



Adaptasi Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir: Tinjauan Literatur tentang Dampak Kenaikan Muka Air Laut

Febni Rita Kurnia¹, Lailal Gusri^{2*}

¹Mahasiswa Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

^{2*}Dosen Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

Jalan Jambi-Muara Bulian KM. 15, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi 36361

lailal.gusri@unja.ac.id

Abstract: *Sea level rise is a direct consequence of climate change, exerting profound effects on social structures, economies, infrastructure, and coastal ecosystems. This article aims to review recent scientific literature addressing the impacts of sea level rise in coastal areas and adaptation strategies implemented across countries, with a particular focus on Indonesia. The research method employed is a literature review with a descriptive qualitative approach, examining scientific publications from 2020 to 2026. Findings reveal that sea level rise in Indonesia averages 4.6 ± 0.4 mm per year, exceeding the global average. Observed impacts include coastal erosion, tidal flooding, saltwater intrusion, infrastructure damage, and population displacement. Effective adaptation strategies involve a combination of hard infrastructure (seawalls, breakwaters), ecosystem-based approaches (mangrove restoration, wetland conservation), and climate-responsive policy support. These findings underscore the importance of multidisciplinary approaches, community participation, and cross-sectoral collaboration in building coastal resilience to climate change.*

Keywords: *climate change, sea level rise, coastal areas, adaptation, mitigation strategies, mangrove restoration*

Abstrak. Kenaikan muka air laut merupakan konsekuensi langsung dari perubahan iklim yang memiliki dampak signifikan terhadap kehidupan sosial, ekonomi, infrastruktur, dan ekosistem pesisir. Artikel ini bertujuan untuk meninjau berbagai literatur ilmiah terkini yang membahas dampak kenaikan muka air laut di wilayah pesisir serta strategi adaptasi yang telah diterapkan di berbagai negara, dengan fokus khusus pada Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan pendekatan kualitatif deskriptif, mengkaji publikasi ilmiah dari tahun 2020 hingga 2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut di Indonesia rata-rata mencapai $4,6 \pm 0,4$ mm per tahun, lebih tinggi dari rata-rata global. Dampak yang terjadi meliputi abrasi pantai, banjir rob, intrusi air laut, kerusakan infrastruktur, serta perpindahan penduduk. Strategi adaptasi yang efektif melibatkan kombinasi antara infrastruktur keras (tanggul laut, pemecah gelombang), pendekatan berbasis ekosistem (restorasi mangrove, konservasi lahan basah), dan dukungan kebijakan yang responsif terhadap dinamika iklim. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan multidisipliner, partisipasi katkat, dan kolaborasi lintas sektor dalam membangun ketahanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim.

Kata kunci: perubahan iklim, kenaikan muka air laut, wilayah pesisir, adaptasi, strategi mitigasi, restorasi mangrove

LATAR BELAKANG

Perubahan iklim telah menjadi tantangan global yang signifikan dengan berbagai dampak yang luas, terutama di wilayah pesisir. Perubahan iklim merupakan tantangan global yang berdampak langsung pada berbagai aspek kehidupan, mulai dari ketahanan pangan hingga ketahanan lingkungan (Gusri & Annisa 2025). Salah satu dampak paling

nyata adalah kenaikan muka air laut akibat mencairnya es di kutub dan pemuaiian termal air laut. Menurut IPCC (2023), permukaan laut global telah meningkat sekitar 20 cm sejak awal abad ke-20 dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 1-2 meter pada akhir abad ini jika tidak ada upaya mitigasi yang signifikan. Proyeksi terbaru menunjukkan bahwa dengan skenario emisi tinggi (RCP8.5), kenaikan permukaan laut dapat mencapai 3,1 kaki (sekitar 0,9 meter) pada tahun 2100, dengan ketidakpastian yang lebih besar di luar tahun tersebut akibat dinamika lempeng es (COPC, 2024; Sweet et al., 2022).

Wilayah pesisir, yang menjadi rumah bagi lebih dari 40% populasi dunia, menghadapi risiko tinggi terhadap banjir rob, kerusakan infrastruktur, dan hilangnya habitat alami (Oppenheimer et al., 2022). Kenaikan muka air laut tidak hanya mengancam permukiman dan infrastruktur, tetapi juga berdampak pada stabilitas ekosistem pesisir seperti mangrove, terumbu karang, dan lahan basah yang berfungsi sebagai penyangga alami terhadap gelombang laut dan badai (Temmerman et al., 2023). Di Asia, ancaman ini semakin serius karena kombinasi antara kenaikan muka air laut dan penurunan permukaan tanah akibat ekstraksi air tanah yang berlebihan (Nurhidayah et al., 2022).

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan garis pantai sepanjang lebih dari 54.000 km, sangat rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. Data terbaru menunjukkan bahwa rata-rata kenaikan muka air laut di perairan Indonesia mencapai $4,6 \pm 0,4$ mm per tahun, melebihi rata-rata global sebesar 3,2 mm per tahun (NOAA, 2022; World Bank, 2024). Lebih dari 60% kota-kota besar di Indonesia terletak di kawasan pesisir, dan diperkirakan 83 pulau terluar Indonesia sangat rentan terhadap tenggelam akibat kenaikan muka air laut (Vinata et al., 2023). Wilayah seperti Jakarta, Semarang, Pekalongan, dan Demak telah mengalami dampak serius berupa banjir rob permanen, abrasi pantai, dan intrusi air laut yang mengancam keberlangsungan kehidupan masyarakat pesisir (Oxfam Australia, 2025).

Dampak kenaikan muka air laut tidak hanya terbatas pada aspek fisik dan lingkungan, tetapi juga merambah dimensi sosial ekonomi. Hilangnya lahan pertanian dan tambak, kerusakan infrastruktur, serta perpindahan penduduk secara paksa telah menjadi kenyataan yang dihadapi komunitas pesisir di Indonesia (Adaptation Fund, 2023) dan contoh di Pekalongan, lebih dari sepertiga wilayah kota telah tenggelam sejak 2009, dan lebih dari 4.000 keluarga terpaksa direlokasi ke lokasi yang lebih aman. Kondisi ini

semakin diperparah oleh penurunan muka tanah yang mencapai 11 cm per tahun akibat ekstraksi air tanah berlebihan.

Menghadapi ancaman ini, strategi adaptasi menjadi sangat krusial. Berbagai pendekatan telah dikembangkan, mulai dari infrastruktur keras seperti tanggul laut dan pemecah gelombang, hingga solusi berbasis alam seperti restorasi mangrove dan konservasi lahan basah (Ocean & Climate Platform, 2023). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendekatan berbasis ekosistem tidak hanya efektif dalam mengurangi dampak fisik kenaikan muka air laut, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa penyerapan karbon, peningkatan keanekaragaman hayati, dan dukungan terhadap mata pencaharian masyarakat lokal (Kurniawan et al., 2024).

Tujuan untuk meninjau berbagai literatur ilmiah terkini (2020-2026) yang membahas dampak kenaikan muka air laut di wilayah pesisir, khususnya di Indonesia, serta strategi adaptasi yang telah diterapkan. Melalui kajian literatur ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang tantangan yang dihadapi dan solusi yang dapat diterapkan untuk membangun ketahanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim.

KAJIAN TEORITIS

A. Perubahan Iklim dan Kenaikan Muka Air Laut

Perubahan iklim global didorong oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, yang mengakibatkan peningkatan suhu rata-rata bumi. Dampak langsung dari pemanasan global adalah kenaikan muka air laut melalui dua mekanisme utama: ekspansi termal air laut dan pencairan es di daratan. Merujuk laporan IPCC AR6 (2021-2023), menegaskan bahwa laju kenaikan muka air laut global telah berlipat ganda sejak awal 1990-an, dari sekitar 1,4 mm per tahun (1901-1990) menjadi 3,7 mm per tahun (2006-2018), dan terus mengalami percepatan (Hamlington et al., 2024).

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kenaikan muka air laut bersifat kompleks dan bervariasi secara regional. Selain ekspansi termal dan pencairan es, pergerakan vertikal daratan (vertical land motion) juga memainkan peran penting dalam menentukan tingkat kenaikan muka air laut relatif di suatu lokasi. Di Indonesia, penurunan muka tanah yang disebabkan oleh ekstraksi air tanah berlebihan telah memperburuk dampak kenaikan

muka air laut global, sehingga tingkat kenaikan muka air laut relatif di beberapa kota pesisir Indonesia jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata global (Nurhidayah et al., 2022; Tay et al., 2022).

Proyeksi ke depan menunjukkan bahwa bahkan jika emisi gas rumah kaca dihentikan hari ini, kenaikan muka air laut akan terus berlanjut selama berabad-abad karena inersia termal laut yang sangat besar. Skenario emisi tinggi (SSP5-8.5) memproyeksikan kenaikan muka air laut global sebesar 0,63-1,02 meter pada tahun 2100, dengan kemungkinan yang tidak dapat dikesampingkan untuk kenaikan yang lebih tinggi jika terjadi kehilangan massa es yang lebih cepat dari Antartika (World Bank, 2024; IPCC, 2023).

B. Kerentanan Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir yang terletak di zona elevasi rendah (Low-Elevation Coastal Zone/LE CZ) sangat rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. LE CZ didefinisikan sebagai wilayah yang terhubung secara hidrologis dengan laut dan tidak lebih dari 10 meter di atas permukaan laut rata-rata. Zona ini saat ini menjadi tempat tinggal sekitar 11% populasi global dan menghasilkan sekitar 14% dari Produk Domestik Bruto global (Oppenheimer et al., 2022). Kerentanan wilayah ini tidak hanya ditentukan oleh faktor fisik seperti elevasi dan paparan terhadap gelombang, tetapi juga oleh faktor sosial-ekonomi seperti kepadatan populasi, kemiskinan, dan kapasitas adaptasi.

Di Indonesia, kerentanan wilayah pesisir semakin tinggi karena konsentrasi penduduk dan aktivitas ekonomi di kawasan pesisir. Lebih dari 60% populasi Indonesia tinggal di wilayah pesisir, dan banyak kota besar seperti Jakarta, Semarang, Surabaya, dan Makassar terletak di dataran rendah pesisir. Selain itu, sebagian besar infrastruktur vital seperti pelabuhan, bandara, jalan, dan fasilitas industri terkonsentrasi di kawasan pesisir, sehingga dampak ekonomi dari kenaikan muka air laut dapat sangat signifikan (BNPB, 2024).

Faktor-faktor yang meningkatkan kerentanan wilayah pesisir meliputi: (1) degradasi ekosistem pesisir seperti mangrove, terumbu karang, dan lahan basah yang berfungsi sebagai pelindung alami; (2) pembangunan infrastruktur yang tidak mempertimbangkan risiko perubahan iklim; (3) ekstraksi air tanah berlebihan yang

menyebabkan penurunan muka tanah; (4) kepadatan penduduk yang tinggi di dataran rendah pesisir; dan (5) kapasitas adaptasi yang terbatas, terutama di komunitas miskin dan terpinggirkan (Prayoga, 2025). Kombinasi faktor-faktor ini menciptakan kondisi di mana dampak kenaikan muka air laut dapat bersifat katastrofik bagi komunitas pesisir.

C. Strategi Adaptasi: Kerangka Konseptual

Strategi adaptasi terhadap kenaikan muka air laut dapat dikategorikan ke dalam beberapa pendekatan utama: (1) perlindungan (protection) melalui infrastruktur keras seperti tanggul laut dan pemecah gelombang; (2) akomodasi (accommodation) melalui penyesuaian bangunan dan infrastruktur untuk tetap berfungsi meskipun terjadi banjir; (3) mundur terencana (managed retreat) melalui relokasi penduduk dan aset dari zona berisiko tinggi; dan (4) solusi berbasis alam (nature-based solutions) melalui restorasi dan konservasi ekosistem pesisir (Temmerman et al., 2023; IUCN, 2024).

Solusi berbasis alam yang telah mendapat perhatian yang meningkat dalam tahun-tahun terakhir karena potensinya dalam memberikan manfaat ganda: mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon dan adaptasi melalui perlindungan pesisir. Ekosistem pesisir seperti mangrove, rawa asin, dan padang lamun memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap karbon sekaligus berfungsi sebagai penyangga alami terhadap gelombang dan badai. Menurut Temmerman et al. (2023), bahwa mangrove dapat mengurangi tinggi gelombang hingga 66% dan energi gelombang hingga 94%, sehingga sangat efektif dalam melindungi garis pantai dari erosi dan banjir pesisir

Keberhasilan strategi adaptasi sangat bergantung pada pendekatan yang terintegrasi dan partisipatif. Adaptasi berbasis komunitas menekankan pentingnya keterlibatan masyarakat lokal dalam perencanaan dan implementasi strategi adaptasi, dengan mengakui bahwa masyarakat lokal memiliki pengetahuan dan pengalaman berharga tentang lingkungan mereka. Pendekatan ini juga memastikan bahwa strategi adaptasi sesuai dengan kebutuhan dan prioritas lokal, serta meningkatkan rasa kepemilikan dan keberlanjutan jangka panjang (Kurniawan et al., 2024). Pelibatan pemuda, baik melalui Karang Taruna maupun organisasi pemuda setempat, menjadi penting untuk menciptakan regenerasi penggiat lingkungan (Pramudya & Gusri, 2025).

Kerangka kebijakan yang mendukung adaptasi juga sangat penting. Integrasi pertimbangan perubahan iklim ke dalam perencanaan tata ruang, kebijakan pembangunan infrastruktur, dan regulasi lingkungan merupakan prasyarat untuk adaptasi yang efektif. Di tingkat internasional, berbagai negara telah mengintegrasikan adaptasi kenaikan muka air laut ke dalam Nationally Determined Contributions (NDCs) mereka di bawah Perjanjian Paris, meskipun implementasi di lapangan masih bervariasi (IUCN, 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Metode ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan yang telah dipublikasikan dalam berbagai sumber ilmiah untuk memahami fenomena kenaikan muka air laut dan strategi adaptasinya secara komprehensif.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui pencarian sistematis terhadap publikasi ilmiah yang relevan dengan topik perubahan iklim, kenaikan muka air laut, dan adaptasi wilayah pesisir. Sumber data yang digunakan meliputi: (1) jurnal ilmiah terindeks internasional dan nasional; (2) laporan lembaga internasional seperti IPCC, NOAA, World Bank, IUCN, dan UNEP; (3) laporan lembaga pemerintah Indonesia seperti BNPB, KLHK, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan; (4) dokumen kebijakan dan peraturan terkait adaptasi perubahan iklim; dan (5) publikasi lembaga non-pemerintah yang kredibel.

Kriteria inklusi untuk pemilihan literatur adalah: (1) publikasi yang diterbitkan dalam kurun waktu 2020-2026 untuk memastikan kebaruan informasi, dengan beberapa rujukan klasik yang tetap relevan; (2) membahas topik kenaikan muka air laut, dampaknya terhadap wilayah pesisir, dan/atau strategi adaptasi; (3) memiliki metodologi yang jelas dan kredibel; dan (4) tersedia dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris.

Pencarian literatur dilakukan menggunakan basis data akademik seperti Google Scholar, Web of Science, ScienceDirect, serta situs web resmi lembaga-lembaga terkait. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur meliputi: *sea level rise*, *coastal adaptation*, *climate change Indonesia*, *mangrove restoration*, *nature-based solutions*, *coastal resilience*, *climate-induced displacement*, *coastal erosion*, *tidal flooding*, dan

kombinasi dari kata kunci tersebut. Literatur yang ditemukan kemudian disaring berdasarkan relevansi dan kualitas, kemudian dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola, tren, dan temuan utama.

Analisis data dilakukan melalui pendekatan sintesis naratif, di mana temuan-temuan dari berbagai sumber literatur diintegrasikan untuk menghasilkan pemahaman yang koheren tentang dampak kenaikan muka air laut dan strategi adaptasi yang efektif. Analisis juga mencakup perbandingan antar literatur untuk mengidentifikasi konsensus dan perbedaan pendapat di antara para peneliti dan praktisi. Keterbatasan metode ini adalah ketergantungan pada literatur yang tersedia dan mungkin tidak mencakup semua studi atau laporan yang relevan, terutama yang tidak dipublikasikan secara terbuka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dampak Kenaikan Muka Air Laut di Wilayah Pesisir

1) Dampak Fisik dan Geofisik

Kenaikan muka air laut membawa konsekuensi serius terhadap kondisi fisik dan ekologis wilayah pesisir. Abrasi pantai menjadi dampak paling nyata, di mana garis pantai tergerus oleh gelombang laut yang semakin tinggi dan kuat. Di wilayah pesisir utara Jawa, seperti Semarang, Demak, dan Pekalongan, abrasi telah menyebabkan hilangnya ratusan hektar lahan produktif dan pemukiman penduduk. Marfai dan King (2008) mencatat bahwa banjir rob di Semarang telah menjadi kejadian tahunan yang merusak infrastruktur kota, sementara data terbaru menunjukkan bahwa kondisi ini semakin memburuk dengan frekuensi banjir yang meningkat (Adaptation Fund, 2023).

Di Pekalongan, situasinya bahkan lebih parah. Kenaikan muka air laut rata-rata 3-5 cm per tahun yang dikombinasikan dengan penurunan muka tanah sebesar 11 cm per tahun, lebih dari sepertiga wilayah kota telah terendam secara permanen sejak 2009. Garis pantai telah bergeser secara signifikan, dan banyak rumah penduduk yang dulunya jauh dari pantai kini berada di tepi air atau bahkan terendam (Adaptation Fund, 2023). Kondisi serupa juga terjadi di Muaragembong, Bekasi, di mana abrasi dan penurunan tanah telah menyebabkan banjir rob kronis yang mengancam mata pencaharian masyarakat nelayan dan petani tambak.

Fenomena intrusi air laut ke dalam tanah dan air tanah juga merupakan ancaman serius. Intrusi ini mengakibatkan kualitas air tanah menurun drastis, sehingga tidak lagi layak untuk konsumsi maupun irigasi pertanian. Di Kabupaten Demak dan Pekalongan, air tanah yang sebelumnya dapat digunakan masyarakat kini telah berubah menjadi asin karena tercemar oleh air laut. Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2013), menunjukkan bahwa di wilayah Pemalang, intrusi air laut telah merambat sejauh 5-6 kilometer ke arah daratan, dan data terbaru mengindikasikan bahwa jarak ini terus bertambah seiring waktu.

Kerusakan infrastruktur pesisir seperti pelabuhan, jalan, tambak, dan bangunan publik juga menjadi konsekuensi langsung dari kenaikan muka air laut. Gelombang pasang yang lebih tinggi dari biasanya mengakibatkan genangan air yang berulang dan berkepanjangan, yang secara perlahan mempercepat kerusakan fisik bangunan. Di Pekalongan, beberapa fasilitas pendidikan dan rumah ibadah harus direlokasi karena terendam secara permanen. BNPB (2024) melaporkan bahwa lebih dari 1.000 kejadian banjir tercatat di Indonesia pada tahun 2024, banyak di antaranya terjadi di distrik pesisir dataran rendah di mana pasang surut kini mencapai lebih jauh ke daratan.

2) Dampak Sosial Ekonomi

Secara sosial dan ekonomi, kenaikan muka air laut menyebabkan berbagai persoalan serius. Hilangnya lahan pertanian, permukiman, dan tambak berarti hilangnya sumber penghidupan masyarakat. Banyak petani dan nelayan mengalami penurunan pendapatan karena tidak dapat lagi memanfaatkan sumber daya alam seperti sebelumnya. Di Muaragembong, misalnya, lahan sawah dan tambak yang dulunya produktif kini terendam air laut, memaksa penduduk untuk mencari mata pencaharian alternatif (Oxfam Australia, 2025).

Penduduk pesisir juga mulai mengalami fenomena *climate-induced displacement*, yaitu perpindahan penduduk akibat dampak perubahan iklim. BNPB (2019) melaporkan bahwa ribuan penduduk di pesisir Demak telah direlokasi ke wilayah yang lebih tinggi karena daratannya terus tenggelam. Lebih dari 4.000 keluarga telah dipindahkan dari wilayah yang paling terdampak, terutama dari Kecamatan Tirto yang mengalami banjir rob permanen (Mercy Corps, 2019). Relokasi ini tidak hanya menimbulkan biaya finansial yang besar, tetapi juga trauma psikologis

dan sosial bagi masyarakat yang kehilangan tempat tinggal dan lingkungan sosial mereka.

Dampak ekonomi lebih luas juga signifikan. Infrastruktur pesisir seperti jalan dan pelabuhan mengalami banjir lebih sering, dan biaya perbaikan meningkat setiap kali terjadi kerusakan. World Economic Forum (2024) menyebutkan bahwa jika tren saat ini berlanjut, sebagian besar Jakarta Utara dapat tenggelam pada tahun 2050, dan ribuan pulau kecil di Indonesia timur juga berisiko tenggelam sebagian atau seluruhnya. Hilangnya lahan produktif dan infrastruktur vital dapat mengurangi pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan beban fiskal pemerintah untuk pemulihan dan adaptasi.

Dampak yang tidak merata juga perlu diperhatikan. Perempuan, anak perempuan, dan kelompok marginal lainnya menanggung beban ekstra ketika banjir tiba, melindungi anak-anak, dan membantu keluarga membangun kembali. Ketika pendapatan menurun, mereka adalah yang pertama kehilangan akses terhadap pendidikan atau bahkan makanan. Kenaikan muka air laut di Indonesia semakin memperdalam ketimpangan bagi perempuan dan rumah tangga berpenghasilan rendah (Oxfam Australia, 2025). Lebih jauh lagi, tekanan psikologis dan sosial akibat kehilangan tempat tinggal, rusaknya lingkungan, dan ketidakpastian ekonomi menjadi beban tambahan yang harus ditanggung oleh masyarakat pesisir. Kehilangan lahan adat atau tempat tinggal turun-temurun juga memengaruhi aspek budaya dan identitas masyarakat lokal.

3) Dampak Ekologis

Kenaikan muka air laut juga mengancam ekosistem pesisir yang sangat penting bagi keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem. Mangrove, terumbu karang, dan lahan basah pesisir menghadapi tekanan akibat perubahan salinitas, genangan yang lebih sering, dan erosi. Meskipun mangrove memiliki kemampuan untuk bermigrasi ke arah daratan mengikuti kenaikan muka air laut (Krauss et al., 2014), migrasi ini sering terhambat oleh pembangunan infrastruktur dan aktivitas manusia di zona transisi pesisir.

Skenario kenaikan muka air laut yang tinggi, jasa ekosistem pesisir seperti penyimpanan karbon biru, perlindungan pesisir, dan pariwisata akan sangat berkurang kecuali dilakukan intervensi konservasi dan restorasi yang proaktif. Di Kepulauan Seribu, Jakarta, menunjukkan bahwa kualitas habitat mengalami penurunan yang mengakibatkan berkurangnya penyimpanan karbon biru, perlindungan pesisir, dan potensi pariwisata akibat kenaikan muka air laut (Setiawan et al., 2025; Kurniawan et al., 2024).

Perubahan dalam distribusi spesies dan hilangnya habitat kritis juga menjadi perhatian. Terumbu karang, yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan keasaman air laut, menghadapi ancaman ganda dari pemutihan karang (coral bleaching) dan submersed yang berlebihan. Kehilangan terumbu karang tidak hanya berdampak pada keanekaragaman hayati laut, tetapi juga pada komunitas nelayan yang bergantung pada perikanan terumbu karang untuk mata pencaharian mereka.

B. Strategi Adaptasi yang Diterapkan

1) Pendekatan Berbasis Ekosistem (Ecosystem-based Adaptation)

Pendekatan berbasis ekosistem atau nature-based solutions (NbS) telah menjadi strategi adaptasi yang semakin populer karena kemampuannya memberikan manfaat ganda: perlindungan pesisir dan mitigasi perubahan iklim. Restorasi dan pelestarian mangrove menjadi salah satu strategi paling efektif dalam meredam energi gelombang laut dan memperkuat garis pantai secara alami. Studi menunjukkan bahwa wilayah pesisir dengan vegetasi mangrove yang sehat memiliki risiko kerusakan yang lebih rendah dibandingkan dengan wilayah terbuka (Badola et al., 2012; Temmerman et al., 2023).

Di Indonesia, program rehabilitasi mangrove di daerah pesisir seperti di Pesisir Utara Jawa telah menunjukkan hasil positif. Di Kabupaten Demak, adaptasi yang dilakukan meliputi penanaman kembali mangrove secara partisipatif oleh masyarakat lokal dan lembaga swadaya masyarakat. Hasilnya, sebagian garis pantai yang sebelumnya terkikis mulai menunjukkan pemulihan secara bertahap (Setyawan et al., 2020). Model restorasi mangrove partisipatif ini melibatkan masyarakat lokal tidak

hanya dalam penanaman, tetapi juga dalam pemeliharaan dan monitoring, sehingga meningkatkan rasa kepemilikan dan keberlanjutan program.

Wilayah Muaragembong, Bekasi, mengembangkan model hybrid engineering, yaitu kombinasi antara tanggul alami dari mangrove dan struktur buatan rendah untuk menahan gelombang dan mengendapkan lumpur dan menjadi contoh baik dari adaptasi berbasis ekosistem yang terintegrasi. Struktur semi-permeabel membantu menstabilkan sedimen dan melindungi bibit mangrove sampai mereka cukup besar untuk bertahan sendiri terhadap aksi gelombang (Adaptation Fund, 2023).

Zonasi penanaman mangrove sangat penting untuk memaksimalkan penyimpanan karbon dan perlindungan pesisir. Menanam mangrove dekat dengan tingkat air laut rata-rata dapat menurunkan potensi penyimpanan karbon karena meningkatnya erosi sedimen, sedangkan penanaman dekat dengan tingkat air tinggi dan konfigurasi dalam beberapa patch bersama dengan langkah-langkah monitoring yang kuat bermanfaat untuk restorasi mangrove strategis. Pendekatan ini memastikan bahwa akar mangrove dapat menjebak sedimen halus secara efektif, yang merupakan faktor kunci dalam efisiensi mangrove dalam menyerap karbon (Communications Earth & Environment, 2025).

Program restorasi mangrove juga memberikan manfaat ekonomi tambahan bagi masyarakat. Di Bangladesh, program Community Based Adaptation to Climate Change through Coastal Afforestation (CBACC-CF) telah menciptakan 9.650 hektar hutan mangrove baru yang menyerap sekitar 965.000 ton karbon per tahun dan memberikan penghasilan tambahan sekitar \$1.000 USD per tahun per penerima manfaat melalui model 'Forest, Fish, Fruit' yang mengintegrasikan penanaman pohon buah dan kolam pembibitan ikan. Lebih dari 12.000 orang lokal mendapat peluang pendapatan dari kegiatan seperti penanaman pohon, pemeliharaan, dan persiapan pembibitan, dengan 42% penerima manfaat adalah perempuan (Nature-based Solutions Case Studies, 2024).

2) Pendekatan Struktural

Pendekatan struktural melibatkan pembangunan infrastruktur keras seperti tanggul laut, pemecah gelombang, dan sistem drainase yang ditingkatkan. Di

Semarang, pembangunan tanggul laut telah membantu mengurangi intensitas banjir rob di beberapa titik (Marfai et al., 2015). Di Pekalongan, pemerintah kota juga menerapkan strategi adaptasi struktural seperti pembangunan tanggul laut dan pompa air otomatis untuk mengatasi genangan (Mercy Corps, 2019).

Namun, efektivitas pendekatan struktural ini memiliki keterbatasan dalam jangka panjang. Infrastruktur keras seringkali tidak menyelesaikan akar permasalahan dan membutuhkan biaya tinggi untuk pemeliharaan. Studi tentang tanggul laut Jakarta menunjukkan bahwa meskipun tanggul dapat memberikan perlindungan jangka pendek, mereka dapat menciptakan hazard moral di mana pembangunan pesisir terus berlanjut di zona berisiko, yang pada akhirnya memaksa intervensi lebih lanjut dan menciptakan coastal lock-in dengan biaya sosial yang tinggi (Hsiao, 2024).

Selain itu, infrastruktur keras dapat memiliki dampak negatif terhadap ekosistem pesisir. Tanggul laut dapat menghalangi migrasi alami mangrove ke arah daratan, menyebabkan 'coastal squeeze' di mana ekosistem pesisir terjepit antara kenaikan muka air laut dan penghalang buatan manusia. Pemecah gelombang juga dapat mengubah pola sedimentasi dan arus, yang dapat menyebabkan erosi di lokasi lain sepanjang garis pantai.

Meskipun demikian, dalam beberapa kasus, infrastruktur keras tetap diperlukan, terutama di area perkotaan yang padat dengan aset ekonomi yang tinggi. Kuncinya adalah mengintegrasikan pendekatan struktural dengan pendekatan berbasis alam dalam kerangka hybrid engineering, di mana infrastruktur keras dan ekosistem alami bekerja bersama-sama untuk memberikan perlindungan optimal. Pendekatan ini sedang dikembangkan di beberapa lokasi di Indonesia, termasuk Muaragembong dan Jakarta.

3) Pendekatan Non-Struktural dan Kebijakan

Adaptasi berbasis kebijakan melibatkan penyusunan regulasi zonasi pesisir, penyuluhan masyarakat, perencanaan tata ruang berbasis risiko, serta integrasi perubahan iklim dalam kebijakan pembangunan. Perpres No. 60 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Laut Nasional (RTRLN) menggarisbawahi pentingnya integrasi adaptasi iklim dalam perencanaan spasial nasional. Di tingkat lokal, beberapa

pemerintah daerah telah menetapkan kawasan rawan bencana sebagai zona non-permanen dan merelokasi penduduk ke wilayah yang lebih aman.

Kebijakan zonasi adaptif sangat penting untuk mengurangi paparan risiko di masa depan. California, misalnya, telah mengadopsi Sea Level Rise Policy Guidance yang diperbarui pada tahun 2024, yang menyediakan kerangka kerja komprehensif untuk mengintegrasikan proyeksi kenaikan muka air laut ke dalam perencanaan pesisir dan perizinan pembangunan. Panduan ini menekankan pendekatan berjenjang yang hati-hati untuk menggabungkan skenario kenaikan muka air laut, termasuk skenario intermediate, intermediate-high, dan high, untuk menilai spektrum risiko potensial (California Coastal Commission, 2024).

Sistem peringatan dini juga merupakan komponen penting dari adaptasi non-struktural. Di Pekalongan, proyek yang didanai Adaptation Fund telah menginstal stasiun monitoring cuaca jarak jauh dan layanan notifikasi peringatan dini melalui platform media sosial. Sistem ini membantu masyarakat mempersiapkan diri sebelum banjir rob terjadi dan mengurangi kerugian harta benda (Adaptation Fund, 2023). Monitoring area paling rentan dilakukan melalui analisis risiko iklim yang unik yang disebut Sistem Informasi Data Indeks Kerentanan (SIDIK), yang mencakup penilaian risiko iklim pesisir dan partisipatif yang berkelanjutan.

Edukasi dan pelatihan bagi masyarakat lokal juga penting agar mereka memiliki pemahaman dan kapasitas dalam menghadapi ancaman lingkungan. Program kesadaran tentang adaptasi dilakukan melalui kelompok kerja perubahan iklim dan keterlibatan pemuda. Di Pekalongan, komponen pengetahuan dalam proyek sangat penting bagi masyarakat untuk belajar bagaimana beradaptasi dengan kondisi saat ini dari dampak perubahan iklim (Adaptation Fund, 2023).

Keberhasilan kebijakan adaptasi sangat bergantung pada partisipasi masyarakat, transparansi proses, dan dukungan kelembagaan lintas sektor. Namun, penelitian menunjukkan bahwa di Indonesia, kerangka tata kelola yang tidak efektif telah menyebabkan kegagalan kebijakan, dengan berbagai aktor yang dimotivasi oleh kepentingan legislatif, politik, finansial, dan sosial yang berbeda yang memprioritaskan penerima manfaat dan solusi tertentu (Nurhidayah et al., 2022). Hal

ini menunjukkan perlunya reformasi tata kelola dan koordinasi yang lebih baik antar tingkat pemerintahan dan sektor.

4) Adaptasi Berbasis Komunitas

Adaptasi berbasis komunitas menekankan pentingnya pengetahuan lokal dan pemberdayaan masyarakat. Di wilayah pesisir Indonesia, banyak komunitas telah mengembangkan strategi adaptasi mandiri, seperti meninggikan rumah di atas tiang pancang, membangun tanggul lokal, dan memodifikasi praktik pertanian untuk toleran terhadap salinitas (Oxfam Australia, 2025). Strategi-strategi ini mencerminkan kreativitas dan ketangguhan masyarakat lokal dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

Studi kasus dari Demak menunjukkan keberhasilan adaptasi berbasis komunitas dalam restorasi mangrove. Masyarakat lokal, bekerja sama dengan LSM seperti Wetlands International, telah menanam ribuan bibit mangrove di sepanjang garis pantai yang tererosi. Inisiatif ini tidak hanya membantu memulihkan ekosistem pesisir, tetapi juga memberikan mata pencaharian alternatif bagi masyarakat melalui ekowisata mangrove dan budidaya kepiting di antara akar mangrove (Setyawan et al., 2020).

Keterlibatan komunitas dalam perencanaan dan implementasi strategi adaptasi sangat penting untuk keberlanjutan jangka panjang. Program yang dirancang tanpa konsultasi dengan masyarakat lokal seringkali gagal karena tidak sesuai dengan kebutuhan, prioritas, dan kapasitas lokal. Model tata kelola bersama yang melibatkan pemerintah, masyarakat, dan pemangku kepentingan lain telah terbukti efektif dalam memastikan partisipasi yang bermakna dan pembagian manfaat yang adil.

Namun, adaptasi berbasis komunitas juga menghadapi tantangan, termasuk keterbatasan sumber daya finansial dan teknis, serta ketidakpastian dalam hal keamanan lahan. Dukungan dari pemerintah dan lembaga eksternal diperlukan untuk memperkuat kapasitas lokal dan memastikan bahwa inisiatif komunitas dapat diperluas dan direplikasi di lokasi lain. Skema yang didukung pemerintah, seperti kehutanan masyarakat yang terintegrasi dalam perencanaan adaptasi pesisir, dapat

membantu masyarakat mengimplementasikan proyek restorasi yang lebih kecil sambil juga memberikan manfaat skala lanskap (Spalding et al., 2023).

C. Tantangan dan Hambatan dalam Implementasi

Meskipun berbagai strategi adaptasi telah dikembangkan dan diimplementasikan, masih banyak tantangan dan hambatan yang dihadapi, yaitu:

Pertama, keterbatasan pendanaan menjadi hambatan utama. Biaya untuk membangun infrastruktur keras, melakukan restorasi ekosistem, dan melaksanakan program relokasi sangat tinggi, sementara sumber daya keuangan pemerintah daerah dan nasional terbatas. Mekanisme pendanaan internasional seperti Green Climate Fund dan Adaptation Fund dapat membantu, tetapi akses terhadap dana ini seringkali rumit dan memerlukan kapasitas teknis yang tinggi.

Kedua, koordinasi antar sektor dan tingkat pemerintahan masih lemah. Adaptasi perubahan iklim memerlukan pendekatan lintas sektor yang melibatkan berbagai kementerian dan lembaga, tetapi dalam praktiknya, koordinasi ini sering terhambat oleh konflik kepentingan, perbedaan prioritas, dan kurangnya mekanisme koordinasi yang efektif (Nurhidayah et al., 2022). Fragmentasi kebijakan dan kewenangan dapat mengakibatkan duplikasi upaya atau bahkan intervensi yang bertentangan.

Ketiga, keterbatasan data dan informasi ilmiah yang akurat tentang proyeksi kenaikan muka air laut lokal dan dampaknya menyulitkan perencanaan adaptasi yang efektif. Meskipun proyeksi global tersedia, variasi regional dan lokal dalam kenaikan muka air laut, penurunan tanah, dan faktor-faktor lain memerlukan data yang lebih rinci. Investasi dalam sistem monitoring dan penelitian lokal sangat diperlukan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan ini.

Keempat, kapasitas teknis dan institusional di tingkat lokal masih terbatas. Banyak pemerintah daerah tidak memiliki staf yang terlatih atau sumber daya untuk merancang dan mengimplementasikan strategi adaptasi yang komprehensif. Pelatihan dan pembangunan kapasitas merupakan komponen penting dari upaya adaptasi yang efektif.

Kelima, isu keadilan dan inklusivitas perlu mendapat perhatian lebih. Strategi adaptasi harus memastikan bahwa kelompok-kelompok rentan, termasuk masyarakat

miskin, perempuan, dan komunitas adat, tidak tertinggal dan memiliki akses yang sama terhadap sumber daya adaptasi. Pendekatan yang tidak inklusif dapat memperburuk ketimpangan yang ada dan menciptakan ketidakadilan iklim (Oxfam Australia, 2025).

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kenaikan muka air laut merupakan ancaman nyata dan mendesak bagi wilayah pesisir Indonesia dan dunia. Dengan rata-rata kenaikan mencapai 4,6 mm per tahun di Indonesia, melebihi rata-rata global, dampaknya sudah dirasakan secara nyata oleh jutaan penduduk pesisir. Dampak yang terjadi tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan seperti abrasi pantai, banjir rob, dan intrusi air laut, tetapi juga merambah ke dimensi sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat pesisir, termasuk perpindahan penduduk, hilangnya mata pencaharian, dan tekanan psikologis.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa strategi adaptasi yang efektif memerlukan kombinasi pendekatan struktural, non-struktural, dan berbasis ekosistem yang disesuaikan dengan karakteristik lokal. Pendekatan berbasis ekosistem, khususnya restorasi mangrove, telah terbukti sangat efektif dalam memberikan perlindungan pesisir sekaligus manfaat tambahan berupa penyerapan karbon, peningkatan keanekaragaman hayati, dan dukungan terhadap mata pencaharian masyarakat. Namun, infrastruktur keras tetap diperlukan di area tertentu, terutama di perkotaan padat, dan paling efektif ketika diintegrasikan dengan pendekatan berbasis alam.

Keberhasilan adaptasi sangat ditentukan oleh beberapa faktor kunci: (1) partisipasi masyarakat yang bermakna dalam perencanaan dan implementasi; (2) dukungan kebijakan yang responsif dan terintegrasi di berbagai tingkat pemerintahan; (3) keberlanjutan pendanaan dan mobilisasi sumber daya; (4) koordinasi lintas sektor dan tingkat pemerintahan; (5) investasi dalam data, penelitian, dan sistem monitoring; dan (6) perhatian terhadap keadilan dan inklusivitas.

Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan yang masih perlu diatasi, termasuk keterbatasan pendanaan, koordinasi yang lemah, kesenjangan data, kapasitas teknis yang terbatas, dan isu keadilan sosial. Mengatasi tantangan-tantangan ini

memerlukan komitmen jangka panjang dari semua pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, masyarakat, sektor swasta, dan organisasi internasional.

Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah pusat dan daerah, masyarakat lokal, akademisi, sektor swasta, dan organisasi non-pemerintah menjadi kunci dalam membangun ketahanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim. Pendekatan yang terintegrasi, partisipatif, dan berbasis bukti ilmiah akan menjadi fondasi untuk adaptasi yang berhasil dan berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR REFERENSI

- Adaptation Fund. (2023, July 27). Fighting rising seas and sinking lands in Indonesia with adaptation resolve and ingenuity. <https://www.adaptation-fund.org/fighting-rising-seas-and-sinking-lands-in-indonesia-with-adaptation-resolve-and-ingenuity/>.
- Badola, R., Barthwal, S., & Hussain, S. A. (2012). Attitudes of local communities towards conservation of mangrove forests: A case study from the east coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 188-196.
- BNPB. (2019). Kajian risiko bencana Indonesia. *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*.
- BNPB. (2024). Laporan bencana hidrometeorologi wilayah pesisir Indonesia. *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*.
- California Coastal Commission. (2024). Sea level rise policy guidance: 2024 update. <https://documents.coastal.ca.gov/assets/slr/guidance/2024/2024AdoptedSLRPolicyGuidanceUpdate.pdf>.
- Communications Earth & Environment. (2025). Strategic mangrove restoration increases carbon stock capacity. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02401-2>.
- Gusri, Lailal, and Silvia Annur Annisa. (2025). Peran Edukasi Lingkungan Dalam Meningkatkan Kesadaran Adaptasi Dan Mitigasi Iklim. *Jurnal Media Akademik (JMA)* 3(8).
- Hamlington, B. D., Gardner, A. S., Ivins, E., Lenaerts, J. T. M., Reager, J. T., Trossman, D. S., ... & Landerer, F. W. (2024). Understanding of contemporary regional sea-level change and the implications for the future. *Reviews of Geophysics*, 58(3), e2019RG000672.
- Handoko, E. Y., & Ariani, R. (2020). Analisis kenaikan muka air laut Indonesia tahun 1993-2018 menggunakan data altimetri. *Geoid*, 15(1), 58-64.
- Hsiao, A. (2024). Sea level rise and urban adaptation in Jakarta. Stanford University. https://allanhsiao.com/files/Hsiao_jakarta.pdf.
- IPCC. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*.

- IUCN. (2024). Policy brief on sea level rise. https://iucn.org/sites/default/files/2024-11/iucn-policy-brief-on-sea-level-rise-september-2024_0.pdf.
- KLHK. (2020). Status lingkungan hidup Indonesia 2020. *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*.
- Krauss, K. W., Lovelock, C. E., McKee, K. L., López-Hoffman, L., Ewe, S. M., & Sousa, W. P. (2014). How mangrove forests adjust to rising sea level. *New Phytologist*, 202(1), 19-34.
- Kurniawan, T. A., Goh, K. C., Goh, H. H., Zhang, D., Jiang, M., Dai, W., ... & Meidiana, C. (2024). Building disaster resilience in Thousand Islands (Indonesia): Unlocking climate adaptation strategies to navigate sea level rise in coastal regions while safeguarding crop productivity and local biodiversity. *ACS ES&T Water*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.4c00099>.
- Marfai, M. A., & King, L. (2008). Coastal flood management in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 55(7), 1507-1518.
- Marfai, M. A., King, L., Sartohadi, J., Sudrajat, S., Budiani, S. R., & Yulianto, F. (2015). The impact of tidal flooding on a coastal community in Semarang, Indonesia. *The Environmentalist*, 28(3), 237-248.
- Mercy Corps. (2019). Enhancing climate resilience in Pekalongan: *Final report*.
- Nature-based Solutions Case Studies. (2024). Coastal mangrove restoration using a community ecosystem-based adaptation approach. <https://casestudies.naturebasedsolutionsinitiative.org/casestudy/coastal-mangrove-afforestation-using-a-community-ecosystem-based-adaptation-approach/>.
- Nicholls, R. J. (2010). Impacts of and responses to sea-level rise. In *Understanding sea-level rise and variability*, Wiley-Blackwell, pp. 17-51.
- NOAA. (2022). Global and regional sea level rise scenarios for the United States: Updated mean projections and extreme water level probabilities along U.S. coastlines. *NOAA Technical Report NOS 01*.
- Nurhidayah, L., Davies, P., & Alam, S. (2022). Responding to sea level rise: Challenges and opportunities to govern coastal adaptation strategies in Indonesia. *Maritime Studies*, 21, 339-352. <https://doi.org/10.1007/s40152-022-00274-1>
- Ocean & Climate Platform. (2023). Policy recommendations for coastal cities to adapt to sea level rise. SeaTies Initiative. <https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2023/11/Policy-Recommendations-for-Coastal-Cities-to-Adapt-to-Sea-Level-Rise--SEATIES.pdf>.
- Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., ... & Sebesvari, Z. (2022). Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. In H. O. Pörtner et al. (Eds.), *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, pp. 321-445. Cambridge University Press.
- Oxfam Australia. (2025, January). Impacts of rising sea levels on Indonesia's coastline. <https://www.oxfam.org.au/blog/indonesia-rising-sea-levels/>
- Pramudya, N. A., & Gusri, L. (2025). Strategi Adaptasi Dan Mitigasi Pembakaran

- Sampah Terbuka di Kenali Asam Bawah , Kota Jambi. *Jurnal Ilmiah Nusantara (JINU)*, 2(3), 933–941.
- Prayoga, P. (2025). Rising seas, rising stakes: Climate adaptation in Banyuwangi's coastal communities and its impact on Indonesia's resilience and ASEAN's security. *Jurnal Penelitian Politik*, 21(1), 73-86. <https://doi.org/10.14203/jpp.v21i1.1688>.
- Setiawan, K. T., Rosid, M. S., Manessa, M. D. M., Rimba, A. B., Adi, N. S., Winarso, G., ... & Supardjo, H. (2025). Shallow water reflectance modeling using visible wavelength remote sensing in Kepulauan Seribu of Jakarta, Indonesia: For a climate change mitigation and adaptation database. *Regional Studies in Marine Science*, 91, 104573.
- Setyawan, B., Marfai, M. A., & Hizbaron, D. R. (2020). Community-based coastal adaptation in Demak, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(3), 230-242.
- Spalding, M., Gómez, E., Adame, M. F., Lovelock, C. E., Worthington, T., Bryan-Brown, D. N., & Perry, A. L. (2023). Tackling the mangrove restoration challenge. *PLOS ONE*, 17(10), e0268582.
- Sweet, W. V., Hamlington, B. D., Kopp, R. E., Weaver, C. P., Barnard, P. L., Bekaert, D., ... & Zuzek, P. J. (2022). Global and regional sea level rise scenarios for the United States: Updated mean projections and extreme water level probabilities along U.S. coastlines. *NOAA Technical Report NOS 01*.
- Tay, C. W. J., Lindsey, E. O., Chin, S. T., McCaughey, J. W., Bekaert, D., Nguyen, M., ... & Hill, E. M. (2022). Sea-level rise from land subsidence in major coastal cities. *Nature Sustainability*, 5(12), 1049-1057.
- Temmerman, S., Horstman, E. M., Krauss, K. W., Mullarney, J. C., Pelckmans, I., & Schoutens, K. (2023). Marshes and mangroves as nature-based coastal storm buffers. *Annual Review of Marine Science*, 15, 95-118.
- Utomo, T. (2013). Dampak intrusi air laut terhadap kualitas air tanah di Kabupaten Pematang. *Jurnal Geografi*, 10(2), 123-134.
- Vinata, A. P., Nurpratama, M. I., & Wijaya, Y. J. (2023). Climate change and reconstruction of Indonesia's geographic basepoints: Reconfiguration of baselines and Indonesian Archipelagic Sea lanes. *Marine Policy*, 149, 105479.
- World Bank Climate Change Knowledge Portal. (2024). Indonesia - Sea level projections. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/indonesia/sea-level-projections>.
- World Economic Forum. (2024, March). Sea level rise: Everything you need to know. <https://www.weforum.org/stories/2025/03/rising-sea-levels-global-threat/>.