

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca mencapai 74%, yang menjadi pemicu utama pemanasan global dan perubahan iklim (Finlay *et al.*, 2015). Peningkatan suhu global sebesar 1,5°C hingga 4,5°C pada tahun 2030- 2050 (IPCC, 2022), berisiko mempercepat pencairan gletser dan kenaikan muka air laut yang mengancam kawasan pesisir Indonesia (Tay *et al.*, 2022; Vico, 2024). Oleh karena itu, diperlukan upaya mitigasi efektif untuk memperlambat laju pemanasan global, termasuk melalui reforestasi dan strategi penangkapan serta penyimpanan karbon (*Carbon Capture and Storage*).

Salah satu pendekatan utama dalam upaya mitigasi adalah *Carbon Dioxide Removal* (CDR), serangkaian metode dan teknologi untuk menghilangkan karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dan menyimpannya secara permanen dalam jangka panjang. Penyimpanan karbon ini sangat penting untuk menjaga kestabilan iklim global (IPCC, 2005). Secara kuantitatif, danau memiliki tingkat cadangan karbon sedimen tertinggi (0,46-0,88 Ton/Ha/Thn) (Anderson *et al.*, 2020), dibandingkan tingkat penyimpanan di lahan basah (0,20-0,25 Ton/Ha/Thn) dan sedimen laut (0,002–0,003 Ton/Ha/Thn) (Sasmito, 2020).

Danau secara keseluruhan mencakup sekitar $\pm 3,7\%$ dari permukaan daratan bumi (Verpoorter *et al.*, 2014), memegang peran penting dalam penyimpanan karbon serta pengaturan iklim secara global maupun lokal (Peter *et al.*, 2020). Namun, gangguan seperti kebakaran hutan, deforestasi dan banjir menyebabkan penurunan kualitas danau (Lei *et al.*, 2022). Kerusakan ekosistem seperti kebakaran hutan, secara langsung memengaruhi vegetasi dan sedimen sebagai komponen penyimpanan karbon danau. Hilangnya vegetasi riparian meningkatkan kerentanan erosi lahan, dan dapat mempercepat pelepasan partikel tanah ke sistem perairan melalui aliran permukaan (*runoff*). Curah hujan tinggi akan mengakibatkan banjir yang kemudian mengangkut material padat (sedimen) dari area hulu ke badan air seperti danau, sehingga terjadi deposisi masif, akumulasi, pendangkalan, dan perubahan morfologi danau. Perubahan morfologi tersebut menjadi bagian dari dinamika geomorfologi terhadap proses pembentukan danau tapal kuda (*oxbow lake*).

Kalimantan dikenal sebagai “Pulau Seribu Sungai” karena memiliki jaringan sungai yang luas dengan karakteristik aliran meander (berkelok) di wilayah dataran rendah. Karakteristik geomorfologi ini secara alami menunjang terbentuknya danau tapal kuda (*oxbow lake*). Danau *oxbow* terbentuk secara alami ketika salah satu sisi meander sungai mengalami pendangkalan akibat proses sedimentasi, sehingga kelokan sungai terendam dan membentuk badan air terpisah berbentuk melengkung seperti bulan sabit. Danau yang terisolasi dari aliran sungai utama oleh endapan sedimen tersebut menjadi ekosistem yang khas (Sedlacek, 2019). Salah satu sungai yang

menunjukkan potensi geomorfologi tersebut adalah Sungai Rungan di Kalimantan Tengah. Sungai tersebut merupakan anak dari Sungai Kahayan, memiliki karakteristik alirannya yang meander serta berada di kawasan tropis menciptakan kondisi yang mendukung terbentuknya badan air terisolasi, seperti danau tapal kuda.

Danau Hanjalutung merupakan danau tapal kuda (*oxbow lake*) hasil geomorfologi terputusnya aliran Sungai Rungan yang berada di kawasan gambut dengan biodiversitas tinggi. Danau *oxbow* memegang peran penting sebagai habitat, peredam banjir, pengatur siklus biogeokimia, penyedia berbagai jasa ekosistem, dan reservoir alami karbon (Subehi, 2022). Potensi serapan karbon danau ini semakin besar mengingat lokasinya yang berada di kawasan lahan gambut dan ditunjang oleh vegetasi yang khas dan memiliki warna air hitam pekat, warna air tersebut disebabkan oleh tingginya kandungan tanin dan humat dari dekomposisi vegetasi (Tranvik *et al.*, 2018). Meskipun perannya vital dalam siklus karbon dan ekosistem, penelitian mendalam mengenai cadangan karbon pada vegetasi dan sedimen di Danau Hanjalutung masih sangat terbatas.

Oleh sebab itu, penelitian mendalam yang mengkaji potensi penyimpanan karbon organik pada sedimen dan vegetasi di Danau Hanjalutung sangat krusial untuk dilakukan. Urgensi ini didasarkan pada besarnya kapasitas vegetasi riparian dalam memberikan kontribusi signifikan terhadap penyerapan karbon secara alami (Soeprbowati, 2025). Meskipun peran danau *oxbow* sangat vital dalam siklus karbon, studi yang secara spesifik

menganalisis cadangan karbon organik pada tipe danau ini di Indonesia masih relatif terbatas. Hingga saat ini, belum terdapat kajian ilmiah yang memetakan stok karbon pada vegetasi maupun sedimen secara khusus di Danau Hanjalutung. Keunikan morfologi danau ini memberikan justifikasi ilmiah yang kuat untuk dilakukan kajian lanjutan, terutama sebagai dasar penyusunan data awal (*baseline data*) untuk penelitian cadangan karbon organik.

Berdasarkan data penelitian terdahulu (Tabel 1.1). Danau Maninjau mengindikasikan bahwa aktivitas manusia dan konservasi lahan pertanian di sekitarnya berpotensi menurunkan nilai cadangan karbon, kawasan hutan memiliki tingkat cadangan karbon lebih tinggi daripada kawasan pertanian (Soeprbowati, 2023). *Soil Organic Carbon* (SOC) atau karbon organik di Danau Chaohu negara China cenderung menurun seiring dengan kedalaman, dengan konsentrasi tertinggi di lapisan permukaan. Variasi tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi hidrologis, aktivitas manusia, dan perubahan iklim yang berdampak pada penyimpanan karbon organik di sedimen (Luo, *et.al*, 2024). Kajian serupa yang berfokus pada danau tapal kuda (*oxbow lake*) di Kalimantan masih sangat terbatas, oleh karena itu, penelitian mendalam mengenai ekosistem unik tersebut sangat diperlukan sebagai dasar ilmiah untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan pengelolaan atau konservasi ekosistem perairan yang berkelanjutan di wilayah tropis Kalimantan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi ekosistem yang direpresentasikan melalui komposisi jenis dan struktur vegetasi riparian di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah?
2. Bagaimana representasi stok karbon vegetasi riparian yang ditinjau dari akumulasi biomassa *Above Ground* (AGC) dan *Below Ground* (BGC) di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah?
3. Bagaimana distribusi *Bulk Density* dan Karbon Organik sedimen pada berbagai interval kedalaman, serta apakah terhadap hubungan signifikan antara keduanya di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah?
4. Berapa total stok karbon ekosistem yang terakumulasi pada komponen (AGC, BGC dan SOC) di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah?
5. Bagaimana potensi Danau Hanjalutung sebagai penyimpan karbon ekosistem berdasarkan hasil integrasi stok karbon vegetasi riparian dan sedimen tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kondisi ekosistem melalui komposisi jenis dan struktur vegetasi riparian pada kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah.
2. Menganalisis akumulasi biomassa dan cadangan karbon vegetasi melalui komponen *Above Ground* (AGC) dan *Below Ground* (BGC) vegetasi riparian di Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah.

3. Menganalisis distribusi *Bulk Density* dan Karbon Organik sedimen pada perbedaan interval kedalaman, serta menganalisis signifikansi hubungan antara keduanya di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah.
4. Menghitung total estimasi stok karbon ekosistem yang terakumulasi pada seluruh komponen (AGC, BGC dan SOC di kawasan Danau Hanjalutung, Kalimantan Tengah.
5. Mengevaluasi potensi Danau Hanjalutung sebagai penyimpan karbon ekosistem berdasarkan hasil integrasi stok karbon vegetasi riparian dan sedimen secara menyeluruh.

1.4 Manfaat penelitian

1. Manfaat untuk peneliti

Penelitian ini diharapkan memberikan pengalaman mendalam dan pemahaman komprehensif kepada peneliti mengenai teknik estimasi stok karbon *Above Ground*, *Below Ground* dan SOC pada ekosistem lahan gambut pada Danau Hanjalutung. Hasil penelitian berikut dapat digunakan sebagai estimasi Danau Hanjalutung dalam mengatasi mitigasi perubahan iklim.

2. Manfaat untuk keilmuan

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat dalam memperoleh data kuantitatif kandungan karbon yang tersimpan di Danau Hanjalutung, sehingga dapat memberikan informasi yang berguna kepada mahasiswa ataupun aktivis lingkungan yang akan melakukan kajian serupa.

3. Manfaat untuk pemerintah setempat

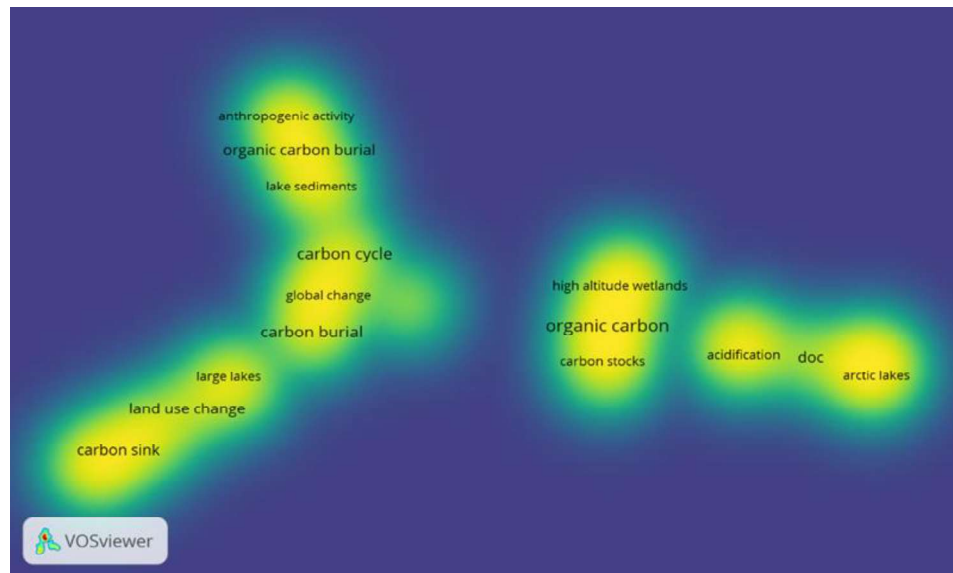
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan ataupun masukan terhadap pemerintah setempat mengenai upaya pengelolaan ekosistem perairan di Danau Hanjalutung dalam merancang strategi pengelolaan danau yang berkelanjutan.

4. Manfaat untuk masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pentingnya danau, sehingga masyarakat diharapkan dapat menjaga fungsi ekosistem danau sebagai penyangga kehidupan keanekaragaman hayati dan penyimpan karbon. Strategi ini penting untuk memastikan keberlanjutan ekosistem dan manfaat lingkungan jangka panjang bagi masyarakat sekitar.

1.5 Gap Penelitian

Sebagai langkah awal untuk memposisikan dan mengidentifikasi kesenjangan penelitian cadangan karbon di Danau Hanjalutung, dilakukan analisis bibliometrik terhadap publikasi internasional tahun 1992-2025. Analisis ini menggunakan fitur co-occurrence pada aplikasi VOSviewer. Berdasarkan database analisis bibliometrik menggunakan beberapa kata kunci seperti “*carbon organic*”, “*sediment*”, “*vegetation*”, “*lake*”, “*oxbow lake*”, and “*climate change*”, diperoleh 50 dokumen yang terdiri atas *article*, *review* dan *conference*.



Gambar 1. 1 Visualisasi Bibliometrik dari 50 dokumen dalam 33 tahun terakhir (1992-2025) pada VOSviewer

Hasil analisis visualisasi kepadatan (Gambar 1.1), menunjukkan bahwa meskipun kata kunci umum seperti “carbon organic”, “sediment”, “lake” dan “climate change” telah banyak dibahas (ditampilkan berwarna kuning), kata kunci spesifik “oxbow lake” belum terlihat pada peta visualisasi mengindikasikan kurangnya perhatian riset. Lebih lanjut, dari seluruh publikasi stok karbon di Indonesia yang teridentifikasi, tidak satupun secara eksplisit berfokus pada danau tapal kuda (*oxbow lake*) di ekosistem lahan gambut. Kesenjangan penelitian yang signifikan ini menjadi pijakan utama untuk mendalami penelitian pada Danau Hanjalutung, mengingat danau oxbow memiliki karakteristik unik dan potensi besar dalam menyimpan karbon organik baik di vegetasi maupun sedimennya. Penelitian ini bertujuan mengisi kekosongan data tersebut.

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu terkait Stok Karbon Sedimen

No	Nama/Tahun	Judul	Isi
1.	Soeprbowati <i>et al.</i> , (2023)	<i>Sediment organic carbon stocks in tropical lakes and its implication for sustainable lake management.</i>	Penelitian ini mengadopsi metodologi pengambilan sampel sedimen yang terstruktur, menggunakan <i>D'Section corer</i> pada 5 lokasi hingga kedalaman 100 cm, menghasilkan 20 sampel yang dibagi menjadi empat interval (0–15, 15–30, 30–50, dan 100 cm). Referensi studi Danau Maninjau menunjukkan potensi stok karbon organik (SOC) yang besar (284,23–442,59 Mg/H), di mana kawasan hutan memiliki cadangan karbon lebih tinggi daripada kawasan pertanian dan pemukiman. Oleh karena itu, inisiatif pemulihan dan konservasi kawasan tepi danau sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim
2.	Luo <i>et al.</i> (2024)	<i>Distribution Patterns of Sediment Organic Carbon Stocks in Shallow Lakes and the Significance for Sustainable Lake Management: Chaohu Lake in Eastern China as a Case Study.</i>	Studi ini dilakukan di Danau Chaohu melalui Teknik core sampling pada 12 lokasi. Hasil menunjukkan bahwa SOC cenderung menurun seiring dengan kedalaman lapisan sedimen. Variasi ini dipengaruhi oleh kondisi deposisi, faktor hidrologis, aktivitas manusia, serta perubahan iklim. Prinsip penurunan SOC seiring kedalaman ini menegaskan bahwa setiap interval sampel sedimen memberikan hasil yang berbeda.
3.	Mavura <i>et al.</i> , (2023)	<i>Oxbow lakes in Africa</i>	Studi ini meninjau peran dan karakteristik danau tapal kuda (oxbow lakes) di Afrika sebagai ekosistem lahan basah yang penting bagi keanekaragaman hayati dan siklus karbon secara regional. Penelitian ini menyoroti bahwa danau-danau ini berfungsi sebagai perangkap nutrisi dan materi organik yang efektif di sepanjang sistem sungai besar. Temuan ini menekankan perlunya strategi konservasi khusus untuk melindungi danau tapal kuda dari ancaman degradasi lingkungan akibat perubahan penggunaan lahan dan variabilitas iklim
4.	Li <i>et al.</i> , (2022)	<i>Soil Organic Carbon and Its Controlling Factors in the Lakeside of West Mauri Lake along the Wetland Vegetation Types</i>	Studi ini menyelidiki faktor pengontrol Karbon Organik Tanah (SOC) di tepian Danau West Mauri berdasarkan tipe vegetasi lahan basah. Hasil menunjukkan bahwa jenis vegetasi (seperti makrofita terendam vs. darat) secara drastis mempengaruhi distribusi SOC secara vertikal dan horizontal. Faktor-faktor seperti kelembaban tanah dan input nutrisi diidentifikasi

			sebagai pendorong utama variabilitas stok karbon tersebut.
5.	Novita <i>et al.</i> , (2021)	<i>Carbon stocks from peat swamp forest and oil palm plantation in Central Kalimantan, Indonesia</i>	Perbedaan lokasi untuk setiap sampel sediment, menggunakan enam lokasi dari berbagai penggunaan lahan (hutan rawa gambut primer, hutan sekunder, dan perkebunan kelapa sawit) untuk mengukur total stok karbon. Hasilnya menunjukkan perbedaan yang signifikan, Hutan rawa gambut primer memiliki rata-rata stok karbon total tertinggi ($1770 \pm 123 \text{ Mg C/ha}$), sementara perkebunan kelapa sawit hanya menyimpan 42% dari nilai tersebut ($759 \pm 87 \text{ Mg C/ha}$). Penelitian ini membuktikan bahwa perbandingan lokasi atau penggunaan lahan harus dilakukan untuk mendapat estimasi penyimpanan karbon yang akurat, karena perbedaan jenis vegetasi dan tingkat gangguan mempengaruhi total stok karbon.
6.	Obolewski <i>et al.</i> , (2021)	<i>The importance of oxbow lakes in the floodplain storage of nutrients and organic matter</i>	Studi ini meneliti peran danau tapal kuda (<i>oxbow lake</i>) sebagai penyimpan nutrisi dan materi organik di dataran banjir selama peristiwa banjir. Metodologi dilakukan dengan memonitor fluks materi organik dan sedimen di beberapa danau tapal kuda Sungai Vistula. Hasilnya menunjukkan bahwa danau tapal kuda berfungsi sebagai “jebakan sedimen” yang efektif, menyimpan hingga 40-60% materi organik terlarut dan partikulat yang terbawa arus banjir. Penelitian ini menegaskan bahwa konservasi danau tapal kuda sangat krusial tidak hanya untuk mitigasi banjir, tetapi juga sebagai penyerap karbon regional di wilayah dataran banjir
7.	Alcocer <i>et al.</i> , (2020)	<i>Sediment carbon storage increases in tropical, oligotrophic, high-altitude lakes</i>	Penelitian ini menemukan bahwa penyimpanan karbon sedimen justru meningkat pada danau tropis oligotrofik di dataran tinggi. Meskipun produktivitas primernya rendah, kondisi dasar danau yang anoksik secara permanen memfasilitasi pelestarian karbon organik yang sangat efektif di lapisan sedimen. Hal ini menunjukkan bahwa danau di wilayah pegunungan tropis memiliki peran yang lebih besar sebagai penyerap karbon global daripada yang diperkirakan sebelumnya
8.	Pang <i>et al.</i> , (2019)	<i>Multi-dimensional habitat vegetation restoration mode for lake riparian zone, Taihu, China</i>	Studi ini mengevaluasi model restorasi vegetasi habitat multidimensi di zona riparian Danau Taihu. Metodologi restorasi ini mencakup penamaan kombinasi spesies akuatik terendam dan terapung untuk

			memperbaiki kualitas air dan habitat. Hasilnya menunjukkan bahwa pemulihan vegetasi secara signifikan meningkatkan fiksasi karbon organik dan retensi nutrisi di zona pinggiran danau, sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca dari kolom air
9.	Gudasz <i>et al.</i> , (2017)	<i>Contributions of terrestrial organic carbon to northern lake sediments</i>	Penelitian ini mengevaluasi kontribusi karbon organik terestrial terhadap sedimen di danau-danau di utara. Menggunakan pendekatan pemodelan, ditemukan bahwa perubahan tutupan vegetasi terestrial akibat perubahan iklim merupakan mediator utama dalam peningkatan ekspor karbon ke perairan. Peningkatan biomassa tanaman di daerah tangkapan air berkorelasi langsung dengan tingginya input materi organik ke danau.
10.	Bianchi <i>et al.</i> , (2015)	<i>Paleoreconstruction of organic carbon inputs to an oxbow lake in the lower Mississippi River</i>	Penelitian ini merekonstruksi input karbon organik ke danau tapal kuda (<i>oxbow lake</i>) menggunakan biomarker lipid dan isotop stabil. Hasilnya menunjukkan bahwa peristiwa banjir besar memicu masuknya material organik kuno dan terestrial secara masif ke dalam sistem danau. Danau tapal kuda terbukti menjadi penyimpan karbon yang sangat dinamis dan dipengaruhi oleh konektivitas sungai induknya.