

DAYA DUKUNG DAN JASA LINGKUNGAN TAMAN KERAGAMAN HAYATI DALAM PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA SERTA ROSOT KARBON

A. Hadian Pratama Hamzah¹, Nurhasanah², Cicik Suriani³, Sohifah⁴

Universitas Terbuka^{1,2}, Universitas Negeri Medan³, Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Barat⁴

hadian@ecampus.ut.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi dan cadangan karbon (*carbon stock*) serta penyerapan karbon (*carbon sequestration*) sebagai bagian dari layanan lingkungan dalam upaya pengurangan emisi karbon di Taman Kehati Kiarapayung. Metode yang digunakan adalah desain Petak Sampel Permanen (PSP) hasil modifikasi dan penggabungan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011 dan metode *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA) yang dikembangkan oleh ICRAF Southeast Asia. Pengukuran dan perhitungan dilakukan terhadap lima *carbon pool* dengan pendekatan gabungan, yaitu metode berbasis sensus untuk pengukuran biomassa tumbuhan di atas permukaan tanah dan metode berbasis pengambilan sampel untuk empat *carbon pool* lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata potensi karbon di Taman Kehati Kiarapayung sebesar 68,18 ton ha⁻¹ atau setara dengan 250,22 ton CO₂e ha⁻¹. Blok 6 memiliki cadangan karbon tertinggi sebesar 157,02 ton ha⁻¹ (576,25 ton CO₂e ha⁻¹), diikuti oleh Blok 7 dan Blok 2 dengan cadangan karbon masing-masing sebesar 77,23 ton ha⁻¹ (283,43 ton CO₂e ha⁻¹) dan 60,74 ton ha⁻¹ (222,92 ton CO₂e ha⁻¹). Potensi karbon yang lebih rendah ditemukan pada Blok 8, Blok 3, Blok 5, dan Blok 1 dengan kisaran nilai 55,47–43,75 ton ha⁻¹ atau setara dengan 203,59–222,92 ton CO₂e ha⁻¹. Blok 1 dan Blok 5 tercatat sebagai blok dengan potensi karbon terendah, masing-masing sebesar 41,84 dan 34,97 ton ha⁻¹ atau setara dengan 128,33 dan 153,56 ton CO₂e ha⁻¹. Simpulan, Taman Kehati Kiarapayung tidak hanya berperan sebagai kawasan konservasi, tetapi juga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai kawasan ekowisata dan eduwisata berbasis hutan dan karbon. Pengembangan tersebut dapat dilakukan melalui pemanfaatan data karbon berbasis digital, seperti penggunaan *QR code*, pemilihan spesies yang tepat, perancangan permainan dan kuis edukatif terkait karbon, integrasi nilai ekonomi karbon dalam mekanisme pembayaran jasa lingkungan, serta pengembangan laboratorium hidup yang berfokus pada penelitian karbon.

Kata Kunci: Emisi Gas Rumah Kaca, Jasa Lingkungan, Karbon, Konservasi, Taman Keanekaragaman Hayati

ABSTRACT

This study aimed to assess carbon stock potential and carbon sequestration as part of environmental services contributing to carbon emission reduction in Kiarapayung Biodiversity Park. The method applied was a Permanent Sample Plot (PSP) design modified from and integrating the Indonesian National Standard (SNI) 7724:2011 and the Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA) method developed by ICRAF Southeast Asia. Measurements and calculations were conducted on five carbon pools using a combined approach, consisting of a census-based method for aboveground biomass assessment and a sampling-based method for the remaining four carbon pools. The results indicate that the average carbon potential in Kiarapayung Biodiversity Park was 68.18 ton ha⁻¹, equivalent to 250.22 ton CO₂e ha⁻¹. Block 6 recorded the highest carbon stock at 157.02 ton ha⁻¹ (576.25 ton CO₂e ha⁻¹), followed by Block 7 and Block 2 with carbon stocks of 77.23 ton ha⁻¹ (283.43 ton CO₂e ha⁻¹) and 60.74 ton ha⁻¹ (222.92 ton CO₂e ha⁻¹), respectively. Lower carbon potentials were observed in Blocks 8, 3, 5, and 1, ranging from 55.47 to 43.75 ton ha⁻¹ or equivalent to 203.59–222.92 ton CO₂e ha⁻¹. Blocks 1 and 5 exhibited the lowest carbon potentials, amounting to 41.84 and 34.97 ton ha⁻¹ or equivalent to 128.33 and 153.56 ton CO₂e ha⁻¹, respectively. In conclusion, Kiarapayung Biodiversity Park serves not only as a conservation area but also has considerable potential to be developed as a forest- and carbon-based ecotourism and edutourism site. Such development may be supported through digital carbon data utilization using QR codes, appropriate species selection, educational games and quizzes related to carbon data, integration of carbon economic value into environmental service payment mechanisms, and the establishment of a living laboratory focused on carbon research.

Keywords: Greenhouse Gas Emissions, Environmental Services, Carbon, Conservation, Biodiversity Park

PENDAHULUAN

Hutan berperan sebagai sumber utama sekaligus penampung karbon di lingkungan, sehingga memiliki fungsi krusial dalam mitigasi pemanasan global dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Pemanasan global terjadi akibat peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK), yang diperkirakan akan menyebabkan kenaikan suhu rata-rata global sebesar 3,7 hingga 4,8 °C pada tahun 2100 (Nurhidayati et al., 2022). Data terkini menunjukkan bahwa suhu permukaan bumi pada dua dekade pertama abad ke-21 (2001–2020) meningkat sebesar 0,99 °C, sedangkan pada periode 2011–2020 meningkat sebesar 1,09 °C (rentang 0,95–1,20 °C) dibandingkan dengan kondisi pada tahun 1850–1900.

Upaya pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor kehutanan di Jawa Barat dilakukan melalui perluasan area perlindungan, baik di dalam maupun di luar kawasan hutan. Salah satu strategi yang diterapkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa

Barat untuk memperluas perlindungan di luar hutan adalah pengembangan Taman Keanekaragaman Hayati (Taman Kehati) Kiarapayung, yang terletak di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang. Pendirian Taman Kehati bertujuan untuk mengamankan dan melestarikan sumber daya alam hayati lokal yang berada di luar kawasan hutan, sekaligus mendukung konservasi keanekaragaman hayati secara berkelanjutan.

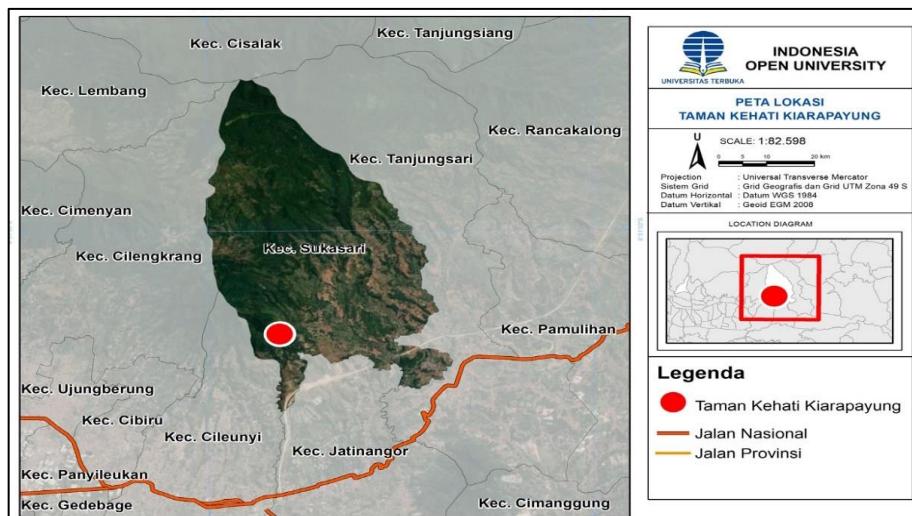
Taman Kehati berperan sebagai kawasan konservasi baik secara *in situ* maupun *ex situ*, dengan fokus utama pada perlindungan berbagai jenis tanaman lokal yang terancam punah (Gunawan, 2015). Selain fungsi konservasi tersebut, Taman Kehati juga berkontribusi dalam mempertahankan fungsi ekosistem jangka panjang (Hitei et al., 2024) serta berpotensi meningkatkan penyerapan karbon, sehingga memberikan manfaat tambahan bagi mitigasi perubahan iklim (Enny Insusanty & Dian Gustika, 2019).

Penelitian ini memiliki kebaruan karena tidak hanya menilai potensi dan cadangan karbon (*carbon stock*) serta penyerapan karbon (*carbon sequestration*) di Taman Kehati Kiarapayung menggunakan metode modifikasi Petak Sampel Permanen (PSP) dan *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA), tetapi juga menganalisis implikasinya terhadap pengembangan ekowisata dan eduwisata berbasis hutan dan karbon, yang mencakup pemanfaatan data digital, pemilihan spesies tumbuhan yang tepat, serta perancangan program edukatif yang interaktif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur potensi dan cadangan karbon serta penyerapan karbon sebagai bagian dari jasa lingkungan dalam upaya pengurangan emisi karbon, sekaligus menyediakan informasi yang dapat mendukung pengembangan Taman Kehati Kiarapayung menjadi kawasan ekowisata dan eduwisata berbasis karbon, sehingga memberikan kontribusi bagi konservasi, pendidikan lingkungan, dan nilai ekonomi berbasis karbon (Farrah & Bima Satria, 2023).

METODE PENELITIAN

Rancangan PSP yang dibuat mengubah dan mengombinasikan dua pendekatan yang umum dirujuk dalam pengukuran cadangan karbon dan biomassa di Indonesia. Pendekatan tersebut meliputi, (1) Metode SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan penghitungan cadangan karbon melalui observasi lapangan untuk estimasi cadangan karbon hutan (penghitungan karbon hutan berbasis lapangan), yang digunakan untuk mengukur cadangan karbon dalam biomassa tanaman di atas permukaan tanah dan nekromassa (Herfady Raiza Tifarani, 2023); (2) metode *Rapid Carbon Stock Appraisal* (RaCSA) yang dikembangkan oleh ICRAF Asia Tenggara (Indra et al., 2023) untuk mengukur cadangan karbon dalam biomassa bawah permukaan tanah, serasah, dan bahan organik tanah. Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian sekaligus objek pengamatan di Taman Keanekaragaman Hayati (Taman Kehati) Kiarapayung, yang meliputi area dan jenis tumbuhan yang dikaji untuk

menilai potensi, cadangan, dan penyerapan karbon sebagai bagian dari jasa lingkungan.



Gambar 1. Peta Kawasan Taman Kehati Kiarapayung Jatinangor

Gambar 1 memperlihatkan lokasi penelitian dan objek pengamatan di Taman Kehati Kiarapayung, yang menjadi dasar untuk pengukuran potensi, cadangan, dan penyerapan karbon. Peta ini memberikan konteks spasial yang relevan untuk interpretasi hasil yang disajikan pada Bab Hasil Penelitian.

HASIL PENELITIAN

Penyiapan PSP

Tabel 1 menunjukkan rincian jumlah PSP dari masing-masing blok secara berurutan berdasarkan rencana pengembangan Taman Kehati Kiarapayung.

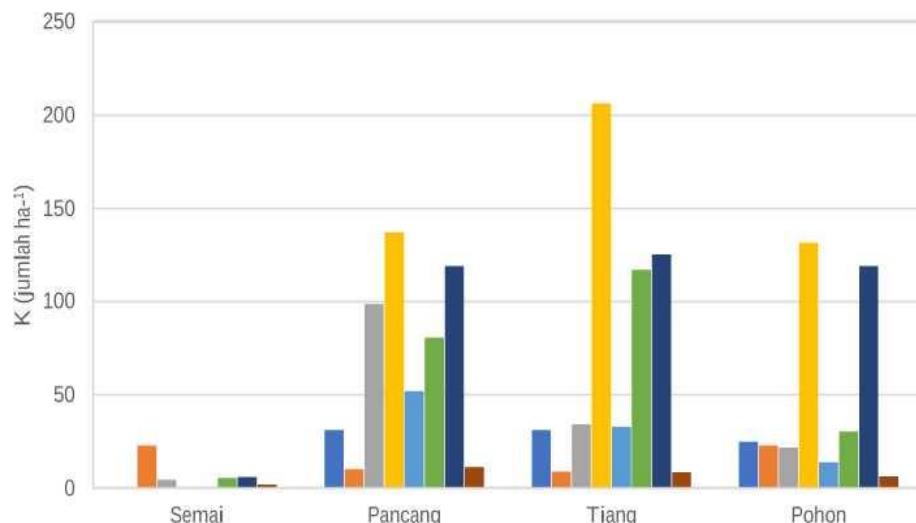
Tabel 1. Luasan Blok dan Jumlah PSP Taman Kehati Kiarapayung

Blok	Luas* (ha) (2)	Junilab PSP (buah) (3)	Luas PSP (ha) (4)
1	0,78	2	0,08
2	2,54	6	0,24
3	1,48	4	0,16
4	0,85	2	0,08
5	2,06	5	0,2
6	1,29	3	0,12
7	0,77	2	0,08
8	6,87	16	0,64
Gedung	0,24	0	0
Total	15,00	40	1,60

Terdapat sejumlah 40 PSP yang telah dibangun, mencakup area total sebesar 1,60 hektar. PSP ini digunakan untuk mengukur biomassa dan menghitung cadangan karbon, dengan rincian angka 2, 6, 4,2, 5, 3, 2, dan 16 dari blok 1 hingga blok 8, secara berurutan.

Kerapatan Tumbuhan Atas

Tumbuhan atas terdiri dari empat kategori pertumbuhan, yaitu semai, tiang, pancang, dan pohon. Setiap PSP memiliki tumbuhan atas yang dikelompokkan berdasarkan lokasi dan blok yang sama (faida, 2019). Gambar 1 menunjukkan nilai kerapatan berdasarkan blok untuk masing-masing kategori pertumbuhan tumbuhan atas di Taman Kehati Kiaripayung.



Gambar 2. Kerapatan Berbagai Tingkat pada Pertumbuhan Tumbuhan di Taman Kehati Kiaripayung

Tingkat pertumbuhan semai dapat ditemukan di Blok 2, Blok 3, Blok 6, Blok 7, dan Blok 8. Blok 2 memiliki kerapatan semai yang tertinggi (22,92 semai per hektar), diikuti oleh Blok 7 (6,25 semai per hektar), Blok 6 (5,56 semai per hektar), Blok 3 (4,69 semai per hektar), dan Blok 8 (2,15 semai per hektar). Selama periode observasi yang sama, tidak ada pertumbuhan semai yang terdeteksi di Blok 1, 4, dan 5. Kerapatan semai di Blok 2 lebih tinggi dibandingkan blok lainnya karena terdapat banyak tanaman baru (dengan diameter kurang dari 2 cm) yang ditanam sekitar satu bulan sebelumnya (terutama di PSP 2. 1 hingga PSP 2. 3).

Untuk pertumbuhan pancang, Blok 4 memiliki kerapatan pancang tertinggi (137,50 pancang per hektar). Setelahnya, terdapat Blok 7, Blok 3, dan Blok 6 dengan kerapatan berturut-turut sebesar 118,75; 98,44; dan 80,56 pancang per hektar. Blok 8 memiliki kerapatan paling rendah di antara blok-blok lainnya dengan nilai 11,52 pancang per hektar. Sementara itu, kerapatan pancang di Blok 1, Blok 2, dan Blok 5 berada di antara 31,25 hingga 52,00 pancang per hektar. Blok 4, Blok 7, dan Blok 6 memiliki kerapatan terbesar (masing-masing 206,25; 125,00; dan 116,67 tiang per hektar), karena kedua blok ini memiliki tutupan lahan yang mirip hutan alami dengan banyak tegakan dan kanopi yang lebat. Sebaliknya, Blok 8 dan Blok 2 memiliki kerapatan terendah (8,79 dan 9,03 tiang per hektar). Kerapatan Blok 1, Blok 3, dan Blok 5 berkisar antara 31,25 hingga 34,38 tiang per hektar. Kemudian, Blok 6, Blok 1, Blok 2, dan Blok 3 memiliki kerapatan antara 30,56

pohon per hektar hingga 21,88 pohon per hektar. Ini menunjukkan bahwa kerapatan keempat blok tersebut adalah tiga hingga empat kali lebih kecil dibandingkan Blok 4 dan Blok 7. Kerapatan pohon terendah ditemukan di Blok 8 dan Blok 5, dengan nilai masingmasing 6,45 pohon per hektar dan 14,00 pohon per hektar.

Diameter & Tinggi Tumbuhan Atas

Tabel 2. Diameter dan Tinggi Rerata, Min Dan Max Tumbuhan Atas Pada Setiap Blok

Blok	Dr (cm)	Dmin-max (cm)	Hr (cm)	Hmin-max (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	15,58 ± 7,96	(7,01 - 35,35)	6,79 ± 1,72	(3,00 -10,00)
2	21,60 ± 11,24*	(1,91-48,41)	9,45 ± 4,00	(2,35 -18,00)
3	10,26 ± 8,47**	(1,59 37,90)	6,48 ± 3,42**	(3,00 20,00)
4	15,83 ± 8,44	(1,91 - 40,45)	9,98 ± 3,78*	(3,00 -18,00)
5	12,61 ± 8,08	(2,23-49,68)	6,64 ± 2,42	(2,20 -15,00)
6	16,02 ± 14,42	(2,87 - 100,32)	8,89 ± 4,34	(3,00 - 30,00)
7	20,34 ± 16,10	(3,18-64,65)	9,23 ± 4,26	(4,00 -17,00)
8	14,39 ± 10,77	(0,96 76,11)	7,76 ± 7,76	(2,30 - 25,00)

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada umumnya, Dr antar blok satu dengan yang lainnya tidak berbeda jauh. Blok 2 memiliki Dr tertinggi, yaitu $21,60 \pm 11,24$ cm. Selanjutnya ada Blok 7 dengan $20,34 \pm 16,10$ cm, kemudian Blok 6 dengan $16,02 \pm 14,42$ cm, diikuti oleh Blok 4 yang bernilai $15,83 \pm 8,44$ cm, Blok 1 dengan $15,58 \pm 7,96$ cm, dan Blok 8 yang tercatat $14,39 \pm 10,77$ cm. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa Blok 3 adalah blok dengan Dr terendah, yaitu $10,26 \pm 8,47$ cm, dibandingkan dengan blok lainnya. Walaupun demikian, ada beberapa pohon di Blok 6, Blok 7, dan Blok 8 yang memiliki diameter pertumbuhan melebihi 50 cm. Pengukuran Hr pada tanaman di Blok 1, Blok 3, Blok 5, dan Blok 8 menunjukkan tinggi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan yang ada di blok lainnya. Hr tertinggi ada di Blok 4 dengan nilai $9,98 \pm 3,78$ cm, diikuti oleh Blok 2 ($9,45 \pm 4,00$ cm), Blok 7 ($9,23 \pm 4,26$ cm), Blok 6 ($8,89 \pm 4,34$ cm), Blok 8 ($7,76 \pm 7,76$ cm), Blok 1 ($6,79 \pm 1,72$ cm), Blok 5 ($6,64 \pm 2,42$ cm), dan Blok 3 ($6,48 \pm 3,42$ cm). Pada Tabel 4, Hmax tertinggi tercatat di Taman Kehati Kiarapayung yang ada di Blok 4 (9,98 m). Hmax untuk Blok 2, Blok 7, dan Blok 6 adalah 9,45 m, 9,23 m, dan 8,89 m. Blok 8 menunjukkan pertumbuhan setinggi 7,76 m. Sementara itu, untuk blok lainnya, yaitu Blok 1 dan Blok 3, memiliki Hmax kurang dari 7 m.

Perhitungan Biomassa

Estimasi AGB

Biomassa Tumbuhan Atas

Blok 6 memiliki biosmassa terbesar untuk tanaman atas, dengan estimasi mencapai 220,26 kg per blok (103,52 ton per hektar). Ini disebabkan oleh diameter tanaman di Blok 6 yang umumnya lebih besar dibandingkan blok lainnya. Beberapa

spesies bahkan memiliki diameter lebih dari 100. Biosmassa terbesar selanjutnya ditemukan di Blok 4, Blok 7, dan Blok 8, dengan estimasi masingmasing 79,39 kg per blok (37,31 ton per hektar), 76,23 kg per blok (35,83 ton per hektar), dan 47,67 kg per blok (22,40 ton per hektar). Tabel 3 menunjukkan estimasi AGB tanaman atas di setiap blok di Taman Kehati Kiarapayung.

Tabel 3. Estimasi AGB Tumbuhan Atas Setiap Blok di Taman Kehati Kiara Payung

Blok (1)	AGB tumbuhan atas	
	(kg blok⁻¹)* (2)	(ton ha⁻¹)** (3)
1^	11,96	5,62
2	34,31	16,13
3	33,01	15,51
4	79,39	37,31
5	24,76	11,64
6^^	220,26	103,52
7	76,23	35,83
8	47,67	22,40

* Perhitungan berdasarkan persamaan (3).
 ** Kolom 2 dikali dengan 0,025 (faktor konversi setiap luasan PSP 0,4 m² dan g ke ton ha⁻¹).
 ^ Blok dengan estimasi biomassa terendah.
 ^^ Blok dengan estimasi biomassa tertinggi.

Analisis ini menunjukkan bahwa diameter pohon dan distribusi spesies di setiap blok sangat mempengaruhi total cadangan karbon di atas permukaan tanah. Blok dengan diameter pohon besar cenderung memiliki biomassa lebih tinggi, sehingga pemetaan jenis pohon menjadi penting untuk pengelolaan karbon.

Biomassa Tumbuhan Bawah

Secara umum, nilai biomassa tumbuhan bawah di Blok 1 hingga Blok 8 berkisar antara (40,17 69,28) g atau (1,61 2,77) ton ha⁻¹. Blok 5 memiliki rata-rata biomassa tumbuhan bawah terendah dengan nilai (40,17 g atau 1,61 ton ha⁻¹), sedangkan Blok 2 menunjukkan potensi rata-rata biomassa yang tertinggi di antara semua blok lain dengan nilai (69,28 g atau 2,77 ton ha⁻¹). Sementara itu, Blok 6 memiliki potensi biomassa sebesar 62,08 g (2,48 ton ha⁻¹), Blok 4 sekitar 59,39 g (2,38 ton ha⁻¹), Blok 7 mencatat 53,14 g (2,13 ton ha⁻¹), dan Blok 8 mencapai 49,81 g (1,99 ton ha⁻¹). Blok 3 memiliki rata-rata 48,93 g (1,96 ton ha⁻¹), dan Blok 1 memiliki hasil 45,08 g (1,80 ton ha⁻¹), rincian estimasi AGB tumbuhan bawah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi AGB Tumbuhan Bawah Setiap Blok di Taman Kehati Kiarapayung

Blok (1)	AGB tumbuhan Bawah	
	(kg blok⁻¹)* (2)	(ton ha⁻¹)** (3)
1	45,08	1,8
2	69,28	2,77

3	48,93	1,96
4	59,39	2,38
5 [^]	40,17	1,61
6 ^{^^}	62,08	2,48
7	53,14	2,13
8	49,81	1,99

* Perhitungan berdasarkan persamaan (4).

** Kolom 2 dikali dengan 0,04 (faktor konversi luasan kuadran bawah 0,25 m² dan g ke ton ha⁻¹).

[^] Blok dengan estimasi biomassa terendah.

^{^^} Blok dengan estimasi biomassa tertinggi.

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun biomassa tumbuhan bawah lebih kecil dibandingkan tumbuhan atas, kontribusinya tetap signifikan dalam siklus karbon tanah dan konservasi keanekaragaman hayati mikro.

Biomassa Serasah

Biomassa serasah dan necromassa kayu diukur untuk memperkirakan kontribusi material organik yang sedang mengalami dekomposisi terhadap cadangan karbon di tanah, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Estimasi AGB Serasah

Blok (1)	AGB Serasah	
	(kg blok ⁻¹) [*] (2)	(ton ha ⁻¹) ^{**} (3)
1	13,66 ^{^^}	0,55
2	35,46	1,42
3	75,05	3
4	184,18 [^]	7,37
5	26,36	1,05
6	54,52	2,18
7	107,43	4,3
8	48,62	1,94

* Perhitungan berdasarkan persamaan (4).

** Kolom 2 dikali dengan 0,04 (faktor konversi luasan kuadran bawah 0,25 m² dan g ke ton ha⁻¹).

[^] Blok dengan estimasi biomassa terendah.

^{^^} Blok dengan estimasi biomassa tertinggi.

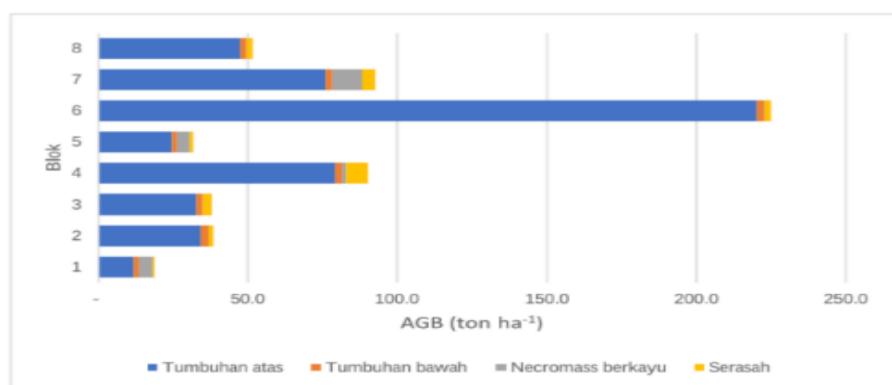
Sesuai yang ditunjukkan dalam Tabel 5, urutan potensi biomassa serasah untuk setiap blok adalah sebagai berikut: Blok 4 memiliki nilai tertinggi dengan 184,18 g atau 7,37 ton per hektar; diikuti oleh Blok 7 dengan 107,43 g atau 4,30 ton per hektar; kemudian Blok 3 yang menghasilkan 75,05 g atau 3,00 ton per hektar; Blok 6 mencatat 54,52 g atau 2,18 ton per hektar; Blok 8 memiliki 48,62 g atau 1,94 ton per hektar; jik Blok 2 menghasilkan 35,46 g atau 1,42 ton per hektar; Blok 5 memiliki 26,36 g atau 1,05 ton per hektar; dan yang terakhir adalah Blok 1 dengan 13,66 g atau 0,55 ton per hektar.

Biomassa Necromassa Berkayu

Selama waktu pengukuran, berbagai necromasa kayu teridentifikasi di semua blok kecuali di Blok 2. Blok 1 memiliki potensi biomassa necromasa paling tinggi, sedangkan Blok 8 memiliki potensi biomassa terendah dibandingkan blok lainnya. Di Blok 2, tidak ada necromasa kayu yang ditemukan selama waktu pengamatan dan pengukuran.

Perbandingan AGB

Blok 6 merupakan kawasan dengan total AGB tertinggi, mencapai sekitar 225 ton per hektar. Hal ini menunjukkan bahwa spesies eucalyptus, yaitu E. deglupta, di blok ini sangat berperan dalam kontribusi total AGB, dengan potensi biomassa sebesar 22.969,53 kg per spesies. Di sisi lain, blok 1 memiliki total AGB yang paling rendah jika dibandingkan dengan blok-blok lain, yakni sebesar 18,87 ton per hektar. Kondisi visual menunjukkan bahwa blok 1 banyak memiliki lahan tegalan dan medan yang cukup curam. Gambar 2 menunjukkan nilai total AGB untuk Blok 2, Blok 3, Blok 4, Blok 5, Blok 7, dan Blok 8, yang masing-masing adalah 38,50; 38,01; 90,36; 31,74; 92,72; dan 51,68 ton per hektar.



Gambar 2. AGB Tumbuhan Atas pada Semua Blok di Taman Kehati Kiarapayung

Perbandingan ini menegaskan pentingnya pemetaan spasial spesies dalam perencanaan konservasi dan pengembangan ekowisata berbasis hutan dan karbon.

Estimasi BGB

Tabel 7 menunjukkan perkiraan biomassa yang berada di bawah permukaan, yang berasal dari tanaman atas dan tanaman bawah, untuk setiap blok dalam Taman Kehati Kiarapayung. Untuk Blok 1 hingga Blok 4, kontribusi biomassa akar dari tanaman atas adalah 3,33; 8,63; 8,56; dan 19,7 ton ha⁻¹ secara berurutan. Sementara itu, Blok 5 sampai Blok 8 mencatat estimasi biomassa akar tanaman atas sebesar 6,57; 48,65; 18,59; dan 11,77 ton ha⁻¹. Blok 6 dan Blok 4 menyimpan biomassa akar tanaman atas yang paling signifikan jika dibandingkan dengan blok lainnya. Di sisi

lain, jumlah terkecil dari biomassa akar tanaman atas tersimpan di Blok 1 dan Blok 5 dengan penyimpanan biomassa sekitar 3,33 ton ha⁻¹ dan 6,27 ton ha⁻¹.

Tabel 7. Estimasi BGB Akar Tumbuhan Atas dan Bawah pada Setiap Blok di Taman Kehati Kiarapayung

Plot (1)	Biomassa Akar (ton ha ⁻¹)	
	Tumbuhan Atas (2)	Tumbuhan Bawah (3)
1	3,33 [^]	0,58
2	8,63	0,87 ^{^^}
3	8,56	0,63
4	19,37	0,75
5	6,57	0,52 [^]
6	48,65 ^{^^}	0,78
7	18,59	0,68
8	11,77	0,64

[^] Blok dengan estimasi biomassa terendah.

^{^^} Blok dengan estimasi biomassa tertinggi.

Biomassa akar sangat penting untuk kestabilan tanah dan penyimpanan karbon jangka panjang. Blok dengan akar lebih besar menunjukkan kemampuan yang lebih tinggi dalam menahan erosi dan menyerap karbon tanah.

C-Organik Tanah

Tabel 8 menunjukkan perkiraan C-organik tanah untuk setiap PSP di Blok 2, berdasarkan hasil analisis laboratorium dari sampel tanah, sumber utama potensi karbon organik tanah di Taman Kehati Kiarapayung umumnya diduga berasal dari penguraian tumbuhan, baik yang ada di permukaan maupun yang ada di bawah tanah, seperti yang terlihat di Tabel 4. 8. Tingkat C-organik tanah di semua blok cenderung tidak banyak berbeda. Blok 1, Blok 4, Blok 5, Blok 6, dan Blok 8 memiliki kandungan C-organik yang serupa, dengan estimasi dalam kisaran (50,19 - 59,60) ton ha⁻¹.

Tabel 8. Estimasi Kandungan C-Organik Tanah pada Semua Blok di Taman Kehati Kiarapayung

Plot (1)	Perhitungan Potensi Karbon	
	Soil C (ton ha ⁻¹) total 0-30 cm (2)	
1	51,61	
2 ^{^^}	81,24	
3 [^]	45,89	
4	53,83	
5	50,19	
6	59,6	
7	46,37	
8	53,95	

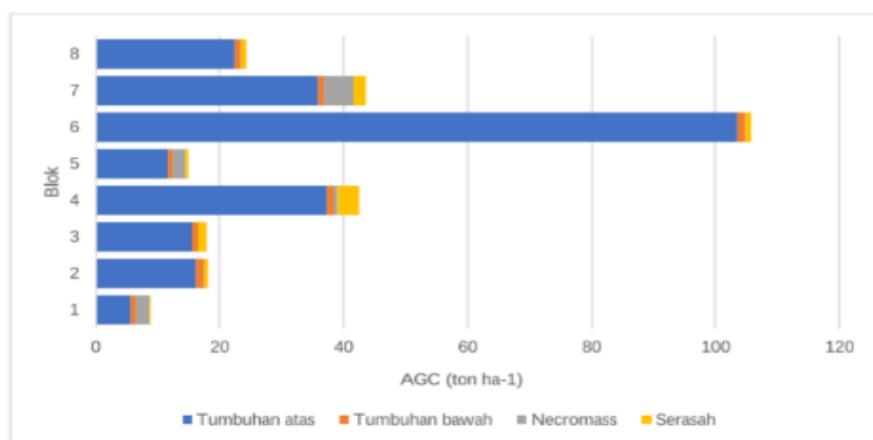
[^] Blok dengan estimasi biomassa terendah.

^{^^} Blok dengan estimasi biomassa tertinggi.

Hasil ini menunjukkan bahwa kontribusi tanah terhadap cadangan karbon cukup stabil di seluruh blok, dan pengelolaan biomassa di permukaan maupun bawah tanah akan mempengaruhi potensi karbon jangka panjang di kawasan konservasi.

Estimasi AGC

Estimasi AGC untuk keseluruhan area adalah 34,48 ton per hektar (126,55 ton CO₂e per hektar). Di setiap blok, potensi karbon yang tersimpan dalam vegetasi atas dapat melebihi 90%, kecuali di Blok 1 yang hanya mencapai 63%. Blok 6 memiliki total simpanan karbon tertinggi, yaitu 105,77 ton per hektar, sementara Blok 1 memiliki simpanan terendah dengan angka 8,87 ton per hektar.



Gambar 3. AGC Taman Kehati Kiarapayung

Pada Blok 1, simpanan karbon di atas tanah terdiri dari 5,62 ton per hektar untuk vegetasi atas, 0,85 ton per hektar untuk vegetasi bawah, 2,14 ton per hektar untuk necromassa, dan 0,26 ton per hektar untuk serasah. Di Blok 2, potensi karbon yang tersimpan diperkirakan sekitar 18,10 ton per hektar, termasuk vegetasi atas (16,13 ton per hektar), vegetasi bawah (11,30 ton per hektar), tidak ada necromassa yang ditemukan, dan serasah sebesar 0,67 ton per hektar. Gambar 5 menunjukkan bahwa di Blok 3 terdapat potensi karbon sebesar 17,86 ton per hektar, yang terdiri dari 15,51 ton per hektar di vegetasi atas, 0,92 ton per hektar di vegetasi bawah, 0,02 ton per hektar di necromasa, dan 1,41 ton per hektar yang terdapat dalam bentuk C-organik di dalam tanah (Siahaan et al., 2022). Blok 4 adalah salah satu area dengan cadangan karbon permukaan yang paling tinggi. Cadangan AGC di Blok 4 melebihi tiga blok sebelumnya, dengan perkiraan mencapai 42,47 ton per hektar. Profil karbon permukaan di Blok 4 terdiri dari angka 37,51; 1,12; 0,58, dan 3,46 ton per hektar untuk AGC dari tanaman atas, tanaman bawah, necromasa, dan serasah secara berurutan. Potensi karbon yang ada di permukaan Blok 5 juga lebih rendah dibandingkan Blok 4, dengan estimasi sekitar ± 14,92 ton per hektar, yang

terdiri dari 11,64 ton per hektar untuk tanaman atas, 0,76 ton per hektar untuk tanaman bawah, 2,03 ton per hektar untuk necromasa, dan 0,50 ton per hektar untuk serasah.

Berdasarkan perhitungan, Blok 6 memiliki simpanan karbon permukaan tertinggi, dengan total AGC melebihi 100 ton per hektar. Proporsi terbesar berasal dari karbon yang disimpan dalam bentuk tanaman atas, yaitu 103,52 ton per hektar, diikuti oleh tanaman bawah, serasah, dan necromasa masing-masing sebesar 0,94 ton per hektar, 0,91 ton per hektar, dan 0,03 ton per hektar. Blok 7 memiliki simpanan karbon permukaan tertinggi kedua, dengan perkiraan 43,58 ton per hektar (Irsyam et al., 2021). Tanaman atas diperkirakan menyimpan AGC sekitar 35,83 ton per hektar, dan diikuti oleh tanaman bawah (1,00 ton per hektar), necromasa (4,73 ton per hektar), dan serasah (2,02 ton per hektar). Tren yang sama terlihat di Blok 7, di mana tanaman atas dan bawah menyimpan potensi paling tinggi dibandingkan kolam karbon lainnya, yaitu 22,40 ton per hektar dan 0,94 ton per hektar. Selanjutnya, serasah memberikan kontribusi kurang dari 0,91 ton per hektar untuk simpanan karbon permukaan di Blok 8, sedangkan necromasa tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan sumber simpanan lainnya, yaitu sekitar ± 0,03 ton per hektar.

Tabel 9. Hubungan AGC Tumbuhan Atas dan Kelas Diameter

D (cm) (1)	n (pohon) (2)	AGC (ton ha ⁻¹)							
		Blok 1 (3)	Blok 2 (4)	Blok 3 (5)	Blok 4 (6)	Blok 5 (7)	Blok 6 (8)	Blok 7 (9)	Blok 8 (10)
5	113	0,11^	0,01^	0,01^	0,00^	0,01^	0,01^	0,01^	0,00^
10	204	0,06^	0,25	0,02	0,07	0,02	0,03	0,05	0,01
15	152	0,15	0,25	0,07	0,2	0,07	0,11	0,19	0,02
20	114	0,33	0,21	0,15	0,38	0,16	0,24	0,38	0,06
25	84	0,7	0,39	0,4	0,72	0,21	0,39	0,58	0,1
30	48		0,27	1,08	1,44	0,34	0,73	0,67	0,19
35	31	2,05^^	0,25	1,43^	1,9	0,54		1,42	0,24
40	9		0,81	0,81		0,8			0,34
45	8		0,62^^		2,71	0,95		1,85	0,46
50	7		0,53			1,20^^		1,65	0,69
55	2							2,27	0,71
60	4							2,41	2,54
65	2						18,52	3,16^^	
80	2						23,29		3,46
105	1						48,15^^		

^ Estimasi AGC terkecil.

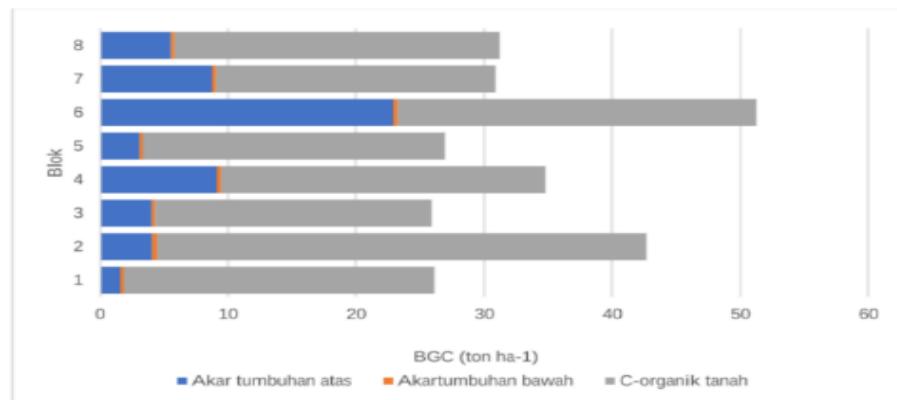
^^ Estimasi AGC terbesar.

Tabel 9 menunjukkan bahwa banyak jenis pohon belum mencapai pertumbuhan terbaik mereka sesuai dengan kondisi alaminya. Distribusi diameter

pohon mengisyaratkan bahwa Taman Kehati Kiarapayung adalah hutan yang tergolong muda, karena sebagian besar ukuran diameter pohon yang ada berada dalam kategori 10 hingga 20 cm.

Estimasi BGC

Rata-rata potensi penyerapan karbon di bawah permukaan (BGC) di Taman Kehati Kiarapayung tercatat sebesar 33,70 ton ha⁻¹, dengan variasi antarblok yang cukup signifikan. Potensi penyerapan tertinggi ditemukan pada Blok 4, yaitu sebesar 52,24 ton ha⁻¹, sedangkan Blok 1 menunjukkan nilai terendah, yaitu 26,10 ton ha⁻¹. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia tanah, serta distribusi dan kepadatan biomassa akar di masing-masing blok. Blok yang memiliki akar dan biomassa bawah tanah lebih padat menunjukkan kapasitas penyerapan karbon yang lebih tinggi, berkontribusi secara signifikan terhadap cadangan karbon jangka panjang di kawasan konservasi. Hasil penghitungan estimasi karbon di bawah permukaan ini divisualisasikan pada Gambar 4.



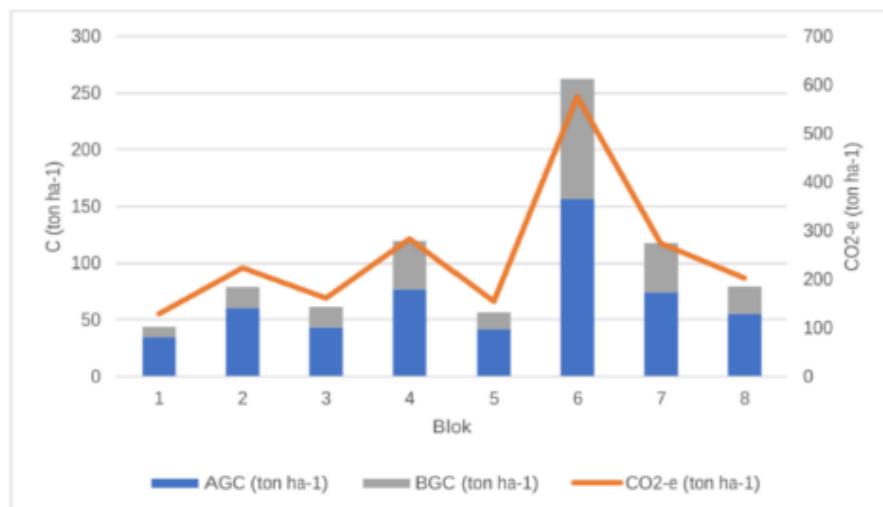
Gambar 4. Estimasi Cadangan Karbon di Bawah Permukaan Tanah (T Ha4)

Analisis ini menunjukkan bahwa variasi penyerapan karbon di bawah permukaan dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan distribusi biomassa akar di setiap blok. Blok dengan akar dan biomassa bawah tanah yang lebih tinggi memiliki kapasitas penyerapan karbon yang lebih signifikan, yang berperan penting dalam cadangan karbon jangka panjang.

Total Carbon Stock

Rata-rata potensi karbon mencapai 68,18 ton per hektar (250,22 ton CCh per hektar). Blok 6 memiliki jumlah karbon tertinggi, yaitu 157,02 ton per hektar (setara dengan 576,25 ton CO₂e per hektar). Blok 4 dan Blok 7 mengikuti dengan nilai 77,23 ton per hektar (283,43 ton CCh per hektar) dan 74,43 ton per hektar (273,15 ton CCh per hektar). Potensi karbon yang lebih rendah terdapat di Blok 2, Blok 8, Blok 3, dan Blok 5, dengan nilai 60,74; 55,47; 43,75; dan 41,84 ton per hektar, yang setara dengan 222,92; 203,59; 160,56; dan 153,56 ton CCh per hektar.

Blok 1 menunjukkan serapan total karbon terendah, sekitar \pm 34,97 ton per hektar atau 128,33 ton CO₂e per hektar. Profil potensi karbon dari Taman Kehati Kiarapayung dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Total Karbon (T Ha1) dan Serapan Cch-E

Total cadangan karbon ini mencerminkan kontribusi kumulatif dari biomassa tumbuhan atas, bawah, serasah, necromassa, dan karbon tanah. Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar dalam strategi pengelolaan hutan konservasi, sekaligus mendukung pengembangan ekowisata dan eduwisata berbasis karbon. Perbedaan cadangan karbon antar blok juga menunjukkan pentingnya pemetaan spasial dan pemilihan spesies dalam meningkatkan kapasitas penyerapan karbon di kawasan konservasi.

Potensi Ekonomi Karbon

Perdagangan emisi, baik melalui sistem perdagangan emisi (ETS) maupun mekanisme offset, tidak dapat diterapkan di Taman Kehati Kiarapayung. Hal ini karena instrumen tersebut ditujukan untuk organisasi yang menghasilkan emisi gas rumah kaca yang bisa memperdagangkan batas emisi berdasarkan kesepakatan di pasar (Akbarini et al., 2019). Mekanisme nonperdagangan seperti RBP atau pembayaran berbasis hasil tampaknya lebih sesuai untuk dieksplorasi. RBP adalah strategi yang tumbuh untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dengan tujuan mendorong upaya penanganan perubahan iklim, menciptakan dan memperluas pasar karbon, serta mendorong inovasi.

Box 1 menunjukkan NEK dari Taman Kehati Kiarapayung ketika menerapkan harga karbon yang sedang diuji dalam sektor pembangkit atau PLTU. Jika NEK tersebut dijual, nilainya ternyata tidak besar, dan jika hanya fokus pada karbon, pendekatan ini mungkin tidak akan efektif dalam jangka panjang untuk pengembangan Taman Kehati Kiarapayung. Maka dari itu, dengan sistem harga

karbon yang belum sepenuhnya baik, perdagangan karbon untuk Taman Kehati Kiarapayung dapat dianggap sebagai pendekatan tambahan bagi metode lain yang sedang diterapkan. Grabowski dan Chazdon (Setiadi et al., 2023) menyatakan bahwa perdagangan karbon seharusnya memperhatikan berbagai keuntungan sebagai bagian dari desain keseluruhan. Oleh sebab itu, perdagangan karbon di Taman Kehati dianggap sebagai salah satu elemen dalam perhitungan pendekatan layanan lingkungan.

Data Karbon Bagi Ekowisata & Eduwisata

Ekowisata sangat berkaitan dengan penerapan prinsip yang tidak mengarah pada konsumsi atau ekstraksi, menciptakan kesadaran akan lingkungan, dan menekankan nilai-nilai yang berfokus pada ekosistem serta etika dalam interaksi dengan alam. Sementara itu, eduwisata menawarkan pengalaman perjalanan yang bertujuan utama untuk memperoleh pemahaman langsung tentang tempat yang dikunjungi (Nur Rahmasari & Yulastri, 2020) dan juga mengenai pendidikan serta pembelajaran. Berdasarkan definisi yang ada, pengembangan ekowisata dan eduwisata di Taman Kehati Kiarapayung bisa dilakukan bersamaan, dengan aspek ekologi sebagai inti dari semua aktivitasnya (Kuspriyanto, 2015).

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut ini adalah penjelasan tentang bagaimana Taman Kehati Kiarapayung dapat dikembangkan menjadi ekowisata dan eduwisata yang berfokus pada karbon. Salah satu pilihan teknologi untuk mendigitalkan database adalah dengan menggunakan Kode Respon Cepat (QR). Saat ini, penggunaan QR *code* di beberapa titik di Taman Kehati Kiarapayung sudah diterapkan untuk menyimpan informasi tentang identitas (nama latin dan nama lokal), usia, asal daerah, atau penyebaran spesies tumbuhan. Namun, informasi yang disajikan melalui QR *code* tersebut belum mencakup data tentang cadangan karbon dan serapan karbon. QR *code* untuk database karbon ini dapat ditampilkan secara perorangan, per plot, per blok, atau secara agregat untuk seluruh area Taman Kehati. Digitalisasi database dengan QR *code* ini menjadi program pertama dalam mengembangkan ekowisata dan eduwisata yang berbasis karbon di Taman Kehati Kiarapayung ke depan.

Pengembangan program ekowisata dan eduwisata sangat terkait dengan faktor biodiversitas serta data karbon yang ada di Taman Kehati. Ini dilakukan dengan mengaitkan temuan dari spesies dan potensi AGC. Penelitian ini menunjukkan bahwa beberapa spesies memiliki nilai AGC yang tinggi, tetapi tidak disarankan untuk dijadikan sebagai tanaman koleksi Taman Kehati karena termasuk dalam kategori tanaman asing, nonlokal di Jawa Barat.

Pengaplikasian permainan dan kuis dalam ekowisata dan eduwisata juga dapat dilakukan. Kuis adalah metode yang digunakan untuk mengukur pemahaman siswa (Suwarso et al., 2019). Untuk mendukung ekowisata dan eduwisata yang

sedang dikembangkan di Taman Kehati Kiarapayung, perlu diadakan usaha untuk menggabungkan unsur wisata dengan penyampaian pengetahuan kepada pengunjung. Salah satu program yang bisa dilaksanakan adalah membuat kuis yang berisi informasi mengenai cadangan karbon dan serapan karbon. Kuis tersebut terdiri dari daftar pertanyaan menarik yang dapat mendorong pengunjung untuk lebih banyak berinteraksi dengan Taman Kehati Kiarapayung. Sebagai contoh, salah satu pertanyaan yang dapat diajukan adalah meminta pengunjung untuk mengidentifikasi individu di setiap blok dengan nilai AGC tertinggi atau terendah di lokasi tertentu, sebagaimana ditampilkan dalam QR *code* yang telah disediakan. Di akhir aktivitas, pengunjung dapat memberikan jawabannya secara daring melalui tautan yang disiapkan oleh pengelola Taman Kehati Kiarapayung.

Perdagangan karbon bisa berfungsi sebagai salah satu “etalase” dalam pembangunan rendah emisi karbon di Jawa Barat. Hal ini pada akhirnya dapat menarik minat wisatawan untuk memahami cara kerja perdagangan karbon berskala kecil. Dengan demikian, perdagangan karbon adalah sebuah program yang dapat diperluas untuk mendukung pengembangan ekowisata dan eduwisata di Taman Kehati Kiarapayung di masa yang akan datang. Keempat program yang telah dibahas sebelumnya dapat diperkuat dengan membuat living labs dan pusat penelitian serta pengembangan yang berfokus pada pengurangan karbon.

SIMPULAN

Berdasarkan temuan dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil memberikan estimasi mengenai stok karbon di Taman Kehati Kiarapayung. Pendekatan yang digunakan berbasis ilmiah dengan menghitung seluruh *carbon pool*. Perhitungan tersebut mencakup potensi karbon di atas permukaan (*aboveground carbon*), yaitu (a) tanaman besar seperti pohon, tiang, dan pancang serta tanaman kecil, (b) serasah, dan (c) *necromass*. Selain itu, potensi karbon di bawah permukaan (*belowground carbon*) meliputi (d) bahan organik dalam tanah serta (e) akar.

Taman Kehati Kiarapayung tidak hanya berfungsi sebagai kawasan konservasi, tetapi juga dapat dikembangkan menjadi kawasan ekowisata dan eduwisata yang menekankan pada hutan dan karbon. Temuan dari penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk pengembangan ekowisata dan eduwisata berbasis karbon di masa mendatang melalui pemanfaatan digitalisasi data menggunakan QR *code*, pemilihan spesies, serta pengembangan permainan dan kuis berbasis data karbon. Selain itu, nilai ekonomi karbon dapat dijadikan sebagai komponen tambahan dalam mekanisme pembayaran layanan lingkungan serta mendorong pembentukan *living labs* untuk penelitian karbon di Taman Kehati Kiarapayung.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbarini, D., Iskandar, J., Purwanto, B. H., & Husodo, T. (2019). Taman Keanekaragaman Hayati Hutan Pelawan sebagai media pendidikan

- keanekaragaman hayati lokal di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (*Biodiversity Park in the Pelawan Forest as a Local Biodiversity Education Media in the Bangka Belitung Archipelago Province*). *Proceeding Biology Education Conference*, 16(July), 210–218.
- Enny Insusanty, & Dian Gustika, E. S. (2019). Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan, 14(1), 124–132. <https://doi.org/10.31849/forestra.v19i2.17830>
- Faida, L. R. W. (2019). Risiko kepunahan keanekaragaman hayati di Taman Nasional Gunung Merapi: Tinjauan spasial. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005>
- Farrah, F., & Bima Satria, M. (2023). Kebijakan pengelola dalam menjaga kelestarian alam di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. *Jurnal Minfo Polgan*, 12(2), 2319–2325. <https://doi.org/10.33395/jmp.v12i2.13250>
- Gunawan, H. (2015). Pelestarian keanekaragaman hayati ex situ melalui pembangunan Taman Kehati oleh sektor swasta: Lesson learned dari Group Aqua Danone Indonesia. *PSNMBI*, 1, 565–573. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010332>
- Herfady Raiza Tifarani. (2023). Tinjauan yuridis pemeliharaan Taman Keanekaragaman Hayati di kawasan industri KIIC sebagai bagian dari konsep pembangunan berkelanjutan berdasarkan Surat Keputusan Bupati Karawang Nomor: 188/Kep.370-Huk/2014 tentang Taman Keanekaragaman Hayati Telaga De. 11(01), 152–173.
- Hitei, M., Purba, T., Intan, K., Purba, S., Susilo, A., Siahaan, M. E., Febriyanto, E., & Aprilianto, N. A. (2024). Identifikasi dan pengayaan jenis tanaman di Taman Keanekaragaman Hayati Kota Pematangsiantar. 4, 134–142.
- Indra, G., Hidayat, F., Zulmardi, Z., Subrata, E., Herry, H., & Ihsan, I. (2023). Dampak keberadaan Taman Keanekaragaman Hayati PT. Tirta Investama Aqua Solok. *Menara Ilmu*, 17(2), 32–40. <https://doi.org/10.31869/mi.v17i2.4275>
- Irsyam, A. S. D., Raihandhany, R., Hariri, M. R., & Irwanto, R. R. (2021). Araceae of ITB Jatinangor Campus, Sumedang, West Java. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 8(2), 38–52. <https://doi.org/10.23960/jbekh.v8i2.198>
- Kuspriyanto. (2015). Upaya konservasi keanekaragaman hayati di kawasan lindung Indonesia. *Metafora: Education, Social Sciences and Humanities Journal*, 1(4), 134–142.
- Nur Rahmasari, S., & Yulastri, W. (2020). Inventarisasi keanekaragaman hayati sebagai modal pengelolaan wisata dan pemberdayaan masyarakat di Wana Wisata Gunung Puntang. *Jurnal CARE*, 5(1), 13–21. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalcare/article/view/32631>
- Nurhidayati, D., Iqbal, A., & Abrar, R. (2022). Strategi pengembangan Taman Keanekaragaman Hayati (Taman Kehati) lahan eks TPA menjadi pariwisata hijau melalui pendekatan perencanaan partisipatif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*,

- 20(4), 850–855. <https://doi.org/10.14710/jil.20.4.850-855>
- Setiadi, A., Adieb Pritanto, A., Sri, B., Alhumaira, F., Khasanah, S. N., Officer, S., Cid, C., & Z., 13. (2023). Konservasi keanekaragaman hayati endemik melalui ecology, socio-economic, dan socio-cultural approach (studi pada Taman Kehati Kokolomboi, Sulawesi Tengah). *4*(1), 244–254.
- Siahaan, S., Afriyanto, A., & Wulandari, R. S. (2022). Penilaian daya tarik wisata Taman Keanekaragaman Hayati Kelurahan Bunut, Kabupaten Sanggau. *Jurnal Hutan Lestari*, 10(2), 462. <https://doi.org/10.26418/jhl.v10i2.50398>
- Suwarso, E., Paulus, D. R., & Miftachurahma, W. (2019). Kajian database keanekaragaman hayati Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(1), 79–91.