifikan mengurangi simpanan karbon hutan (Wilson et al. 2021).

3.3. Potensi Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan Penyerap CO₂ dan Penghasil O₂

Karbon tersimpan di Hutan Lindung Mangunan berupa biomassa bawah permukaan dan atas permukaan dari proses biogeokimia pada vegetasi dimana salah satu prosesnya membutuhkan karbondioksida (CO₂). Gas CO₂ diserap oleh Hutan Lindung Mangunan sebesar 193,87 ton/ha/tahun disajikan pada Tabel 3. Hutan pada fase pertumbuhan dapat menyerap karbondioksida dalam jumlah banyak seperti di Hutan Lindung Mangunan. Dibuktikan dengan masih banyaknya tingkatan hidup pohon pada fase tiang (DBH antara 10 cm – 20 cm).

Tabel 3. Potensi karbon Hutan Lindung Mangunan

No	Jenis Jasa lingkungan	Nilai Jasa Lingkungan (ton/ha)	Nilai Ekonomi ton/ha/tahun (Rp)	Nilai Ekonomi Luas 570,70 Ha (Rp)
1	Penyerap karbondioksida	193,87	5.490.133	3.133.219.174
2	Penghasil oksigen	141,53	3.719.363	2.122.640.368
3	Total	335,40	9.209.496	2.122.640.368

Fungsi hutan sebagai penyerap karbon memiliki nilai ekonomi pada perdagangan karbon internasional. Potensi nilai ekonomi dari fungsi Hutan Lindung Mangunan sebagai penyerap karbon sebesar Rp.5.490.133,- ton/ha/tahun. Nilai tersebut lebih besar dari hasil penelitian USAID (1998) dalam Permen LHK RI Nomor 15 Tahun 2012 tentang Panduan Valuasi Ekonomi Ekosistem Hutan sebesar US\$5 hektar/tahun atau setara dengan Rp.70.795. Luas Hutan Lindung Mangunan 570,70 Ha, sehingga dengan luas tersebut nilai ekonomi jasa lingkungan Hutan Lindung

Mangunan sebagai penyerap karbon dioksida sebesar Rp.3.133.219.174,- seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Hutan memiliki jasa lingkungan sebagai penghasil oksigen (O₂) yang berfungsi bagi manusia. Oksigen tidak hanya berguna untuk manusia namun juga kehidupan di muka bumi. Kemampuan hutan untuk menghasilkan oksigen di sekitarnya sebanding dengan luasan kawasan hutan yang ada (Aprianto dan Sudibyakto, 2010; Sesanti et.al. 2011). Hutan Lindung Mangunan seluas 570,70 Ha memiliki potensi menghasilkan oksigen untuk wilayah Bantul dan sekitarnya. Hasil wawancara menunjukkan semakin banyak vegetasi di Hutan Lindung Mangunan membuat semakin sejuk udara yang ada disekitarnya.

Hutan Lindung Mangunan memiliki jasa lingkungan sebagai penghasil oksigen dihitung dari rumus pengembangan serapan karbondioksida menggunakan konversi unsur CO₂ ke O₂ dengan nilai angka ekivalen 0,72. Total produksi oksigen Hutan Lindung Mangunan 141,53 ton/ha/tahun dengan nilai ekonomi sebesar Rp.3.719.363,-. Hasil penelitian Purnawan et.al. (2020), menunjukkan Hutan Lindung Gunung Bondang Kabupaten Murung Raya sebesar 786,82 ton/ha lebih besar produksinya dengan yang ada di Hutan Lindung Mangunan. Faktor yang menjadi pembeda seperti biomassa bawah permukaan tanah atau atas permukaan tanah. Luas Hutan Lindung Mangunan 570,70 Ha, sehingga dengan luas tersebut nilai ekonomi jasa lingkungan Hutan Lindung Mangunan sebagai penghasil oksigen Rp.2.122.640.368,-. Nilai ekonomi jasa lingkungan Hutan Lindung Mangunan secara keseluruhan sebagai penyerap CO₂ dan penghasil O₂ sebesar Rp. 2.122.640.368. Jasa lingkungan dari Hutan Lindung Mangunan seperti penyedia air bersih, pencegah erosi, dan perlindungan keanekaragaman hayati perlu dimasukkan untuk mengetahui total nilai jasa lingkungan yang lebih objektif. Kedepannya temuan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengembangkan perhitungan nilai jasa lingkungan yang dihasilkan oleh Hutan Lindung Mangunan.

4. KESIMPULAN

Hutan Lindung Mangunan memiliki biomassa atas permukaan dan bawah permukaan cukup potensial sebesar 52,83 ton/ha. Potensi biomassa tersebut memiliki ancaman berupa penebangan pohon dan kebakaran hutan sehingga perlu dijaga kelestariannya. Jasa lingkungan Hutan Lindung Mangunan berupa penyerap CO₂ sebesar 193,87 ton/ha/tahun dan

penghasil O₂ sebesar 141,53 ton/ha/tahun. Fungsi Hutan Lindung Mangunan sebagai penyerap CO₂ dan penghasil O₂ penting bagi keberlangsungan hidup makhluk hidup lainnya khususnya manusia. Jasa lingkungan Hutan Lindung Mangunan apabila di rupiahkan bernilai Rp. 2.122.640.368 dari fungsi penyerap Co₂ dan penghasil O₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dari rekan alumni Lab PDAS Kehutanan UGM khususnya Sdr.Bram Elde, Sdr.Prasetya Ananta, dan Sdr.Randi Imam atas bantuannya dalam pengambilan data lapangan karbon hutan. Ucapan terimakasih juga kepada teman-teman MPL 36 dan MPL 37 untuk suport dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C.E., Howard, J., Herr, Fortes, M., Pidgeon, E., Wagey, T. 2015. Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Journal Wetlands Ecology and Management* 23 (4): 3-13
- Aprianto, M.C., Sudibyakto. 2010. Kajian luas hutan kota berdasarkan kebutuhan oksigen, karbon tersimpan, dan kebutuhan air di Kota Yogyakarta. *Majalah geografi Indonesia* 24 (2) : 82-100.
- BSNI. 2011. Pengukuran dan perhitungan cadangan karbon pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Budiadi. 2020. Pendugaan simpanan karbon pada kawasan rehabilitasi Pesisir Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14 : 71-83.
- Gitart, B.A., Rodriguez, E.L.C. 2010. Private valuation of carbon sequestration in forest plantations. *Journal Ecological Economics* 69 : 451-458.
- Hardjana, A.K. 2010. Potensi biomassa dan karbon pada hutan tanaman Acacia mangium di HTI PT. Surya Hutani Jaya, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan* 7 (4) : 237-249.
- Heriyanti, A.P., Purwanto, P., Purnaweni, H., dan Fariz, T.R. 2022. Greenhouse Gas Emissions And Biogas Potential From Livestock In Rural Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia* 11(1) : 35-46.
- Huang, C., Liang, Y., He, H.S., Wu, M.M., Liu, B., Ma, T. 2021. Sensitivity of aboveground biomass and species composition to climate change in boreal forests of Northeastern China. *Journal Ecological Modeling* 445: 1-10.
- Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 112/PMK.05/2014 Tentang Tarif Layanan Badan Layanan Umum Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten Pada Kementerian Kesehatan. Jakarta: Kementerian Keuangan republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Nomor 15 Tahun 2012 Tentang Panduan Valuasi Ekonomi Ekosistem Hutan. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Purnawan, E.I., Jemi, R., Triadi, A., Perkasa, P. 2020. Potensi karbon dan jasa lingkungan: studi hutan lindung Gunung Bondang Kabupaten Murung Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia. *Jurnal Daun* 7 (2) : 100-116.
- Sahoo, U. K., Nath, A.J., dan Lalnunpuii, K., 2021. Biomass estimation models, biomass storage and ecosystem carbon stock in sweet orange orchards: Implications for land use managemen. *Journal Acta Ecologica Sinica* 41 : 57-63.
- Sesanti, N., Kurniawan, E.D., dan Anggraeni, M. 2011. Optimasi hutan sebagai penghasil oksigen Kota Malang. *Jurnal Tata Kota dan Daerah* 3(1) : 65-74.
- Sinambela, N.R. 2020. Kajian Literatur Ruang Terbuka Hijau Terhadap Kebutuhan Oksigen. *Jurnal Pondasi* 25(2): 137-156.
- Wilson, N., Bradstock, R., dan Bedward, M. 2021. Comparing forest carbon stock losses between logging and wildfire in forests with contrasting responses to fire. *Journal Fores Ecology and Managementt* 481 : 1-9.
- Yuniawati, A., Budiaman, dan Elias. 2011. Estimasi potensi biomassa dan massa karbon hutan tanaman *Accacia crassicarpa* di lahan gambut. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29 (4): 343-355.