

Terjemahan

Green and gray: Mangroves and dikes show potential in protecting shorelines together

(Hijau dan abu-abu: Hutan mangrove dan tanggul menunjukkan potensi dalam melindungi garis pantai secara bersama-sama)

Claudia Geib

2 April 2026

<https://news.mongabay.com/2026/04/green-and-gray-mangroves-and-dikes-show-potential-in-protecting-shorelines-together/>

Dengan jaring akar yang lebat dan terendam, hutan mangrove menahan garis pantai di seluruh dunia layaknya pisau Swiss Army bagi pesisir. Hutan ini berfungsi sebagai tempat pembesaran bagi ikan muda dan habitat bagi spesies penting baik di dalam maupun di luar air. Hutan mangrove juga berperan sebagai sistem penyaringan polusi, penahan erosi, serta penghalang yang memperlambat gelombang yang datang. Namun, bahkan alat terbaik pun terkadang membutuhkan dukungan tambahan. Sebuah studi baru dalam *Proceedings of the National Academy of Sciences* meneliti bagaimana menggabungkan restorasi mangrove dengan tanggul pengarah air dapat melipatgandakan kemampuan perlindungan ekosistem ini lebih jauh lagi, terutama karena perubahan iklim memperparah gelombang badai dan menaikkan permukaan laut.

Sebagai seorang ahli hidrologi, Timothy Tiggeloven, penulis utama dan peneliti lingkungan di Vrije Universiteit Amsterdam, sangat tertarik pada cara mengelola air yang tidak terkendali dengan menggabungkan pertahanan alami (infrastruktur “hijau”) dengan buatan manusia (infrastruktur “abu-abu”) seperti tanggul dan bendungan. Meskipun mangrove secara alami mengurangi ketinggian dan kekuatan gelombang, mereka tidak dapat menghentikan seluruh air dari badai atau banjir untuk bergerak ke daratan.

“Jadi, inilah sinergi dari kombinasi tersebut,” kata Tiggeloven. “Jika ada tanggul di belakang hutan mangrove, hal itu akan mencegah air meluap [ke daratan]. Sebaliknya, jika hanya ada tanggul, tanggul tersebut akan dihantam gelombang dan air akan meluap. Menggabungkan keduanya sebenarnya merupakan ide yang sangat cerdas.”

Oleh karena itu, Tiggeloven dan rekan-rekannya mengembangkan model komputer untuk menilai di mana kombinasi ini akan paling efektif, serta bagaimana pertahanan hibrida tersebut dapat bertahan di bawah berbagai skenario perubahan iklim.



Hutan mangrove merah yang ditanam dengan jaring pelindung di depan hutan mangrove hitam yang tumbuh secara alami di sepanjang garis pantai yang mengalami erosi di Jawa Tengah, Indonesia. Foto oleh Bregje Van Wesenbeeck.

Model tersebut hanya mempertimbangkan hutan mangrove global yang saat ini mengalami degradasi namun masih dapat dipulihkan; misalnya, model tersebut tidak memasukkan bekas hutan mangrove yang telah diaspal, atau hutan yang sehat dan belum tersentuh. Model tersebut mengasumsikan bahwa semua hutan mangrove tersebut sudah dilindungi oleh tanggul.

Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa dalam kondisi saat ini, kombinasi ini dapat mengurangi kerugian akibat banjir dan badai sebesar \$800 juta setiap tahun. Penelitian ini juga menemukan bahwa 140.000 orang lebih sedikit akan terkena dampak peristiwa-peristiwa tersebut.

Seiring dengan perubahan iklim yang memicu badai yang lebih dahsyat dan terus menaikkan permukaan laut global, dampaknya semakin berlipat ganda: dengan pengurangan gas rumah kaca yang moderat dan kenaikan suhu sebesar 2–3° Celsius (3,6–5,4° Fahrenheit), angka-angka ini diperkirakan akan berkurang hingga \$25 miliar dalam kerugian tahunan. Dalam skenario terburuk, yaitu pengurangan gas rumah kaca yang minim dan pemanasan lebih dari 4°C (7,2°F), hutan mangrove dan tanggul dapat mencegah kerugian lebih dari \$65 miliar setiap tahun. Dalam kedua skenario tersebut, model memperkirakan sekitar 400.000 orang lebih sedikit yang terkena dampak setiap tahun.

Jika diperhatikan lebih dekat pada wilayah tertentu, potensinya menjadi lebih besar. Baik dalam kondisi saat ini maupun di masa depan yang lebih panas, Asia Selatan, Asia Tenggara, dan Afrika Barat menunjukkan potensi pengurangan terbesar baik dalam hal kerusakan maupun jumlah orang yang terkena dampak. Para peneliti juga menunjukkan bahwa mendanai proyek restorasi di wilayah-wilayah ini akan lebih murah daripada jumlah kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh badai. Proyek-proyek semacam itu akan memberikan manfaat yang lebih besar bagi masyarakat berpenghasilan rendah, yang cenderung lebih rentan terhadap banjir pesisir.

“Ini sangat mengesankan,” kata Jonah Busch, seorang ekonom lingkungan yang tidak terlibat dalam penelitian tersebut, mengenai makalah baru tersebut. Meskipun minat para peneliti terhadap solusi yang menggabungkan alam dengan infrastruktur buatan manusia semakin meningkat, Busch mengatakan bahwa ia terkesan dengan cara para penulis “mampu menggabungkan berbagai jenis model dari berbagai disiplin ilmu — ekonomi, teknik, dan biofisika — serta menyatukannya dengan cara yang masuk akal.”

Para ahli mengatakan ada kebutuhan mendesak akan solusi semacam ini. Diperkirakan 147.000 kilometer persegi (56.800 mil persegi) hutan mangrove — area yang hampir sebesar Bangladesh — masih tersisa di seluruh dunia, turun sekitar 30-50% dari luas historisnya selama abad terakhir. Terlebih lagi, penilaian tahun 2024 terhadap ekosistem hutan mangrove oleh IUCN, otoritas konservasi alam global, menemukan bahwa lebih dari setengah hutan mangrove yang masih bertahan ini berisiko runtuh pada tahun 2050. Hutan mangrove sebagian besar mengalami penurunan akibat dampak manusia seperti polusi, deforestasi, pembangunan bendungan, dan pembangunan, yang semuanya membuat ekosistem ini kurang tangguh dalam menghadapi kenaikan permukaan laut dan meningkatnya intensitas badai.

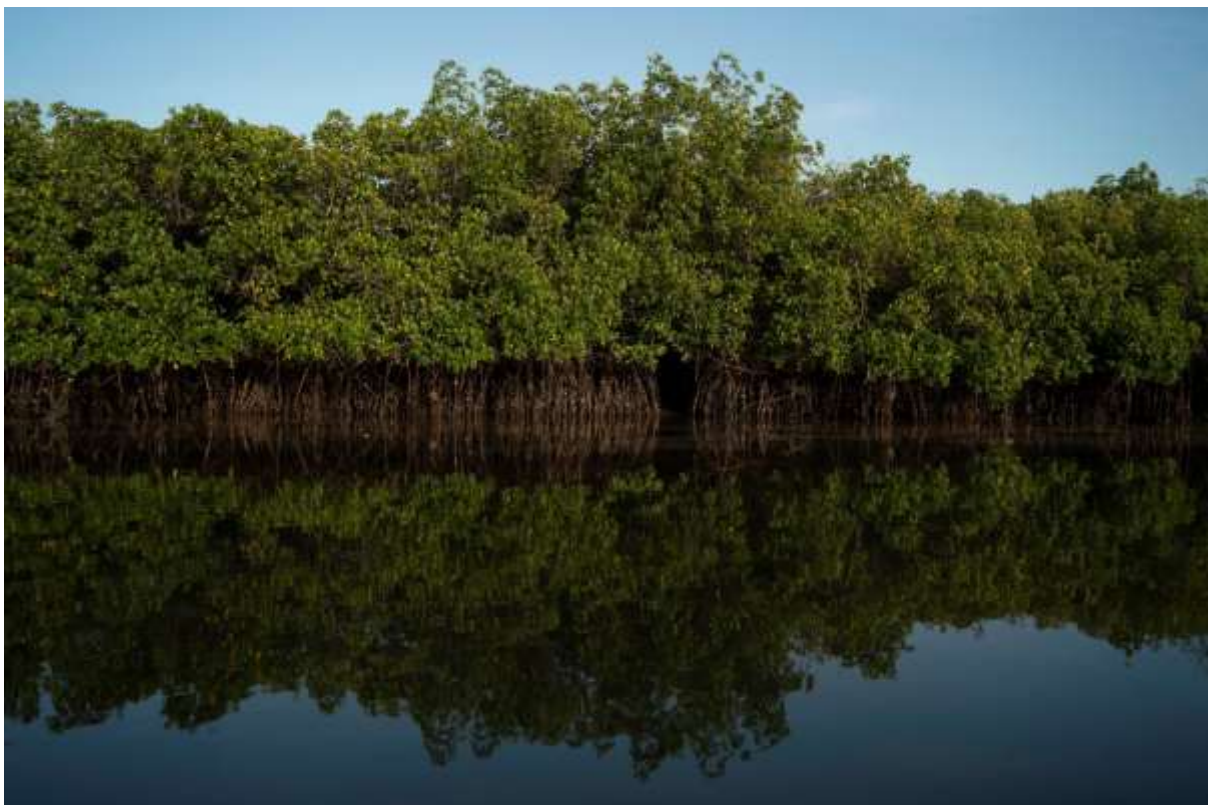
Tiggeloven mencatat bahwa kesimpulan dari penelitian timnya bukanlah bahwa orang-orang harus mulai membangun tanggul di belakang semua hutan mangrove di dunia. Sebaliknya, katanya, temuan tersebut dapat membantu menyoroti lokasi-lokasi di mana restorasi hutan mangrove akan paling efektif, seperti proyek-proyek di mana hutan mangrove ditanam secara sengaja di depan sistem drainase air yang sudah ada — seperti yang dicoba di sepanjang pantai Guyana dan Suriname — atau lokasi-lokasi di mana hutan mangrove dan tanggul sudah ada tetapi aliran airnya perlu dipulihkan, seperti di sawah-sawah Guinea-Bissau.

Dalam penelitian selanjutnya, Tiggeloven mengatakan ia berharap dapat menggunakan model yang sama sebagai landasan untuk menguji kombinasi lain dari pertahanan pesisir, seperti interaksi tanggul dengan rawa garam atau terumbu karang. Dan karena kerangka kerja model ini yang luas, model ini juga dapat digunakan untuk menilai risiko banjir di komunitas pesisir dengan lebih akurat.

Busch sependapat: “Saya sangat ingin melihat analisis serupa dengan jenis dan kualitas seperti ini [yang meneliti bagaimana] pemulihan daerah aliran sungai di dataran tinggi dapat meningkatkan kualitas air jika dipadukan dengan sistem pengelolaan tradisional?” Ia menambahkan bahwa ia juga berharap penelitian-penelitian mendatang dapat menggunakan model ini untuk mengevaluasi bagaimana infrastruktur abu-abu-hijau berpotensi memperkuat sifat-sifat serbaguna mangrove—sebagaimana Busch menyebutnya—termasuk penyerapan karbon dan manfaat bagi perikanan.



Anak pohon *Rhizophora* yang ditanam di balik struktur bambu pelindung di depan hutan mangrove alami di Jawa Tengah, Indonesia. Foto oleh Bregje Van Wesenbeeck.



Saat air surut di muara sungai, tiram-tiram yang tumbuh di hutan bakau Sungai Gambia di Serrekunda, Gambia, pun terlihat. Foto milik AP Photo/Leo Correa.

Namun, makalah pemodelan seperti ini belum terlalu umum. Busch mengatakan salah satu alasannya adalah bahwa penelitian tentang penggabungan infrastruktur abu-abu dan hijau

merupakan bidang studi yang relatif baru. Alasan lainnya adalah bahwa model-model yang dibutuhkan tersebar di berbagai disiplin ilmu, yang seringkali tidak saling berkoordinasi.

Dan mewujudkan ide-ide ini menjadi proyek infrastruktur yang nyata merupakan tantangan tersendiri.

“Selain aspek ilmiahnya, melaksanakan hal-hal ini di dunia nyata melibatkan kolaborasi orang-orang dari latar belakang dan industri yang berbeda,” kata Busch. “Jadi, membangun tanggul melibatkan insinyur, sementara pemulihan mangrove melibatkan ahli ekologi. Proyek pemulihan berbasis darat saja sudah cukup menantang. Proyek infrastruktur juga menantang. Lalu, mencoba melakukan keduanya secara bersamaan, di perairan, tentu saja jauh lebih menantang.”

Namun, penelitian seperti ini, tambahnya, justru yang dibutuhkan para ahli untuk memulai upaya semacam ini. “Makalah ini seharusnya benar-benar memberikan dorongan bagi infrastruktur hijau-abu-abu dan adaptasi berbasis ekosistem,” kata Busch.

Bagi Tiggeloven yang tinggal di Amsterdam, tanggul adalah pemandangan yang biasa; sedangkan hutan mangrove, tidak begitu. Namun, dalam perjalanan-perjalanan terakhirnya ke Brasil dan Jepang selatan, ia berkesempatan menghabiskan waktu di hutan mangrove yang persis seperti yang telah ia modelkan di komputer.

“Hal itu sangat mengubah cara pandang saya terhadap pekerjaan ini,” katanya. “Melihatnya secara langsung, melihat bagaimana masyarakat hidup di sekitarnya, melihat perikanan di dekat hutan mangrove — itu menceritakan sebuah kisah. Hal itu sudah memberikan nilai tambah tersendiri bagi penelitian ini bagi saya.” ***

Citations:

Tiggeloven, T., van Zelst V., Mortensen, E., van Wesenbeeck, B. K. Worthington, T. A., Spalding, M., ... Ward, P. J. (2026). Mangrove restoration and coastal flood adaptation: A global perspective on the potential for hybrid coastal defenses. *Proceedings of the National Academies of Science*, 123(4). doi:[10.1073/pnas.2510980123](https://doi.org/10.1073/pnas.2510980123)

Winterwerp, J. C., Bayney, A., Engel, S., Jack, L., Moseley, K., & Smits, B. (2025). Mangrove recovery by habitat restoration using nature-based solutions. *Ecological Engineering*, 212, 107520. doi:[10.1016/j.ecoleng.2025.107520](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107520)