

Pemanfaatan lahan basah buatan sebagai solusi rekayasa untuk penyerapan karbon

Utilization of artificial wetlands as an engineering solution for carbon serbance

Fajar Abdala Baharizki¹, Valentino Hendriyanto², Pilar Fara Menggala Putra³, Trisaputra Tumanggor⁴,
Dian Toga Sitanggang⁵, Karina Shella Putri^{6*}

¹⁻⁶ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: ¹2210813210005@mhs.ulm.ac.id, ²2210813210015@mhs.ulm.ac.id, ³2210813210012@mhs.ulm.ac.id,
⁴2210813110002@mhs.ulm.ac.id, ⁵2210813210026@mhs.ulm.ac.id, ⁶*karinashella@ulm.ac.id

ABSTRAK

Lahan basah buatan (constructed wetlands, CWs) menawarkan solusi potensial untuk mitigasi perubahan iklim dengan meniru fungsi lahan basah alami dalam menyerap karbon atmosfer dan mengelola emisi gas rumah kaca. Ekosistem lahan basah, termasuk mangrove, dikenal memiliki kemampuan tinggi dalam menyimpan karbon dalam tanah dan biomassa, namun, degradasi dan konversi lahan telah menurunkan kapasitas ini. Penelitian ini membahas pemanfaatan lahan basah buatan dalam penyerapan karbon, dengan fokus pada teknologi seperti biochar, pemilihan tanaman spesifik, dan sistem inovatif seperti Constructed Wetland-Microbial Fuel Cells (CW-MFC). Studi kasus di berbagai lokasi menunjukkan potensi CWs dalam meningkatkan stok karbon dan menyediakan manfaat tambahan seperti peningkatan biodiversitas, pengelolaan air, serta pengurangan risiko banjir. Meskipun efisiensinya terbatas pada skala kecil, penerapan CWs yang lebih luas, terutama dengan integrasi proyek berbasis komunitas, dapat menjadi strategi mitigasi perubahan iklim yang efektif. Tantangan seperti keterbatasan ruang di daerah perkotaan dan ketidakpastian ilmiah terkait efisiensi penyerapan karbon perlu diatasi melalui kebijakan yang mendukung dan penelitian lebih lanjut. Di Indonesia, lahan gambut memiliki potensi penyimpanan karbon yang sangat besar, dan pengelolaannya dapat menjadi bagian penting dari strategi mitigasi karbon nasional. Secara keseluruhan, pengelolaan yang tepat terhadap lahan basah buatan dan lahan gambut dapat menawarkan solusi berkelanjutan untuk menghadapi perubahan iklim global.

Kata-kata kunci: CWs, emisi, gambut, iklim, mitigasi

ABSTRACT

Constructed wetlands (CWs) offer a potential solution for climate change mitigation by mimicking the functions of natural wetlands in absorbing atmospheric carbon and managing greenhouse gas emissions. Wetland ecosystems, including mangroves, are known for their high capacity to store carbon in soil and biomass; however, degradation and land conversion have reduced this capacity. This study discusses the use of constructed wetlands in carbon sequestration, focusing on technologies such as biochar, specific plant selection, and innovative systems like Constructed Wetland-Microbial Fuel Cells (CW-MFC). Case studies in various locations demonstrate the potential of CWs to enhance carbon stocks and provide additional benefits such as biodiversity improvement, water management, and flood risk reduction. Although their efficiency is limited on a small scale, broader implementation of CWs, especially with community-based projects, could become an effective climate change mitigation strategy. Challenges such as limited space in urban areas and scientific uncertainty regarding carbon absorption efficiency need to be addressed through supportive policies and further research. In Indonesia, peatlands have significant carbon storage potential, and their management could be an important part of the national carbon mitigation strategy. Overall, proper management of constructed wetlands and peatlands can offer sustainable solutions to address global climate change.

Keywords: CWs, climate, emissions, mitigations

PENDAHULUAN

[1] Perubahan iklim global akibat peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer telah menimbulkan berbagai dampak serius, seperti kenaikan permukaan air laut, gangguan ekosistem, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Salah satu ekosistem yang berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim adalah lahan basah, termasuk mangrove, yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap karbon atmosfer dan menyimpannya dalam tanah serta biomassa hingga ribuan tahun. [2] Sayangnya aktivitas manusia seperti urbanisasi, konversi lahan, dan degradasi lingkungan telah menyebabkan hilangnya hingga 50% lahan basah global dalam dua abad terakhir, sehingga menurunkan kapasitas ekosistem ini untuk menyerap karbon sekaligus

meningkatkan emisi gas rumah kaca termasuk metana (CH₄) dan nitrous oksida (N₂O).

[3] Keputusan Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Nomor KEP.89/M.PPN/HK/10/2020 tentang pembentukan Tim Koordinasi Strategis Pengelolaan Lahan Basah menjadi langkah strategis, menekankan pentingnya pengelolaan lahan basah, termasuk gambut dan mangrove, untuk mencapai target penurunan emisi dalam pembangunan rendah karbon dan mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB/SDGs), khususnya terkait penanganan perubahan iklim (Tujuan 13), ekosistem lautan (Tujuan 14), dan ekosistem daratan (Tujuan 15).

[4] Pengupayaan mitigasi perubahan iklim, lahan basah buatan (constructed wetlands, CWs) menjadi solusi potensial yang dirancang untuk meniru fungsi lahan basah alami. Teknologi ini tidak hanya mampu menyerap karbon tetapi juga mendukung pengelolaan air, pengolahan limbah, dan keanekaragaman hayati. [5] Contoh sukses penerapan CWs dapat ditemukan di East Kolkata Wetlands, India, dan Melbourne, Australia, yang mengintegrasikan pengelolaan limbah dengan manfaat lingkungan lainnya. [1] Di Indonesia, penelitian pada mangrove Wonorejo, Surabaya, menunjukkan potensi besar dalam mengadopsi pendekatan serupa untuk meningkatkan kapasitas penyerapan karbon melalui lahan basah buatan.

[6] Meskipun manfaat CWs sudah terbukti, tantangan tetap ada, seperti tingginya emisi CH_4 akibat dekomposisi bahan organik dan kurangnya pemahaman tentang interaksi faktor lingkungan serta desain teknis. [7,8] Penelitian menunjukkan bahwa keberagaman spesies tanaman di lahan basah buatan dapat meningkatkan stok karbon organik tanah melalui mekanisme yang melibatkan interaksi antara tanaman, mikroba, dan tanah. [9] Selain itu, manfaat tambahan seperti peningkatan kualitas air, ruang hijau, dan pendidikan lingkungan menjadikan CWs solusi berkelanjutan untuk mengatasi perubahan iklim.

[4] Pendekatan rekayasa yang melibatkan optimasi pH, biochar, seleksi tanaman, dan teknologi inovatif seperti Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell (CW-MFC) menunjukkan potensi besar dalam memadukan penyerapan karbon dengan pengolahan limbah secara efisien. Di Indonesia, dengan sumber daya karbon biru yang melimpah seperti mangrove dan gambut, CWs dapat menjadi bagian penting dari strategi mitigasi emisi karbon nasional.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam pembuatan melibatkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif yang menggabungkan tinjauan pustaka, studi kasus, dan analisis data empiris. Secara rinci, metode yang digunakan antara lain:

1. Tinjauan pustaka dilakukan dengan menelaah literatur tentang potensi lahan basah buatan dalam penyerapan karbon, mitigasi gas rumah kaca, serta pengelolaan lahan basah secara umum. Ini mencakup studi tentang mekanisme karbon, emisi metana (CH_4), dan dampak perubahan iklim (lihat gambar-1).
2. Studi kasus berupa penggunaan data dari proyek-proyek lahan basah buatan yang sudah ada, seperti di Glasgow (lihat gambar-5) dan Kabupaten Bengkalis, untuk mengidentifikasi dampaknya terhadap penyerapan karbon, pengelolaan air, dan keanekaragaman hayati.
3. Eksperimen lapangan dengan mengamati pengaruh desain lahan basah buatan yang berbeda (vertikal, horizontal, permukaan) terhadap emisi gas rumah kaca, serta penggunaan substrat inovatif seperti biochar untuk mengoptimalkan penyerapan karbon (lihat gambar-2).
4. Pengumpulan data: melalui observasi lapangan, pengukuran stok karbon, serta analisis keberagaman spesies tanaman dan komunitas mikroba menggunakan teknik seperti TRFLP dan phospholipid fatty acid method (lihat gambar-3).
5. Analisis data menggunakan metode statistik untuk menguji hubungan antara keberagaman tanaman dan kapasitas penyerapan karbon, serta mengevaluasi efisiensi penyerapan karbon antara ekosistem alami dan buatan (lihat gambar-4).



Gambar-1. Peninjauan literatur



Gambar-3. TRFLP dan *phospholipid fatty acid*



Gambar-2. Pengamatan daerah lahan basah



Gambar-4. Analisis statistik data

HASIL DAN DISKUSI

Potensi penyerapan karbon oleh lahan basah buatan

Lahan basah buatan dapat dirancang untuk menyerap karbon, dengan efisiensinya tergantung pada rekayasa lingkungan, jenis tanah, dan kondisi ekosistem. Meskipun skala kecil, terutama di daerah perkotaan, kontribusinya terhadap target karbon netral terbatas, namun jika diterapkan secara luas, bisa menjadi bagian dari strategi mitigasi global. Selain itu terdapat manfaat tambahan yang lain seperti biodiversitas yaitu menyediakan habitat bagi spesies lokal, manajemen air yang dapat mengurangi risiko banjir dan meningkatkan kualitas air, pendidikan lingkungan yang dapat meningkatkan kesadaran masyarakat (contoh: proyek Glasgow yang terintegrasi dengan kurikulum sekolah), serta kesejahteraan masyarakat.

Tantangan yang dihadapi penerapan lahan basah buatan adalah adanya kendala skala dan lokasi. Lahan perkotaan umumnya tidak optimal untuk penyerapan karbon karena keterbatasan ruang dan nilai lahan yang tinggi. Selain itu, tantangan yang dihadapi berupa ketidakpastian ilmiah dimana kurangnya data tentang efisiensi penyerapan karbon lahan basah buatan. Hambatan kebijakan juga menjadi tantangan karena integrasi lahan basah buatan dalam skema kredit karbon masih sulit. Namun terdapat rekomendasi solusi yaitu dengan mengintegrasikan lahan basah buatan dengan proyek berbasis komunitas untuk meningkatkan manfaat, seperti produksi pangan lokal dan energi terbarukan.

Pemulihan lahan basah yang terdegradasi dapat mengembalikan fungsi penyerapan karbon. Pendekatan non-manipulatif dapat dilakukan dengan perlindungan lahan basah alami dan restorasi lahan rusak untuk mengembalikan fungsi ekologis. Pendekatan dalam penyerapan karbon oleh lahan basah buatan dapat dimanfaatkan dengan biochar, pemilihan tanaman tertentu, dan bioteknologi untuk meningkatkan kapasitas penyerapan karbon. Pendekatan manipulatif seperti penggunaan biochar dan modifikasi vegetasi dapat

memperlambat dekomposisi dan meningkatkan penyerapan karbon. Selain penyerapan karbon, lahan basah ini juga mengurangi risiko banjir, meningkatkan kualitas air, dan menciptakan habitat untuk spesies lokal.

Potensi mitigasi karbon dari lahan basah di Indonesia

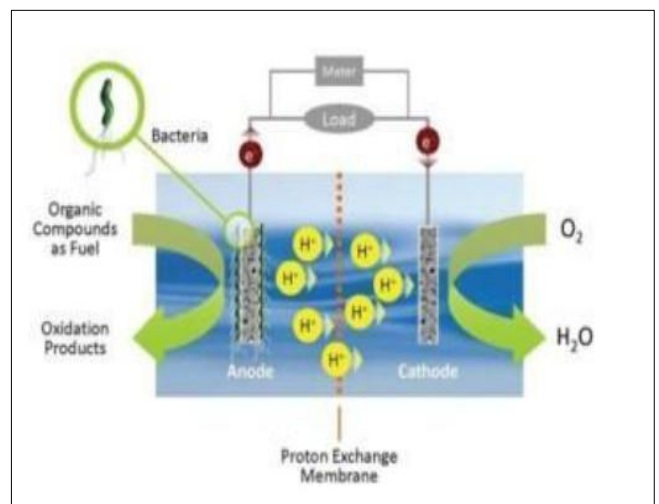
CWs merupakan alat mitigasi dengan desain dan substrate inovatif seperti biochar, zeolit, dan oksida logam terbukti efektif dalam mengurangi emisi metana (CH_4) dari lahan basah buatan. Teknologi lainnya yaitu CWS-MFC merupakan penggabungan antara lahan basah buatan dengan microbial fuel cells (MFCs) yang dapat meningkatkan oksidasi metana melalui transfer elektron, mendukung mitigasi karbon secara efisien. Pemilihan spesies tanaman seperti *Cyperus alternifolius* lebih efektif dalam mengurangi emisi metana karena kemampuannya dalam mentransfer oksigen. Berikut ini adalah ilustrasi dari skema MFC (lihat gambar-6).

Stok karbon tanah dapat meningkat dengan keberagaman spesies tanaman yang pada gilirannya meningkatkan keberagaman mikroba tanah yang mendukung proses penyerapan karbon. Peningkatan keberagaman tanaman memperbaiki siklus air dan nutrisi tanah, yang dapat memperbaiki produktivitas ekosistem secara keseluruhan. Pengelolaan lahan basah buatan dengan peningkatan keberagaman spesies dapat menjadi strategi mitigasi perubahan iklim yang efektif.

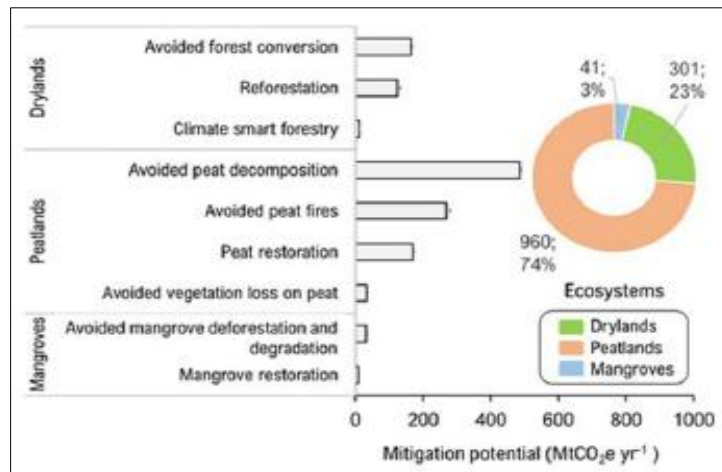
Estimasi potensi mitigasi karbon dari sembilan jalur NCS (Nature-based Solutions) di Indonesia mencapai sekitar $1.3 \pm 0.04 \text{ GtCO}_2\text{e}$ per tahun, dengan lahan gambut sebagai penyumbang terbesar ($960 \pm 15.4 \text{ MtCO}_2\text{e}$ per tahun). Lahan gambut terbukti memiliki potensi penyimpanan karbon yang tinggi, yang dapat dimanfaatkan dalam strategi mitigasi perubahan iklim. Lahan gambut memiliki potensi penyimpanan karbon yang sangat besar, mencapai lebih dari $960 \text{ MtCO}_2\text{e}$ per tahun, dan peningkatan keberagaman spesies tanaman di lahan basah dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karbon secara signifikan (lihat gambar-7).



Gambar-5. Proyek Lahan Basah Glasgow



Gambar-6. Skema MFC



Gambar-7. Total Mitigasi Potensial NCS di Indonesia



Gambar-8. Desain Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell

Lahan basah buatan memiliki efisiensi tinggi dalam menyimpan karbon dan memberikan manfaat lingkungan yang luas, termasuk mendukung biodiversitas dan melindungi kawasan pesisir. Dibandingkan dengan teknologi penangkapan karbon buatan, lahan basah buatan lebih ekonomis dan memberikan manfaat ekosistem yang lebih luas. Teknologi CW-MFC menunjukkan efisiensi tinggi dalam meningkatkan aktivitas mikroba yang mengarah pada penyerapan karbon yang lebih baik. Namun begitu terdapat kendala seperti biaya konstruksi dan ketersediaan substrat organik masih menjadi tantangan, tetapi potensinya sangat besar untuk negara berkembang. Penelitian menunjukkan bahwa biomassa dan stok karbon tertinggi ditemukan di lokasi dekat muara dengan 0,0350 ton/individu. Sekuestrasi karbon terbesar ditemukan di area dengan biomassa dan stok karbon tertinggi, dengan nilai sekuestrasi 0,1285 ton/individu di dekat muara. Kondisi tanah, kadar air, dan aktivitas antropogenik mempengaruhi kesuburan dan kapasitas penyerapan karbon.

KESIMPULAN

Lahan basah buatan memiliki potensi besar dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon, meskipun kontribusinya mungkin terbatas pada skala kecil,

terutama di daerah perkotaan. Potensi ini dapat dimaksimalkan dengan penerapan teknologi inovatif seperti biochar, pemilihan tanaman spesifik, dan bioteknologi yang dapat meningkatkan kapasitas penyerapan karbon. Lahan basah juga memberikan berbagai manfaat lingkungan, seperti peningkatan biodiversitas, manajemen air yang lebih baik, dan pengurangan risiko banjir.

Namun, terdapat tantangan signifikan, seperti keterbatasan ruang di daerah perkotaan dan ketidakpastian ilmiah terkait efisiensi penyerapan karbon. Selain itu, kebijakan yang lebih mendukung dan integrasi proyek berbasis komunitas dapat meningkatkan dampak positif dari lahan basah buatan. Dalam konteks Indonesia, lahan gambut memiliki potensi penyimpanan karbon yang sangat tinggi, dan pengelolaannya dapat memainkan peran penting dalam strategi mitigasi karbon.

Teknologi seperti CW-MFC menunjukkan efisiensi dalam meningkatkan penyerapan karbon, meskipun ada tantangan terkait biaya dan ketersediaan substrat organik. Secara keseluruhan, pengelolaan yang tepat terhadap lahan basah buatan dan lahan gambut, serta peningkatan keberagaman spesies tanaman, dapat menjadi solusi efektif dalam upaya mitigasi perubahan iklim, dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan teknologi penangkapan karbon buatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberi dukungan terhadap penyusunan dan publikasi karya tulis ini dalam rangka mengikuti Lomba Karya Ilmiah Gebyar Inovasi ULM 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. I. Nedhisa dan I. T. Tjahjaningrum, "Estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik." *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 8, no. 2, pp. E61-E65, 2020.
- [2] D. Were, *et al.*, "Carbon sequestration by wetlands: a critical review of enhancement measures for climate change mitigation." *Earth Systems and Environment*, vol. 3, pp. 327-340, 2019.
- [3] *Pembentukan Tim Koordinasi Strategis Pengelolaan Lahan Basah untuk Pencapaian Pelaksanaan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan dan Pembangunan Rendah Karbon*, Keputusan Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Nomor 89/M.PPN/HK/10/2020, 2020.
- [4] J. Jang and W. Awiati, "Karbon Biru Di Indonesia: Memahami Pentingnya Konservasi Dan Restorasi Untuk Mencapai Netralitas Karbon." *Jurnal Hukum dan Bisnis (Selisik)*, vol. 9, no. 1, pp. 18-36, 2023.
- [5] R. J. Rogerson, *et al.*, "Integrating Artificial Urban Wetlands Into Communities: A Pathway To Carbon Zero?" *Frontiers in Built Environment*, vol. 7, pp. 1-10, 2021.
- [6] G. Yu, *et al.*, "Recent advances in constructed wetlands methane reduction: Mechanisms and methods." *Frontiers in Microbiology*, vol. 14, pp. 1-19, 2023.
- [7] M. Lange, *et al.*, "How plant diversity impacts the coupled water, nutrient and carbon cycles." *Advances in ecological research*, vol. 61, pp. 185-219, 2019.
- [8] N. Novita, *et al.*, "Natural climate solutions in Indonesia: wetlands are the key to achieve Indonesia's national climate commitment." *Environmental Research Letters*, vol. 17, no. 11, pp. 1-10, 2022.
- [9] A. Adrianto, *et al.*, "Pemanfaatan Molasses Pada Rancangan Teknologi Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell (CW-MFC) dalam Pereduksi Bakteri Patogen dan Aplikasi Biosensor Limbah Greywater sebagai Sumber Pengaplikasian Flushing Water." *Jurnal Ilmiah Penalaran dan Penelitian Mahasiswa*, vol. 4, no. 1, pp. 30-52, 2020.
- [10] D. Arisanty, *et al.*, *Geografi Ekonomi: Kajian Pada Lingkungan Lahan Basah*. Malang: Media Nusa Creative MNC Publishing, 2024.

