

Kehilangan Karbon dan Oksigen pada Pemanenan Jati (*Tectona grandis* Linn. f) Unggul Nusantara di Kebun Percobaan Cogreg, Kecamatan Ciseeng, Kabupaten Bogor

(Carbon and Oxygen Loss in Teakwood [*Tectona grandis* Linn. F] Harvesting in Cogreg Experimental Garden, Ciseeng District, Bogor Regency)

Dwi Agus Sasongko^{1*}, Ken Dara Cita², Abdul Rahman Rusli¹, Bambang Supriono¹

(Diterima Juni 2022/Disetujui Desember 2022)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menghitung besaran karbon yang hilang dan besaran hasil oksigen yang tidak mampu lagi dihasilkan oleh Kebun Percobaan Cogreg (KPC) akibat pemanenan kayu Jati Unggul Nusantara (JUN). Kehilangan cadangan karbon diukur menggunakan metode persamaan alometrik berdasarkan SNI 7724:2011. Penghitungan kehilangan potensi penghasil oksigen menggunakan metode perbandingan bobot atom karbon dan oksigen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanenan JUN di KPC menyebabkan kehilangan cadangan potensi penyimpanan karbon 215,384 ton/tahun atau setara dengan Rp7,2 miliar, kehilangan potensi penghasil oksigen 574,359 ton/tahun atau setara dengan Rp2,66 miliar. Adapun hasil pemanenan kayu JUN hanya mampu menghasilkan nilai finansial Rp1.36 miliar. Jadi, nilai finansial jasa lingkungan KPC berupa penyimpan karbon dan penghasil oksigen jauh melebihi nilai finansial pemanenan kayu JUN.

Kata kunci: Jati Unggul Nusantara, Kebun Percobaan Cogreg, kehilangan karbon, kehilangan oksigen

ABSTRACT

This study aims to calculate the amount of carbon lost and the amount of oxygen that can no longer be produced by the Cogreg Experimental Garden (KPC) due to the harvesting of Nusantara Unggul Teak wood (JUN). Carbon stock loss was measured using the allometric equation method based on the SNI 7724:2011. Calculating the loss of oxygen-producing potential used the comparison method of the atomic weights of carbon and oxygen. The results of this study indicate that the harvesting of JUN at KPC causes a loss of potential carbon storage reserves of 215.384 tons/year or equivalent to IDR7.2 billions; the loss of oxygen-producing potential is 574,359 tons/year or equivalent to IDR2.66 billions. Meanwhile, the results of harvesting JUN wood can only produce a financial value of IDR1,36 billions. Therefore, the financial value of the KPC's environmental services in the form of carbon storage and oxygen production is much greater than the financial value of harvesting JUN's wood.

Keywords: carbon loss, Cogreg Experimental Garden, Jati Unggul Nusantara, oxygen loss

PENDAHULUAN

Jasa lingkungan hidup merupakan penggambaran manfaat ekosistem dan lingkungan hidup bagi manusia dan keberlangsungan kehidupan, di antaranya mencakup penyediaan sumber daya alam, pengaturan alam dan lingkungan hidup, penyokong proses alam, dan pelestarian nilai budaya (PP 46/2017). Di antara jasa lingkungan yang penting adalah penyimpanan cadangan karbon dan penghasil oksigen. Kedua hal tersebut merupakan peristiwa yang saling terkait dalam proses fotosintesis. Fotosintesis merupakan peristiwa

yang melibatkan penyerapan karbon dioksida di udara yang kemudian diubah menjadi karbohidrat dan oksigen. Penyerapan dan penyimpanan karbon di udara menjadi penting jika dihubungkan dengan pengurangan emisi karbon. Pengurangan emisi karbon di udara sekaligus berdampak pada penambahan kadar oksigen di udara (Hidayati *et al.* 2011).

Kebun Percobaan Cogreg (KPC) merupakan lahan Universitas Nusa Bangsa dengan luas 6,9 ha terletak di Kecamatan Ciseeng, Kabupaten Bogor. KPC ditanami Jati (*Tectona grandis* Linn. f) Unggul Nusantara (JUN). Tegakan JUN yang ada merupakan hasil trubusan berusia 7–8 tahun. Keberadaan tegakan yang ada penting untuk dipertahankan dalam rangka mempertahankan emisi karbon tetap tersimpan di batang kayu. Selain itu, tegakan JUN berfungsi sebagai penghasil oksigen melalui proses fotosintesis.

KPC mengalami perubahan kepemilikan lahan sehingga tegakan JUN yang ada harus dipanen

¹ Fakultas Kehutanan Universitas Nusa Bangsa, Jl. KH. Sholeh Iskandar Km.4, Cimanggu, Bogor 16166

² Program Studi Kehutanan Sekolah Tinggi Pertanian Sriwigama, Jl. Demang IV No. 9, Lorok Pakjo, Kecamatan Ilir Bar I, Palembang 30137

* Penulis Korespondensi: Email: dwas314@gmail.com

(ditebang). Pemanenan tegakan JUN berdampak pada hilangnya potensi KPC sebagai penyimpan emisi karbon dan penghasil oksigen. Penelitian ini bertujuan mengukur tingginya karbon yang hilang dan besaran hasil oksigen yang tidak mampu lagi dihasilkan oleh KPC. Selain itu, penelitian diharapkan mampu mengestimasi nilai nominal jasa lingkungan penyimpanan karbon dan penghasil oksigen yang hilang.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di KPC yang terletak di Desa Cogreg, Kecamatan Ciseeng, Kabupaten Bogor pada Mei 2021.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas *tally sheet*, pita diameter (*phi band*), gergaji mesin, gergaji manual, oven, dan kayu JUN.

Prosedur

Parmeter yang diteliti ialah diameter pohon, massa jenis kayu, biomassa total, kehilangan cadangan karbon, dan kehilangan potensi penghasil oksigen.

Diameter pohon diukur menggunakan pita diameter. Diameter diukur secara sensus (4939 individu) yang kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Massa jenis kayu (ρ) diukur dari spesimen kayu dari 3 pohon terpilih (setiap pohon diambil sampel pada bagian bagian akar, pangkal, tengah, dan ujung kayu). Spesimen kayu dikeringkan dalam oven suhu 103°C hingga bobot kering tercapai (Marsoem *et al.* 2014). Massa jenis kayu dihitung menurut Hairiah dan Rahayu (2007):

$$\rho = \frac{\text{massa kering kayu}}{\text{volume kering kayu}}$$

Biomassa total diukur dengan persamaan allometrik (Ketterings *et al.* 2011):

$$B = 0,11 \times \rho \times D^{2,62}$$

Penghitungan kehilangan cadangan karbon menggunakan metode alometrik berdasarkan SNI 7724:2011 tentang Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon–Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (BSN 2011).

$$Cb = B \times \%C \text{ Organik}$$

Total cadangan karbon dihitung dengan rumus:

$$Cb \text{ (total)} = Cb \times 4939$$

Penghitungan kehilangan potensi penghasil oksigen; Penghitungan dilakukan menggunakan metode menurut Nowak *et al.* (2007) yang menyebutkan bahwa akumulasi penyerapan karbon pada vegetasi didapatkan jika jumlah penyerapan CO₂ selama proses fotosintesis lebih besar dari pelepasan CO₂ pada proses respirasi (pernafasan). Dengan demikian, vegetasi yang memiliki akumulasi bersih karbon selama pertumbuhan maka vegetasi juga memiliki produksi oksigen bersih.

$$\text{Produksi O2 bersih} \left(\frac{\text{kg}}{\text{th}}\right) = \text{Penyerapan C bersih} \left(\frac{\text{kg}}{\text{th}}\right) \times \frac{32}{12}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

JUN yang terdapat di KPC berjumlah 4939 individu. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh rata-rata diameter pohon 16,094 cm dan rata-rata volume individu pohon 0,12012 m³. Massa jenis kayu JUN diukur agar diketahui karakteristik kayu pada umur 7–8 tahun. Selain itu, data ini penting untuk diketahui mengingat tegakan JUN tersebut berupa trubusan. Sampel kayu yang sudah disiapkan berasal dari bagian yang berbeda, yaitu ujung kayu, tengah kayu, pangkal kayu, dan akar. Menurut Widiati *et al.* (2016), spesimen yang diambil tersebut sudah dianggap mewakili bagian kayu. Hasil pengukuran spesimen di laboratorium ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan rumus Hairiah dan Rahayu (2007), didapatkan nilai massa jenis (ρ) JUN adalah 0,5816 g/cm³. Massa jenis JUN umur 7 dan 8 tahun di KPC ini tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran oleh Sushardi dan Gustomo (2013) pada JUN umur 6 tahun, yaitu 0,58 g/cm³. Massa jenis tersebut masih lebih rendah bila dibandingkan dengan kayu jati yang berumur lebih tua. Menurut Martawijaya *et al.* (2005), massa jenis kayu jati tua memiliki nilai yang lebih tinggi, yaitu 0,62–0,75 g/cm³. Kondisi tersebut sejalan dengan dengan penelitian Wahyudi *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa kadar air pada kayu akan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya umur pohon, dan penurunan kadar air berpengaruh pada kepadatan kayu.

Tabel 1 Hasil pengukuran sampel kayu

Sampel*	Sampel basah		Sampel kering angin		Sampel kering oven	
	Volume (cm ³)	Bobot (g)	Volume (cm ³)	Bobot (g)	Volume (cm ³)	Bobot (g)
Ujung	5,5232	6,0789	5,3560	3,6399	4,9436	3,1956
Tengah	8,0088	8,1394	7,5745	3,9090	6,9270	3,4511
Pangkal	6,2357	7,2639	6,2223	4,0775	5,7090	3,6182
Akar	9,3583	10,6339	9,2075	5,5138	8,4749	4,8877
Rata-rata	7,2815	8,0290	7,0901	4,2851	6,5136	3,7882

Keterangan: *Setiap sampel dibuat 6 ulangan.

Biomassa dapat dihitung setelah mengetahui massa jenis kayu. Pada penghitungan ini, persentase C-organik ditentukan sebesar 0,47 (BSN 2011). Hasil perhitungan menunjukkan biomassa JUN 92,785 kg/individu. Dengan individu JUN sejumlah 4939 maka dapat dihitung biomassa total JUN, yakni 458.265,115 kg (458,265 ton). Penghitungan biomassa menjadi hal penting karena menurut Krisnawati (2010), karbon hutan tersimpan dalam bentuk biomassa sehingga kandungan karbon yang tersimpan dalam hutan dapat diketahui dengan memperkirakan kandungan biomassa hutan. Biomassa hutan didefinisikan sebagai jumlah total bobot kering semua bagian tumbuhan hidup dan dinyatakan dalam bobot kering oven per satuan area.

Perhitungan Karbon Tersimpan (*Carbon Sequestration*)

Karbon tersimpan merupakan proses tersimpannya CO₂ di lingkungan. CO₂ yang tersimpan berasal dari atmosfer atau sumber-sumber emisi lainnya. Secara alami, siklus karbon terjadi akibat penyerapan dan pelepasan kembali CO₂ ke atmosfer. Siklus alamiah selalu terjadi secara seimbang. Hal berbeda terjadi ketika ada proses pelepasan CO₂ berlebihan akibat pemakaian bahan bakar fosil tidak diimbangi dengan penyerapan oleh vegetasi (Sundquist *et al.* 2008).

Karbon tersimpan dapat dihitung dengan persamaan $C_b = B \times \% \text{C-organik}$ (BSN 2011) sehingga nilai tersebut dapat diketahui. Karbon tersimpan dalam JUN di KPC = 458.265,115 kg \times 0,47 = 215.384,60405 kg = 215,384 ton. Inilah potensi penyerapan karbon yang hilang akibat pemanenan JUN. Vegetasi berperan penting dalam mengurangi kadar emisi di atmosfer melalui kemampuannya menangkap CO₂ di atmosfer untuk dimanfaatkan pada proses fotosintesis. Pemanenan JUN akan menghilangkan kemampuan KPC sebagai agen penyerap dan penyimpan CO₂. Sejalan dengan pernyataan Murdiyarto *et al.* (2004), penebangan pohon secara masif berdampak pada meningkatnya lahan terbuka sehingga permukaan tanah lebih banyak menerima paparan radiasi dan cahaya matahari. Dengan demikian, suhu tanah akan meningkat dan cadangan air tanah menurun. Kondisi tersebut berpengaruh pada penurunan cadangan karbon di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah.

Penghitungan kandungan karbon JUN di KPC perlu dilakukan mengingat kategorinya sebagai salah satu ekosistem terestrial yang berfungsi menyimpan karbon. Hal tersebut didukung oleh data IPCC (2001) yang menyatakan bahwa 48% dari seluruh kapasitas penyimpanan ekosistem terestrial ada di hutan. Selain itu juga diperkuat dengan fakta yang disampaikan Lorenz dan Lal (2009) bahwa pohon adalah komponen terbesar penyerap CO₂.

Kehilangan CO₂ tersimpan di hutan sangat penting untuk diperhatikan. Junaedi (2008) menjelaskan bahwa salah satu gas rumah kaca utama adalah CO₂. Hal tersebut karena tingginya laju penambahan emisi

dan lamanya bertahan di atmosfer. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa hutan mampu menyerap CO₂ dalam jumlah besar dan mampu berperan dalam pengurangan emisi karbon (Marisha 2018; Utami 2012; Lawrence *et al.* 2022). Hutan mampu menjaga kestabilan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Selain itu fungsi penting KPC sebagai hutan juga sesuai dengan pendapat Hairiah dan Rahayu (2007) yang menyatakan bahwa pohon (tanaman berumur panjang) merupakan tempat penyimpanan karbon dengan jumlah yang jauh lebih besar daripada tanaman semusim. Lebih lanjut dijelaskan bahwa perubahan fungsi lahan dapat menyebabkan menurunnya karbon tersimpan.

Pemanenan JUN di KPC yang selanjutnya digunakan untuk fungsi selain hutan akan menyebabkan menurunnya simpanan karbon di lahan bekas KPC. Hal ini juga diperkuat dengan pendapat Nugroho *et al.* (2012) yang mengkategorikan konversi lahan seperti yang terjadi di KPC dapat dinyatakan sebagai deforestasi. Deforestasi dapat meningkatkan emisi karbon yang sangat besar sebagai efek hilangnya stok karbon.

Fotosintesis merupakan proses di dalam tumbuhan yang melibatkan penyerapan CO₂ dan memungkinkan tumbuhan sebagai agen paling aktif dalam menambatkan karbon (Dariah *et al.* 2013). Kehilangan tegakan JUN di KPC dapat menyebabkan hilangnya potensi penyerapan CO₂ di sekitar lahan tersebut, dan dapat berdampak pada peningkatan emisi karbon ke atmosfer.

Kecamatan Ciseeng merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Bogor yang terletak dekat dengan Jakarta. Dengan demikian, wilayah ini memiliki keunggulan dalam aksesibilitas yang tinggi. Kondisi tersebut dapat menjadikan Ciseeng sebagai salah satu pusat pengembangan pemukiman dan perekonomian. Keberadaan KPC berfungsi sebagai salah satu ruang terbuka hijau (RTH) di wilayah Ciseeng. RTH memiliki fungsi yang hampir sama dengan hutan kota, mengingat banyaknya jumlah pohon yang ada. Sejalan dengan pendapat Masripatin *et al.* (2010), kemampuan penyimpanan karbon cenderung tinggi pada hutan kota dan RTH yang didominasi oleh pepohonan.

Lebih lanjut dapat ditelusuri kerugian akibat pemanenan JUN di KPC. Apabila menggunakan standar di Eropa, harga karbon menyentuh € 96/ton (Katadata 2022). Jika merujuk kurs dari CNBC Indonesia pada tanggal 30 Mei 2022 pukul 16.19 WIB, € 1 setara dengan Rp15.663,33 (CNBC Indonesia 2022), sehingga harga karbon berkisar Rp7.177.957.723,7329. Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai ekonomi penyimpanan karbon yang hilang mendekati nilai Rp7,2 miliar. Nilai tersebut dapat dikategorikan sebagai nilai jasa lingkungan hutan. Kayu JUN yang dipanen termasuk pada kategori kelas 1 (diameter 11–19 cm). Situs internet Hargaper (2022) menyebutkan harga kayu jati gelondongan kelas tersebut berkisar pada Rp2.000.000/m³. Kayu JUN yang dipanen di KPC menghasilkan kubikasi sebanyak

$0,12012 \text{ m}^3 \times 4939 \text{ pohon} = 593,2905 \text{ m}^3$, sehingga dapat diketahui hasil panen bernilai Rp1.364.568,150 atau mendekati Rp1,365 miliar. Perolehan nilai ekonomi jasa lingkungan lebih besar bila dibandingkan dengan nilai kayu pada pemanenan kayu JUN. Nilai ekonomi jasa lingkungan dapat terus bertambah bila diperhitungkan faktor-faktor lain seperti penghasil oksigen dan pengatur tata air.

Perhitungan Kehilangan Oksigen

Vegetasi dapat menghasilkan oksigen yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Oksigen pada vegetasi terlibat dalam dua proses penting. Oksigen merupakan produk dari proses fotosintesis dan di saat yang bersamaan juga diperlukan dalam proses pernapasan (respirasi). Salisbury dan Ross (1978) melaporkan bahwa oksigen bersih yang dihasilkan oleh vegetasi dapat dihitung berdasarkan jumlah oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis dikurangi jumlah oksigen terpakai untuk proses pernapasan. Nowak *et al.* (2007) berpendapat bahwa oksigen yang dihasilkan vegetasi dapat dihitung berdasarkan bobot atom. Berdasarkan penghitungan hasil oksigen, dapat diketahui produksi oksigen bersih di KPC mencapai 574.358,9441 kg/th. Kebutuhan oksigen per orang menurut Jianping *et al.* (2018) adalah 1,17 kg/hari atau 427,05 kg/th. Apabila satu tahun terdiri atas 365 hari maka produksi oksigen setara dengan pemenuhan kebutuhan oksigen bagi 1344 orang.

Perhitungan tersebut penting untuk ditekankan karena dapat menunjukkan peran penting KPC dalam memberi andil bagi daya dukung lingkungan. Kehidupan manusia dapat berjalan dengan baik apabila mendapatkan daya dukung yang sesuai. Oksigen dan air merupakan kebutuhan mendasar manusia. Kemampuan KPC dalam menghasilkan oksigen sejumlah tersebut memberikan jaminan bahwa keberadaan pohon sangatlah vital. KPC menjadi salah satu ekosistem penyangga kehidupan masyarakat di sekitarnya.

Pentingnya oksigen dapat digambarkan oleh pendapat Purba dan Harefa (2019), bahwa asupan oksigen pada otak manusia dipengaruhi oleh kandungan oksigen di udara sekitar manusia. Lebih lanjut Karmiza *et al.* (2014) menegaskan bahwa aliran oksigen dalam jumlah cukup sangatlah dibutuhkan agar keberlangsungan aktivitas metabolisme dapat berjalan normal. Kecukupan oksigen dalam otak akan menjamin aliran darah ke dalam otak tetap konstan. Oksigen yang cukup dapat diperoleh jika lingkungan menyediakannya dengan cukup. Penjelasan tersebut juga didukung oleh Imelda (2009), yang menyatakan bahwa tingkat kebergantungan manusia pada oksigen sangat tinggi, karena oksigen berperan dalam proses respirasi sehingga proses metabolisme tubuh manusia berlangsung dengan baik.

Kandungan oksigen di udara dalam jumlah cukup akan menghindarkan manusia mengalami kondisi hipoksia. Kompas (2020) menjelaskan bahwa hipoksia

dapat terjadi karena kurangnya oksigen dalam tubuh manusia. Jika hal tersebut terjadi, metabolisme tubuh menjadi tidak sempurna sehingga kematian jaringan tidak terhindarkan. Dampak paling fatal ialah terjadinya kematian.

Fungsi oksigen tidak dapat digantikan oleh apapun sehingga keberadaannya dalam jumlah yang cukup adalah mutlak. Kondisi tersebut menjadikan oksigen sebagai faktor kunci dalam kehidupan manusia. Ketiadaan oksigen berarti ketiadaan kehidupan. Keberadaan KPC sebagai penghasil oksigen sepanjang tahun dalam nilai finansial dapat dihitung dengan pendekatan harga isi ulang oksigen untuk keperluan medis. Harga oksigen pada tabung berukuran 1 m³ senilai Rp46.400 (Harga 2022). Menurut Saibumi (2022), 1 m³ oksigen setara dengan 10 kg oksigen. Dengan produksi oksigen di KPC 574.358,9441 kg, maka nilainya setara dengan Rp2.665.025.500,624 (Rp2,66 miliar). Nilai finansial oksigen yang dihasilkan masih lebih tinggi (sekitar 2 kali lipat) daripada nilai jual kayu JUN yang dipanen, yaitu Rp1.364.568,150 atau mendekati Rp1,365 miliar.

Nilai jasa lingkungan KPC sebagai penyimpan karbon dan penghasil oksigen berkisar pada Rp9.842.983.224,3569 atau Rp9,84 miliar, sedangkan nilai pemanenan kayu hanya berkisar Rp1.364.568,150 atau mendekati Rp1,365 miliar. Berdasarkan fakta-fakta yang ada maka dapat dikatakan bahwa pemanenan kayu JUN di KPC menghasilkan nilai finansial yang hanya sekitar 14% dibandingkan fungsi jasa lingkungan berupa penyimpan karbon dan penghasil oksigen. Dengan fakta tersebut maka sebaiknya pemanfaatan lahan pascapanen JUN dan peralihan kepemilikan KPC tetap difungsikan sebagai hutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemanenan JUN di KPC menyebabkan kehilangan cadangan potensi penyimpanan karbon sebesar 215,384 ton/tahun atau setara dengan Rp7,2 miliar. Pemanenan JUN di KPC menyebabkan kehilangan potensi penghasil oksigen sebesar 574,359 ton/tahun atau setara dengan Rp2,66 miliar. Pemanenan kayu JUN di Kebun Percobaan Cogreg hanya mampu menghasilkan nilai finansial Rp1,36 miliar. Nilai finansial jasa lingkungan berupa penyimpan karbon dan penghasil oksigen jauh melebihi nilai finansial pemanenan kayu JUN. Dengan demikian, KPC perlu tetap difungsikan sebagai hutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Nusa Bangsa atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 7724:2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*groundbased forest carbon accounting*). Jakarta (ID).
- CNBC Indonesia. 2022. Currencies. [Internet]. [diunduh 2022 Mei 30]. Tersedia pada: <https://www.cnbcindonesia.com/market-data/currencies/EURIDR=X/EUR-IDR>.
- Dariah A, Susanti E, Agus F. 2013. Simpanan Karbon dan Emisi CO₂ Lahan Gambut. [Internet]. [diunduh 2022 Mei 30]. Tersedia pada: <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/lainnya/ai%20dariah.pdf>.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre–Southeast Asia Regional Office. Bogor (ID).
- Harga. 2022. Daftar Harga Tabung Oksigen dalam Berbagai Ukuran, Info 2022. [Internet]. [diunduh 2022 Mei 31]. Tersedia pada: <https://harga.web.id/daftar-harga-isi-ulang-tabung-oksigen-dalam-berbagai-ukuran.info> 2022.
- Hargaper. 2022. Harga Kayu Jati Gelondongan per Kubik. [Internet]. [diunduh 2022 Mei 31]. Tersedia pada: <https://hargaper.com/harga-kayu-jati-gelondongan.html>.
- Hidayati N, Reza M, Juhaeti T, Mansur M. 2011. Serapan karbondioksida (CO₂) jenis-jenis pohon di Taman Buah 'Mekar Sari' Bogor, Kaitannya dengan potensi mitigasi gas rumah kaca. *Jurnal Biologi Indonesia* 7(1): 133–145.
- Imelda F. 2009. Oksigenasi dan Proses Keperawatan. Universitas Sumatera Utara [Internet]. [diunduh 2022 Juni 03]. Tersedia pada: <http://ocw.usu.ac.id/course/detail/ilmu-keperawatan-s1/128-KEBUTUHAN-DASAR-MANUSIA.html>.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Third Assessment Report of IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Jianping H, Jiping H, Xiaoyue L, Changyu L, Lei D, Haipeng Y. 2018. The global oxygen budget and its future projection. *Science Bulletin*. 63(18): 1180–1186. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.07.023>
- Junaedi A. 2008. Kontribusi hutan sebagai rosot karbon dioksida. *Info Hutan*. 2(1): 1–7.
- Karmiza K, Muharizza M, Huriani E. 2014. Left Lateral Positioning with Head Elevation Increase The Partial Pressure of Oxygen on Patiens with Mechanical Ventilation. *Jurnal Ners*. 9: 59–65. <https://doi.org/10.20473/jn.v9i1.2979>.
- Katadata. 2022. Harga Karbon Eropa Sentuh € 96/ton, Tertinggi Sejak Diluncurkan 2005. [Internet]. [diunduh 2022 Mei 30]. Tersedia pada: <https://katadata.co.id/happyfajrian/ekonomi-hijau/6200c21168a88/harga-karbon-eropa-sentuh-96ton-tertinggi-sejak-diluncurkan-2005>.
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, dan Palm, C. 2011. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146(1): 199–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Kompas. 2020. Apa Itu Hipoksia? [Internet]. [diunduh 2022 Juni 03]. Tersedia pada: <https://health.kompas.com/read/2020/06/02/101000968/a-pa-itu-hipoksia?page=all>.
- Krisnawati H. 2010. *Status Data Stok Karbon dalam Biomas Hutan di Indonesia: REDD+ & Forest Governance*. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan–Kementerian Kehutanan, Bogor (ID).
- Lawrence D, Coe M, Walker W, Verchot L, Vandecar K. 2022. The unseen effects of deforestation: Biophysical effects on climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115>
- Lorenz K, Lal R. 2009. *Carbon Sequestration in Forest Ecosystem*. Berlin (EN). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9>
- Marisha S. 2018. Analisis Kemampuan Pohon dalam Menyerap CO₂ dan Menyimpan Karbon pada Jalur Hijau Jalan di Subwilayah Kota Tegalega Kota Bandung. Program Studi Rekayasa Kehutanan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung. [Skripsi] Bandung (ID).
- Marsoem SN, Prasetyo VE, Sulistyio J, Sudaryono, Lukmandaru G. 2014. Studi mutu kayu jati hutan rakyat Gunungkidul. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 8(2): 75–88.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Kadir K, Prawira SA. 2005. *Atlas Kayu Indonesia (1)*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor (ID).
- Masripatin NS, Ginoga KL, Pri G, Dharmawan WS, Siregar CA, Wibowo A, Puspasari D, Utomo AS, Sakuntaladewi N, Lugina M, Indartik, Wulandari W, Darmawan S, Heryansah I, Heriyanto NM, Siringoringo HH, Darmayanti R, Anggraeni D, Krisnawati H, Maryani R, Apriyanto D, Subekti B. 2010. *Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia*. Pusat Penelitian

- dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Bogor (ID).
- Mudiyarso D, Rosalina U, Hairiah K, Muslihat L, Suryadiputra INN, Jaya A. 2004. *Petunjuk Lapangan: Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut*. Wetlands International. Bogor (ID).
- Nowak DJ, Hoehn R, Crane, Daniel E. 2007. Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture and Urban Forestry*. 33(3): 220–226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
- Nugroho B, Sukadri D, Widyantoro B. 2012. Studi Analisis Peraturan Perundangan Terkait Dengan Pengelolaan yang Lestari pada Hutan, Hutan Berbasis Karbon, Penyerapan Karbon, Stok Karbon dan Produk Ramah Lingkungan. Kementerian Kehutanan–International Tropical Timber Organization. Jakarta (ID).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2017. Peraturan Pemerintah Nomor 6 tahun 2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup. Jakarta (ID).
- Purba LSL, Harefa N. 2019. Pengaruh kandungan oksigen udara sekolah terhadap konsentrasi belajar siswa SMA N 9 Jakarta Timur. *Seminar Nasional Pendidikan*. 3: 9–16. Jakarta (ID).
- Saibumi. 2022. Simak estimasi waktu maksimum penggunaan tabung oksigen. [Internet]. [diunduh 2022 Juni 03]. Tersedia pada: <https://www.saibumi.com/artikel-111185-simak-estimasi-waktu-maksimum-penggunaan-tabung-oksigen.html>.
- Salisbury FB, Ross CW. 1978. *Plant Physiology*. Belmont (CA): Wadsworth Publishing Company.
- Sundquist ET, Burruss RC, Faulkner SP, Gleason RA, Harden JW, Kharaka YK, Tieszen LL, Waldrop MP. 2008. *Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change*: U.S. Geological Survey, Fact Sheet 2008–3097, 4p. [Internet]. [diunduh 2022 Juni 11]. Tersedia pada: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3097/>. <https://doi.org/10.3133/fs20083097>
- Sushadi, Gustomo LS. 2013. Perbandingan struktur anatomi Jati Unggul Nusantara (JUN) dengan Jati Plus Perhutani (JPP) Umur 6 Tahun. *Jurnal Wana Tropika*. 3(1): 53–63.
- Utami IAPC. 2012. Studi Kemampuan Menyerap Karbon Dioksida (CO₂) dan Estimasi Karbon (C) Tersimpan pada Vegetasi Hutan Mangrove. [Tesis]. Malang (ID): Universitas Muhammadiyah Malang.
- Wahyudi I, Priadi T, Rahayu IS. 2014. Karakteristik dan Sifat-Sifat Kayu Jati Unggul Umur 4 dan 5 Tahun Asal Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 19(1): 50–56.
- Widiati KY, Dayadi I, Taruli MM. 2016. Sifat fisika dan mekanika kayu ipil (*Edertia spectabilis* Steenis & de Wit Sidiyasa) berdasarkan letak ketinggian dalam batang. *Jurnal Agrifor*. 15(1): 93–100.