Tersedia online di: http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/JP
e-mail:jurnalpari@gmail.com
JURNAL PARI
Volume 11 Nomor 2 Desember 2025
p-ISSN: 2502-0730
e-ISSN : 2549-0133



SINTESIS KERENTANAN PESISIR PADA EKOREGION LAUT INDONESIA BERBASIS PAPARAN-SENSITIVITAS-KAPASITAS ADAPTIF (ESA/ESAC)

Ilfan Ridlo Suhelmi

Pusat Penyuluhan Kelautan dan Perikanan
Badan Penyuuhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan - KKP

e-mail : Ifan_ridlo@yahoo.com

Diterima tanggal: 20 Agustus 2025; diterima setelah perbaikan: 18 November 2025 ; Disetujui terbit: 15 Desember 2025

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki keragaman kondisi oseanografi-geologi serta tekanan sosial-ekonomi yang menghasilkan profil risiko kebencanaan pesisir yang tidak seragam antarwilayah. Kajian ini bertujuan menyintesis kerentanan pesisir pada ekoregion laut Indonesia sebagai dasar pengelolaan dan perencanaan ruang pesisir-laut yang peka risiko. Penelitian dilakukan menggunakan sintesis literatur sistematis dengan pendekatan kualitatif-deskriptif. Data dihimpun dari artikel jurnal ilmiah, laporan pemerintah, serta dokumen kebijakan periode 1990 – 2024 melalui penelusuran basis data dan repositori ilmiah serta portal resmi instansi terkait. Literatur yang terpilih diseleksi berdasarkan relevansinya terhadap kerangka *Exposure-Sensitivity-Adaptive Capacity* (ESA/ESAC) untuk menilai (i) paparan terhadap gempa, tsunami, kenaikan muka air laut, dan rob/banjir pesisir; (ii) sensitivitas fisik terkait geomorfologi dan karakter pantai; (iii) sensitivitas sosial yang tercermin dari kepadatan aktivitas serta ketergantungan ekonomi; dan (iv) kapasitas adaptif sebagaimana tersedia dalam sumber rujukan. Hasil sintesis menunjukkan bahwa 18 ekoregion laut dapat dirangkum ke dalam empat kelompok karakteristik, yaitu: menghadap Samudra Hindia; Selat Malaka-Natuna-Karimata; Laut Pedalaman; dan menghadap Samudra Pasifik. Ekoregion yang berhadapan dengan samudra terbuka cenderung memiliki kerentanan lebih tinggi akibat dominansi paparan gempa tektonik/megathrust dan tsunami, yang diperkuat oleh sensitivitas fisik pesisir terbuka serta sensitivitas sosial pada kawasan permukiman dan simpul ekonomi. Sebaliknya, pada ekoregion selat/pulau kecil dan sebagian Laut Pedalaman bagian barat, kerentanan relatif lebih dipengaruhi bahaya antropogenik, kenaikan muka air laut, dan/atau rob/banjir pesisir yang berinteraksi dengan tekanan sosial-ekonomi. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi informasi bahaya dan kerentanan ke dalam zonasi, kesiapsiagaan, dan paket adaptasi yang spesifik terhadap konteks ekoregion.

Kata kunci : Ekoregion laut; kerentanan pesisir; gempa bumi dan tsunami; kenaikan muka air laut; penataan ruang berbasis risiko.

ABSTRACT

Indonesia's archipelagic setting is marked by strong heterogeneity in oceanographic-geological conditions and socio-economic pressures, producing spatially uneven coastal disaster-risk profiles. This study synthesizes coastal vulnerability across Indonesia's marine to inform risk-sensitive coastal and marine spatial planning and management. A systemathic literature synthesis using a qualitative-descriptive approach was applied. Evidence was drawn from peer-reviewed journal articles, government recearch reports, and policy documents published between 1990 and 2024, retrieved from scientific databases and repositories as well as official portals of relevant agencies. The selected literature was screened for alignment with the Exposure-Sensitivity-Adaptive Capacity (ESA/ESAC) framework to assess: (i) exposure to earthquakes, tsunamis, and sea-level rise/coastal flooding; (ii) physical sensitivity associated with coastal geomorphology and shoreline characteristics; (iii) social sensitivity reflected by the density of human activities and economic dependence; and (iv) adaptive capacity as reported in the literature. The synthesis indicates that the 18 marine ecoregions can be consolidated into four characteristic groups: the Indian Ocean margin; the Malacca Strait-Natuna-Karimata system; inland (inter-island) seas; and

Korespondensi penul is:
Jl. Medan Merdeka Timur No. 16, Jakarta Pusat
email : triyu.mail@gmail.com

Copyright © 2025, Jurnal Pari

the Pacific-facing margin. Ecoregion directly exposed to open-ocean settings tend to exhibit higher vulnerability driven by dominant megathrust earthquake and tsunami exposure, intensified by the physical sensitivity of open coasts and elevated social sensitivity in settlement and economic nodes. In contrast, strait/small island settings and parts of western island seas are more strongly shaped by antropogenic hazards and/or tidal flooding and sea-level rise, interacting with persistent socio-economic pressures. These findings highlight the importance of integrating hazard and vulnerability information into zoning decisions, preparedness measures, and ecoregion-specific adaptation packages.

Key words: Marine ecoregion; coastal vulnerability; earthquakes and tsunami; sea-level rise; risk-sensitive spatial planning.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki ruang laut yang dominan dan sistem pesisir-laut yang sangat beragam, sehingga pendekatan pengelolaan akan kurang efektif apabila disamaratakan antarwilayah. Variasi oseanografi, geomorfologi, ekologi, serta dinamika sosial-ekonomi menyebabkan tekanan lingkungan dan risiko kebencanaan pesisir juga berbeda-beda. Dalam kerangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, ekoregion diposisikan sebagai unit perwilayahan yang merepresentasikan kesamaan karakteristik ekologi serta keterkaitan manusia-lingkungan, sehingga relevan sebagai basis perencanaan dan pengambilan keputusan lintas sektor (UU Nomor 32 Tahun 2009).

Pada ekoregion laut, penentuan batas wilayah mempertimbangkan keserupaan karakteristik biofisik dan proses oseanografi-ekologi, misalnya morfologi dasar laut dan dinamika massa air, yang mempengaruhi struktur ekosistem dan produktivitas. Secara konseptual, pendekatan perwilayahan ini sejalan dengan prinsip pengelolaan berbasis ekostem (*ecosystem-based management*), karena menautkan batas ruang kelola dengan fungsi ekologi, bukan semata-mata batas administratif. Dalam konteks perikanan, kerangka berbasis ekosistem seperti penataan ruang dan instrumen kebijakan dipandang penting untuk mencegah eksploitasi berlebih serta meningkatkan keberlanjutan melalui pengelolaan yang mempertimbangkan keterkaitan habitat, spesies, dan aktivitas manusia (Muawanah dkk., 2018).

Di Indonesia, Peta dan Deskripsi Ekoregion Laut yang disusun oleh Kementerian Lingkungan Hidup mengidentifikasi 18 ekoregion laut pada skala nasional (Rosalina dkk., 2013) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pembagian ekoregion tersebut berkaitan langsung dengan kebutuhan perencanaan ruang laut dan pengendalian pemanfaatan lintas kepentingan, seperti perikanan, pelayaran, energi, konservasi, dan pariwisata. Instrumen perencanaan zonasi, termasuk Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) dan rencana Zonasi Kawasan Antarwilayah (RZKAW), secara formal menjadi acuan pengaturan struktur dan pola ruang kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil (Wen dkk., 2022). Dengan demikian, ekoregion laut dapat berperan sebagai "kerangka ekologis" untuk membantu menyelaraskan tujuan konservasi, produksi, dan perlindungan ekosistem dalam proses penataan ruang (Hutubessy dan Mosse, 2015).

Namun, efektivitas pengelolaan pesisir-laut berbasis ekoregion akan meningkat apabila dilengkapi pemahaman mengenai kerentanan kebencanaan pada masing-masing ekoregion. Indonesia berada pada jalur tektonik aktif (*Pacific Ring of Fire*) yang memicu multi-bahaya seperti gempa bumi dan tsunami, sementara perubahan iklim memperkuat tekanan pesisir melalui kenaikan muka laut, rob/banjir pesisir, dan perubahan intensitas kejadian ekstrem (Fakhriati, 2023; IPCC, 2022). Dalam perspektif pengurangan



Gambar 1. Peta 18 Ekoregion Laut Indonesia.

Copyright © 2025, Jurnal Pari

risiko bencana, risiko merupakan hasil interaksi antara bahaya (*hazard*), paparan (*exposure*), dan kerentanan (*vulnerability*). Karena itu, pemetaan dan sintesis kerentanan menjadi langkah dasar untuk memperkuat perencanaan serta mitigasi lintas wilayah (UNDRR, 2019; 2022).

Kajian kerentanan pesisir telah banyak dilakukan pada beragam skala. Namun, sintesis kerentanan yang secara eksplisit menggunakan pembagian ekoregion laut Indonesia sebagai unit pembanding pada skala nasional masih diperlukan, agar informasi kerentanan dapat langsung ditautkan dengan kebutuhan perencanaan ruang dan pengelolaan berbasis ekosistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendeskripsikan dan membandingkan karakteristik kerentanan pesisir pada ekoregion laut Indonesia berdasarkan parameter fisik dan sosial-ekoomi yang relevan terhadap ancaman kebencanaan pesisir, sekaligus menyajikan dasar pengelompokan karakteristik kerentanan antar-ekoregion untuk mendukung prioritisasi pengelolaan.

Kerangka *Exposure – Sensitivity – Adaptive Capacity* (ESA/ESAC) digunakan untuk menganalisis kerentanan wilayah pesisir, sejalan dengan literatur risiko bencana dan perubahan iklim yang memandang kerentanan sebagai kombinasi keterpaparan terhadap bahaya, tingkat sensitivitas sistem, serta kapasitas adaptif untuk merespons dan pulih (Weis dkk., 2016). Dalam kerangka ini, *Exposure* menggambarkan tingkat paparan suatu wilayah terhadap ancaman bencana seperti gempa bumi, tsunami, dan kenaikan muka air laut/banjir pesisir. *Sensitivity* merefleksikan tingkat kepekaan biofisik dan sosial terhadap dampak ancaman tersebut, termasuk karakteristik geomorfologi pantai dan kepadatan penduduk pesisir. *Adaptive capacity* menunjukkan kemampuan sistem sosial – ekologi untuk mengurangi dampak, beradaptasi, dan memulihkan diri setelah bencana (Sano dkk., 2015). Pendekatan ini memungkinkan perbandingan yang lebih sistematis antar-ekoregion, sekaligus menyediakan landasan konseptual untuk mengaitkan hasil kajian dengan kebutuhan perencanaan dan pengelolaan pesisir-laut pada skala nasional.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan sintesis literatur sistematis dengan pendekatan kualitatif-deskriptif untuk menganalisis kerentanan pesisir pada ekoregion laut Indonesia. Data dihimpun dari artikel jurnal ilmiah, laporan penelitian pemerintah, dan dokumen kebijakan pada periode 1990–2024. Penelusuran dilakukan melalui mesin telusur/basis data ilmiah seperti Google Scholar dan pengindeks, repositori nasional melalui GARUDA/SINTA, serta portal resmi instansi terkait, KLHK/KLH, KKP, BIG, BMKG, BNPB. Pencarian menggunakan kata kunci bahasa Indonesia dan Inggris yang berkaitan dengan kerentanan pesisir, kebencanaan pesisir/laut, serta ekoregion laut.

Proses sintesis dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu identifikasi, penyaringan (*screening*), dan inklusi. Pada tahap identifikasi, seluruh dokumen hasil penelusuran dikompilasi dan duplikasi dihapus. Pada tahap penyaringan, judul dan abstrak/ikhtisar ditelaah untuk memastikan relevansi terhadap ekoregion laut Indonesia dan isu kerentanan/bahaya pesisir. Tahap inklusi dilakukan melalui telaah isi penuh (*full-text*) untuk memastikan sumber memuat informasi yang dapat dipetakan ke dalam kerangka *Exposure – Sensitivity – Adaptive Capacity* (ESA/ESAC).

Literatur yang terinklusi kemudian diseleksi dan dibedakan kesesuaiannya dengan kerangka ESA/ESAC. Tiga dimensi utama yang dianalisis meliputi: (1) paparan (*exposure*) terhadap ancaman gempa bumi, tsunami, dan kenaikan muka air laut/banjir pesisir; (2) sensitivitas (*sensitivity*) yang mencakup karakteristik geografis/geomorfologi pantai serta kepadatan aktivitas manusia; serta (3) kapasitas adaptif (*adaptive capacity*) yang diwakili indikator sosial-ekonomi wilayah pesisir sebagaimana tersedia dalam literatur dan dokumen kebijakan. Apabila suatu sumber tidak memuat seluruh dimensi ESA/ESAC, informasi yang tersedia tetap dicatat, namun interpretasi dilakukan secara hati-hati dengan menekankan konsistensi antar-sumber dan konteks wilayah yang dibahas.

Setiap ekoregion dievaluasi secara kualitatif berdasarkan ketiga dimensi tersebut, kemudian dikategorikan ke dalam tingkat kerentanan tinggi, sedang, atau rendah. Kategori tinggi diberikan ketika paparan dan sensitivitas relatif tinggi tidak diimbangi oleh kapasitas adaptif yang memadai; kategori rendah ditetapkan ketika paparan dan/atau sensitivitas relatif rendah, dan/atau kapasitas adaptif relatif lebih baik; sedangkan kategori sedang digunakan untuk konfigurasi yang bersifat campuran. Selanjutnya, ekoregion dengan konfigurasi kerentanan yang serupa dikelompokkan untuk memperoleh pola karakteristik kerentanan pada skala nasional, sesuai ketersediaan literatur dan dokumen wilayah terkait.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa kerentanan pada wilayah pesisir terbentuk melalui interaksi paparan, sensitivitas, dan kapasitas adaptif dalam kerangka ESA/ESAC (Estoque dkk., 2022). Risiko bencana cenderung meningkat ketika tekanan pembangunan, perubahan iklim, dan tata kelola yang kurang efektif berinteraksi pada pesisir padat penduduk maupun pulau-pulau kecil. Dalam konteks pesisir Indonesia, sintesis mengindikasikan dua penggerak risiko yang dominan. Pertama, bahaya geologi (gempa bumi dan tsunami) yang kuat pada zona subduksi dan busur-busur aktif seperti Busur Vulkanik Lingkar Pacifik (*Circum-Pacific Volcanic Mobile Belt*) dan Busur

Copyright © 2025, Jurnal Pari

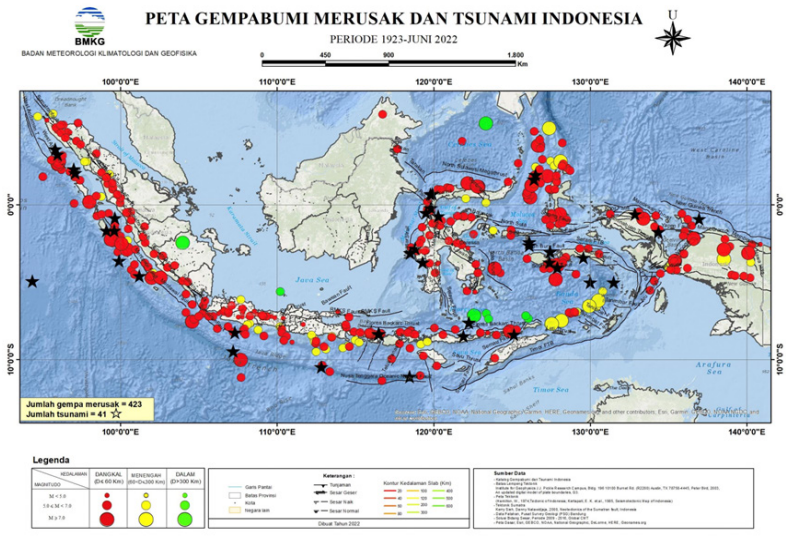
Vulkanik Trans Asiatik (*Trans-Asiatic Volcanic Belt*), sejalan dengan fakta bahwa sebagian besar aktivitas vulkanik dunia terkonsentrasi di kawasan ini. Kondisi tersebut tercermin dari pembagian zona vulkanik di Indonesia, yaitu Zona Pegunungan Alpin (Pegunungan Sunda), Zona Asiatik Timur (*Minahasa-Sangir-Ragay*), dan Zona Circum Australian (Halmahera-Ternate). Bukti paparan geologi juga terlihat dari sebaran kejadian jejak gempa bumi dan tsunami yang terdokumentasi oleh BMKG (Kriswinarso dkk., 2024; Pandadaran, dkk., 2024) seperti tampak pada Gambar 2. Kedua, bahaya terkait iklim, khususnya kenaikan muka air laut (KML), rob/banjir pesisir, erosi, dan salinisasi, yang meningkat pada pesisir dataran rendah dan kawasan urban pesisir.

Berdasarkan pembagian 18 ekoregion laut dan deskripsi toponimi, sintesis memperlihatkan bahwa profil kerentanan tidak seragam, tetapi membentuk pola pengelompokan yang konsisten dengan kondisi oseanografi-geologi dan tekanan sosial-ekonomi masing-masing kawasan. Pola tersebut merangkum 18 ekoregion ke dalam empat kelompok karakteristik kerentanan, yaitu: (i) ekoregion laut yang berhadapan dengan Samudra Hindia, (ii) ekoregion Selat Malaka-Natuna-Karimata, (iii) ekoregion laut yang berada di dalam kepulauan Indonesia (Laut Pedalaman), serta (iv) ekoregion laut yang menghadap Samudra Pasifik.

Kelompok 1 – Ekoregion Samudra Hindia (Ekoregion 1, 2, 9) menunjukkan kerentanan tinggi karena paparan terhadap gempa megathrust dan tsunami yang terkait dengan sistem subduksi pada sisi samudra terbuka. Bukti kejadian tsunami historis pada kelompok ini terdokumentasi kuat dalam katalog kebencanaan nasional, sehingga memperkuat penetapan dimensi paparan. Peristiwa tsunami Aceh 26 Desember 2004 menjadi contoh besarnya dampak ketika sumber gempa berada pada zona subduksi aktif. Kajian tsunami probabilistik terbaru untuk pesisir selatan Jawa juga menunjukkan ancaman tsunami masih signifikan pada kawasan permukiman dan pariwisata pesisir, sehingga basis bukti bahaya untuk kelompok ini relatif kuat walaupun penilaian dalam studi ini bersifat kualitatif (Windupranata dkk., 2025).

Dari sisi sensitivitas fisik, kombinasi pesisir samudra yang terbuka, segmen pantai landai/berteluk yang berpotensi meningkatkan luasan genangan, serta variasi bentang lahan, (termasuk tebing pada beberapa lokasi) menghasilkan respons pantai yang beragam. Namun secara umum, dominansi paparan tsunami menempatkn kelompok ini pada kelas kerentanan yang lebih tinggi. Pemetaan kerentanan tsunami menunjukkan bahwa pantai landai/berteluk, sempit, dan minim vegetasi pelindung cenderung lebih rentan, terutama bila episentrum gempa dekat pantai dan mekanisme patahan mendukung pembangkitan tsunami (Budiono dkk., 2003; Hantoro, 2005). Sensitivitas sosial meningkat pada kawasan pemukiman, simpul ekonomi, dan pariwisata pesisir, antara lain karena terdapat ibu kota provinsi pada pesisir barat Sumatra seperti Padang dan Bengkulu, sementara kapasitas adaptif yang tercermin dari kesiapsiagaan, tata ruang berbasis risiko, dan pengurangan risiko berbasis komunitas tidak merata antar lokasi (Wibowo dan Supriatna, 2011).

Kelompok 2 – Ekoregion Selat Malaka-Natuna-Karimata (Ekoregion 3, 4, 5) menunjukkan kerentanan yang terutama dipicu oleh bahaya antropogenik serta bahaya terkait iklim. Sebagai salah satu jalur perdagangan internasional paling strategis di Asia Tenggara, intensitas lalu lintas kapal yang tinggi, hingga 141.000 kapal pada tahun 2020 dan menjadikannya rute terpendek untuk perdagangan



Gambar 2. Peta Gempa Bumi Merusak dan Tsunami Indonesia Periode 1923 – Juni 2022 (Kriswinarso dkk., 2024).

Copyright © 2025, Jurnal Pari

Asia Timur, memperkuat sensitivitas sosial-ekonomi karena gangguan pelayaran berpotensi menimbulkan dampak lintas batas terhadap rantai pasok, ekonomi, dan stabilitas kawasan (Dastjerdi and Nasrabady, 2021; Sari dkk., 2024). Dalam konteks ini, kerentanan tidak terutama didorong oleh tsunami, melainkan oleh tingginya paparan aktivitas dan besarnya konsekuensi insiden, terutama risiko terorisme maritim, konflik perbatasan, dan pencemaran dari tumpahan minyak, yang menuntut pengelolaan risiko serta kesiapsiagaan tanggap darurat yang kuat (Rashid, 2024).

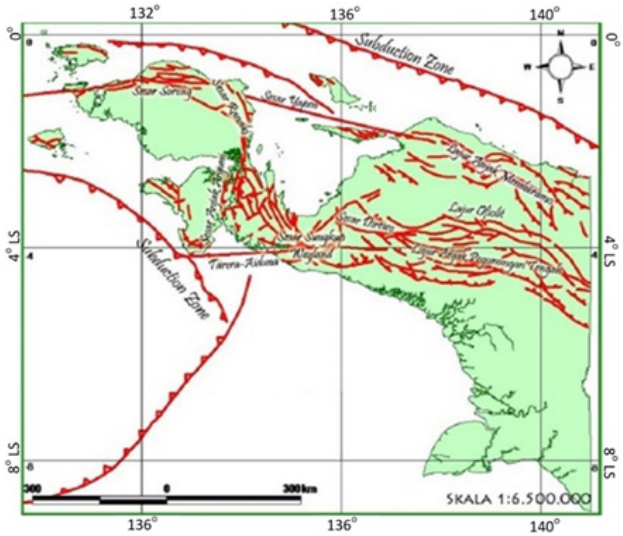
Di sisi lain, karakter pulau kecil/pulau terluar dan pesisir terbuka menjadikan paparan rob/banjir pesisir, KML, dan cuaca ekstrem lebih menonjol. Ssensitivitas sosial meningkat akibat keterpencilan, keterbatasan akses layanan untuk masyarakat, dan ketergantungan ekonomi lokal. Pelling dan Uitto (2001) menekankan bahwa ukuran pulau yang kecil, keterbatasan sumber daya daratan, serta biaya dan waktu akses yang tinggi dapat membatasi kapasitas mitigasi dan adaptasi pulau-pulau kecil dan terluar ketika risiko iklim meningkat. Selain itu, pada perairan dangkal dan pesisir dataran rendah seperti Selat Karimata, dinamika garis pantai (abrasi/akresi) merupakn dimensi sensitivitas fisik yang relevan dan telah terdokumentasi pada kajian perubahan garis pantai di pesisir barat Kalimantan. Hal ini konsisten dengan konfigurasi kerentanan yang umumnya berada pada rentang sedang hingga tinggi (Dede dkk., 2023).

Kelompok 3 – Laut Pedalaman (Ekoregion 6, 8, 10, 12 – 15, 18) meliputi ekoregion laut yang berada pada Laut Pedalaman. Dari sisi geomorfologi dan kedalaman, kelompok ini dapat dibaca sebagai dua konteks besar: (a) perairan bagian barat Indonesia yang relatif dangkal, dan (b) perairan baian timur Indonesia yang umumnya lebih dalam dan terbentuk pada sistem geologi yang lebih kompleks. Pada kawasan pedalaman barat yang relatif dangkal dan lebih stabil secara tektonik, paparan gempa-tsunami umumnya lebih rendah. Namun, kerentanan tetap dapat tinggi karena pesisir dataran rendah yang mudah tergenang serta tingginya aktivitas manusia pada kawasan pesisir (Hantoro, 2005). Literatur menegaskan bahwa rob/banjir pesisir di pantai utara Jawa cenderung meluas seiring kenaikan muka air laut dan dapat diperparah oleh amblesan tanah. Kondisi ini memicu banjir pesisir kronis dan meningkatkan sensitivitas sosial akibat kepadatan penduduk, serta konsentrasi infrastruktur dan layanan publik (Suhelmi dkk., 2011; Sagala dkk., 2024). Dengan demikian, meskipun paparan tsunami tidak dominan, kombinasi paparan iklim dan sensitivitas sosial-ekonomi dapat menghasilkan kerentanan yang tinggi (Wibowo dan Supriatna, 2011).

Sebaliknya, pada Laut Pedalaman bagian timur yang lebih dalam dan terbentuk sistem geologi yang kompleks, paparan gempa-tsunami kembali menonjol karena dinamika busur dan struktur tektonik aktif. Sistem Busur Banda (Banda Arc), misalnya, ditandai oleh rangkaian kepulauan memanjang termasuk Kepulauan Gorong, Kepulauan Watubela, Kepulauan Tayandu dan Kepulauan Tanimbar dengan dominasi pulau vulkanik (Hantoro, 2005). Pada Papua, pembentukan wilayah juga dipengaruhi tumbukan Lempeng Benua Australia yang bergerak ke arah Utara dan Lempeng Samudera Pasifik yang bergerak ke arah Barat dengan delineasi patahan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 (Sabtaji, 2010).

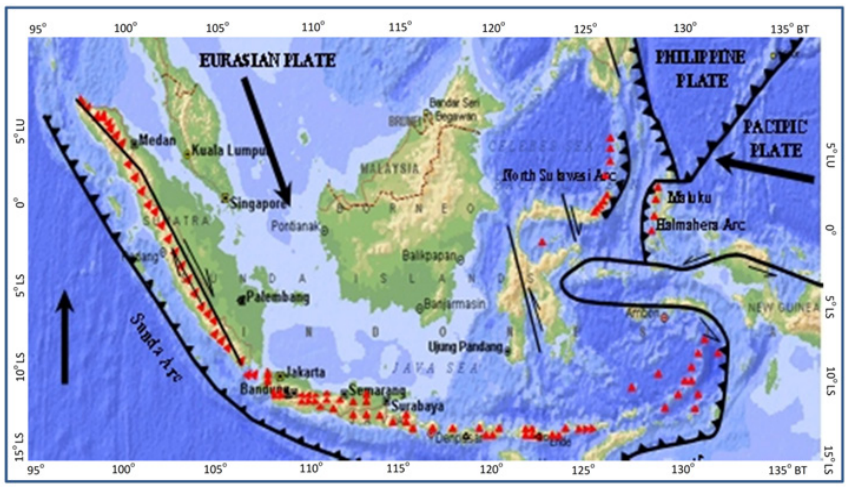
Kompleksitas struktur regional ini menjelaskan mengapa Laut Pedalaman timur memiliki konfigurasi tektonik yang bersifat tsunamigenik dan dapat mempertahankan kerentanan pada kelas tinggi (Anugrah dkk., 2025). Pada Selat Makassar, literatur juga menunjukkan kemungkinan tsunami non-tektonik, misalnya dipicu longsoran bawah laut, yang memperkaya pembacaan paparan untuk perairan pedalaman (Dignan dkk., 2023). Selain itu, teluk semi-tertutup dan kawasan muara/delta seperti Teluk Tomini cenderung memiliki konfigurasi campuran (multi-bahaya pesisir dan sensitivitas sedimen), sehingga tingkat kerentanan sering berada pada kategori sedang bergantung pada intensitas aktivitas pesisir dan kapasitas adaptif lokal (Djuraini dkk., 2025). Untuk kawasan Arafura - Timor yang dipengaruhi perubahan iklim regional dan tekanan sosial-ekologi, penilaian kerentanan iklim regional menunjukkan risiko rob/banjir pesisir, KML, erosi, serta gangguan ekosistem pesisir dapat meningkat ketika kapasitas layanan masyarakat dan akses logistik terbatas (Johnson dkk., 2021).

Kelompok 4 – Menghadap Samudra Pasifik (Ekoregion 7, 11, 16, 17) menunjukkan kerentanan tinggi karena paparan gempa-tsunami yang kuat, dipengaruhi oleh zona konvergensi, sesar aktif, pegunungan bawah laut, serta konfigurasi busur.



Gambar 3. Busur Banda dan Delineasi Patahan di Pulau Papua (Sabtaji, 2010).

Copyright © 2025, Jurnal Pari



Gambar 4. Busur Halmahera (Halmahera Arc) (Katili, 1973).

Secara fisiografi, Laut Sulawesi yang terletak di tepi barat Samudra Pasifik, dibatasi oleh Kepulauan Sulu dan Mindanao di utara, rangkaian Kepulauan Sangihe di timur, Sulawesi di selatan, dan Kalimantan Barat di barat. Cekungan ini terbentuk sebagai bagian dari lempeng samudra purba selama periode Eosen Tengah, sekitar 47-42 juta tahun lalu, melalui proses penyebaran dasar laut (*seafloor spreading*) di belakang zona subduksi yang mengakomodasi pergerakan utara Lempeng Samudra Hindia (Nichols dan Hall, 1999). Ekspedisi INDEX SATAL yang diselenggarakan oleh P3SDLP BalitbangKP dan NOAA pada 2010 juga mengidentifikasi gunung berapi raksasa bawah laut dengan ketinggian lebih dari 3.000 meter di wilayah ini.

Zheng dkk. (2022) dan Ningrum dkk. (2024) menegaskan potensi bahaya gempa dan tsunami pada zona subduksi Sulawesi Utara, serta karakter bahaya gempa di Halmahera yang terkait busur Halmahera (*Halmahera Arc*) (Gambar 4). Bukti paparan tektonik di utara Papua juga didukung oleh studi episentrum gempa besar Biak dan keterkaitannya dengan kerangka tektonik regional, yang memperkuat rasionalisasi paparan gempa-tsunami pada pesisir terbuka di bagian ini (Arimuko dan Sianipar, 2021). Dengan demikian, pertemuan lempeng, sesar, dan gunung bawah laut menjadi faktor yang memperkuat paparan tsunami pada pesisir utara Sulawesi (Nichols dan Hall, 1999; Budiono dkk., 2003).

Meski demikian, intensitas kerentanan tidak selalu seragam dalam kelompok ini. Teluk Cendrawasih yang relatif terlindung menunjukkan konfigurasi yang lebih campuran. Geometri teluk dapat menurunkan paparan langsung dibanding pesisir terbuka, sehingga sensitivitas fisik dapat bervariasi antarsegmen teluk (misalnya dipengaruhi bentuk pantai, kedalaman perairan, dan karakter sedimen), meskipun wilayah ini tetap berada dalam pengaruh struktur aktif Papua dan kapasitas adaptif yang tidak merata (Loinenak dkk., 2015). Dengan demikian, sintesis menegaskan bahwa pada kelompok Samudra Pasifik, gempa-tsunami tetap menjadi ancaman utama, tetap tingkat kerentanan dapat tersegmentasi oleh perbedaan fisiografi dan variasi kapasitas adaptif lokal.

Ringkasan kerentanan 18 Ekoregion Laut di Indonesia dan pengelompokannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Kerentanan 18 Ekoregion Laut dan Pengelompokannya di Indonesia

Eko region	Wilayah Ekoregion	Kelom-pok	Paparan Utama	Sensitivitas Fisik	Sensitivitas Sosial	Tingkat Keren-tanan	Referensi Kunci
1	Samudra Hindia barat Sumatra	Samudra Hindia	Gempa–tsunami (subduksi Sunda)	Pesisir terbuka; segmen landai/ berteluk berpo-tensi inundasi	Permukiman/kota pesisir pada be-berapa segmen	Tinggi	Kriswi-narso dkk. (2024)
2	Samudra Hindia se-latan Jawa	Samudra Hindia	Gempa–tsunami	Pesisir samudra terbuka; kombina-si tebing–dataran	Aktivitas pesisir tinggi di sejumlah kawasan	Tinggi	Windupra-nata dkk. (2025)
3	Selat Malaka	Selat Malaka-Natuna-Karimata	Antropogenik (pelayaran padat, pencemaran, keamanan)	Selat dangkal; sensitif terhadap tumpahan/insiden	Ketergantungan ekonomi tinggi pada pelayaran/ pelabuhan; lintas negara	Tinggi	Rashid (2024)

Copyright © 2025, Jurnal Pari

lanjutan Tabel 1. Ringkasan Kerentanan 18 Ekoregion Laut dan Pengelompokannya di Indonesia

Eko region	Wilayah Ekoregion	Kelompok	Paparan Utama	Sensitivitas Fisik	Sensitivitas Sosial	Tingkat Kerentanan	Referensi Kunci
4	Laut Natuna	Selat Malaka-Natuna-Karimata	Rob/banjir pesisir, KML, dan cuaca ekstrem; tekanan pemanfaatan pulau terluar	Pulau kecil/pesisir terbuka; sensitif terhadap perubahan muka air laut	Keterpencilan; ketergantungan perikanan; kapasitas adaptif bervariasi	Sedang–Tinggi	Harahap dkk. (2025)
5	Selat Karimata	Selat Malaka-Natuna-Karimata	Rob/banjir pesisir dan KML	Perairan dangkal; pesisir cenderung dataran rendah pada sejumlah segmen	Aktivitas pelayaran/pesisir regional	Sedang	Dede dkk. (2023)
6	Laut Jawa	Laut Pedalaman (barat)	Rob/banjir pesisir dan KML (sering diperburuk amblesan tanah)	Pantai utara Jawa dataran rendah; mudah tergenang	Kepadatan penduduk dan infrastruktur sangat tinggi	Tinggi	Sagala dkk. (2024)
7	Laut Sulawesi	Menghadap Samudra Pasifik	Gempa–tsunami	Cekungan/konvergensi; sesar aktif; pesisir terbuka	Aktivitas pesisir dan kepadatan pada beberapa lokasi	Tinggi	Zheng dkk. (2022)
8	Selat Makassar	Laut Pedalaman (timur)	Tsunami (termasuk tsunami longsoran bawah laut) dan tektonik regional	Selat/cekungan; potensi longsoran bawah laut	Jalur pelayaran dan simpul ekonomi	Sedang	Dignan dkk. (2023)
9	Bali dan Nusa Tenggara	Samudra Hindia	Gempa–tsunami (± KML lokal pada pulau kecil)	Pulau-pulau; pantai terbuka dan selat sempit	Pulau kecil: keterbatasan layanan/akses	Tinggi	Hastuti dkk. (2022)
10	Teluk Tomini	Laut Pedalaman (timur)	Multi-bahaya pesisir (gelombang/banjir pesisir lokal; tektonik regional pada area tertentu)	Teluk semi-tertutup; sensitivitas muara/delta dan sedimen	Aktivitas pesisir–perikanan; kapasitas adaptif bervariasi	Sedang	Djuraini dkk. (2025)
11	Laut Halmahera	Menghadap Samudra Pasifik	Gempa–tsunami Gempa–tsunami (tektonik kompleks Banda–Seram)	Busur Halmahera; aktivitas tektonik/vulkanik	Permukiman pesisir; keterbatasan respons pada sebagian wilayah	Tinggi	Ningrum dkk. (2024)
12	Laut Banda (timur Sulawesi)	Laut Pedalaman (timur)	Gempa–tsunami	Laut dalam; busur Banda; banyak sumber gempa/tsunami	Keterpencilan; sensitivitas ekosistem dan aktivitas pesisir tertentu	Tinggi	Anugrah dkk. (2025)
13	Laut Banda (selatan Sulawesi)	Laut Pedalaman (timur)	Gempa–tsunami	Laut dalam/tepi; sumber tektonik regional	Aktivitas pesisir dan perikanan; kapasitas adaptif bervariasi	Tinggi	Anugrah dkk. (2025)

Copyright © 2025, Jurnal Pari

lanjutan Tabel 1. Ringkasan Kerentanan 18 Ekoregion Laut dan Pengelompokannya di Indonesia

Eko region	Wilayah Ekoregion	Kelom-pok	Paparan Utama	Sensitivitas Fisik	Sensitivitas Sosial	Tingkat Keren-tanan	Referensi Kunci
14	Laut Seram & Teluk Bintuni	Laut Pedala-man (timur)	Gempa–tsunami	Tektonik Seram kompleks; sensi-tivitas teluk/selat lokal	Aktivitas pesisir dan perikanan; kapasitas adaptif bervariasi	Tinggi	Anugrah dkk. (2025)
15	Laut Banda	Laut Pedala-man (timur)	Gempa–tsunami	Laut dalam; struktur tektonik kompleks	Banyak lokasi ter-pencil; kapasitas layanan masyara-kat bervariasi	Tinggi	Anugrah dkk. (2025)
16	Samudra Pasifik utara Papua	Laut Pedala-man (timur)	Gempa–tsunami (mikro-lempeng Pasifik barat; sumber Biak, dkk.)	Pesisir terbuka Pasifik (paparan tinggi)	Wilayah terpencil; sensitivitas eko-sistem tinggi	Tinggi	Arimuko dan Sian-ipar (2021)
17	Teluk Cen-drawasih	Meng-hadap Samudra Pasifik	Gempa dan potensi tsunami lokal	Teluk relatif ter-lindung, namun dipengaruhi struk-tur aktif Papua	Keterpencilan dan keterbatasan lay-anan masyarakat pada sebagian wilayah	Sedang	Loinenak dkk. (2015)
18	Laut Arafura	Meng-hadap Samudra Pasifik Laut Pedala-man (timur)	KML/iklim dan tekanan sosial-ekologi; paparan geologi regional	Pesisir bervariasi; dataran rendah tertentu sensitif	Banyak wilayah terpencil; kapa-sitas adaptif bervariasi Permukiman tersebar; kapa-sitas respons bervariasi	Sedang–Tinggi	Johnson dkk. (2021)

Secara kebijakan, sintesis ini mengindikasikan dua prioritas intervensi yang berjalan paralel, yaitu (i) mitigasi gempa-tsunami yang menuntut penguatan tata ruang berbasis bahaya, kesiapsiagaan, dan sistem respons pada ekoregion yang berhadapan samudra terbuka maupun sistem tektonik aktif (Kelompok Samudra Hindia dan Menghadap Samudra Pasifik, termasuk Banda-Seram pada Laut Pedalaman), serta (ii) adaptasi rob/banjir pesisir dan kenaikan muka air laut (KML) melalui kombinasi solusi struktural dan non-struktural serta penguatan kapasitas adaptif pada pesisir dataran rendah dan pulau kecil (terutama Laut Jawa, serta Natuna-Karimata-Arafura). Pada saat yang sama, Selat Malaka menunjukkan dimensi kerentanan yang khas karena dominasi bahaya antropogenik terkait pelayaran, sehingga memerlukan instrumen manajemen risiko lintas sektor dan lintas batas. Dengan pembacaan berbasis ekoregion, prioritas pengelolaan ruang pesisir-laut dapat ditetapkan secara lebih terarah, yaitu memilih paket intervensi yang sesuai dengan bahaya dominan dan sensitivitas setempat, daripada menerapkan pendekatan seragam untuk seluruh wilayah Indonesia.

Berdasarkan konfigurasi kerentanan pada Tabel 1, implikasi pengelolaan diringkas ke dalam empat kelompok ekoregion untuk memudahkan penentuan prioritas mitigasi-adaptasi, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Secara konseptual, Tabel 2 menegaskan bahwa produk kebijakan yang paling menentukan bukan sekadar dokumen tunggal, melainkan paket instrumen yang saling melengkapi: (1) penataan ruang berbasis risiko (RZWP3K/RTRW/RDTR dalam rezim penataan ruang dan pengelolaan pesisir; (ii) kerangka Pengurangan Risiko Bencana (PRB) nasional-daerah (Rencana Induk Penanganan Bencana, RIPB dan rencana turunan), dan (iii) sistem informasi serta peringatan dini (InaRISK dan InaTEWS). Paket ini membantu memastikan keputusan tata ruang, investasi infrastruktur, dan kesiapsiagaan didasarkan pada bukti. Dengan demikian, hasil sintesis kerentanan pada Tabel 1 dapat diterjemahkan menjadi prioritas program yang lebih tajam: penguatan peringatan dini-evakuasi untuk kelompok gempa-tsunami, kontijensi tumpahan minyak dan keselamatan pelayaran untuk kelompok dominasi bahaya antropogenik, serta adaptasi rob/banjir pesisir dan KML untuk kelompok pesisir dataran rendah, tanpa kehilangan konsistensi dengan mandat kebijakan nasional.

Copyright © 2025, Jurnal Pari

Tabel 2. Implikasi pengelolaan kelompok ekoregion berdasarkan risiko dominan

Kelompok ekoregion	Fokus risiko dominan	Aksi prioritas pengelolaan	Instrumen/produk kebijakan yang relevan	Referensi kunci (kebijakan/aksi)
Samudra Hindia	Gempa *megathrust*–tsunami (paparan sangat tinggi); sensitivitas fisik pada pesisir terbuka/landai di segmen tertentu; sensitivitas sosial tinggi di kawasan permukiman–pariwisata	1. Integrasi peta bahaya/risiko tsunami ke penataan ruang pesisir (*setback*, zona evakuasi, pengendalian intensitas pemanfaatan). 2. Penguatan InaTEWS dan SOP peringatan dini–evakuasi (sirene, rute, latihan berkala). 3. Standar bangunan dan infrastruktur kritis tahan gempa; rencana kontinjensi tsunami berbasis komunitas.	- RZWP3K/RTRW/RDTR (zonasi dan pengendalian pemanfaatan ruang pesisir–laut). - Rencana Induk Penanganan Bencana (RIPB) 2020–2044 dan turunan rencana Pengurangan Risiko Bencana (PRB)/penanggulangan bencana (prioritas nasional). - InaRISK (basis data risiko untuk perencanaan PRB). - SNI ketahanan gempa untuk bangunan/gedung dan infrastruktur.	- Dasar penataan ruang & zonasi pesisir: UU 27/2007 jo. UU 1/2014. - Regulasi penyelenggaraan penataan ruang (termasuk ruang laut): PP 21/2021. - Arah kebijakan PRB jangka panjang: Perpres 87/2020 (RIPB 2020–2044). - Basis data risiko untuk perencanaan PRB: InaRISK BNPB. (inarisk.bnpb.go.id) - Standar teknis ketahanan gempa: SNI 1726:2019 (rujukan penerapan). (sitaba.pu.go.id)
Selat Malaka–Natuna–Karimata	Bahaya antropogenik (pelayaran padat, insiden/pencemaran/keamanan) serta rob/banjir pesisir, KML, dan cuaca ekstrem pada pulau kecil/pesisir terbuka; dampak cenderung lintas batas dan terkait logistik	1. Penguatan pencegahan dan respons tumpahan minyak (kesiapsiagaan, peralatan, komando–kendali, latihan bersama). 2. Manajemen keselamatan pelayaran dan pengendalian risiko insiden di kawasan padat (VTS/monitoring, penetapan jalur, prosedur). 3. Adaptasi pulau kecil: perlindungan aset vital, tata ruang berbasis risiko rob/banjir pesisir dan KML, pengamanan air bersih dan akses logistik, rencana kontinjensi badai/banjir pesisir.	- Rencana kontinjensi nasional tumpahan minyak dan perangkat respons darurat sektor laut. - RZWP3K/RTRW (pengaturan alur/pemanfaatan ruang pesisir–pulau kecil dan proteksi area rentan). - Dokumen adaptasi iklim nasional (payung program adaptasi pulau kecil/pesisir).	- Dasar penanggulangan darurat tumpahan minyak di laut: Perpres 109/2006. - Penataan ruang pesisir–pulau kecil (zonasi/izin dasar): UU 27/2007 jo. UU 1/2014. - Penyelenggaraan penataan ruang: PP 21/2021. - Payung adaptasi perubahan iklim nasional (adaptasi pesisir/pulau kecil): RAN-API 2014–2024
Laut Pedalaman	Dua konteks utama: (a) rob/banjir pesisir dan KML pada dataran rendah dengan tekanan sosial-ekonomi tinggi;	1. Rob/banjir pesisir dan KML: pengendalian pemanfaatan ruang dataran rendah, perlindungan infrastruktur, serta kombinasi adaptasi struktural–nonstruktural (tanggul/polder; pengendalian ekstraksi air tanah; penataan drainase dan layanan).	- RZWP3K/RTRW/RDTR berbasis risiko (rob/banjir pesisir dan KML, maupun tsunami). - RIPB 2020–2044 dan rencana PRB sektoral/daerah. - InaRISK (prioritisasi hotspot dan monitoring risiko).	- Kerangka PRB nasional: Perpres 87/2020 (RIPB). - Basis data risiko & dukungan perencanaan program PRB: InaRISK BNPB. (inarisk.bnpb.go.id) - Penataan ruang: PP 21/2021. - Dasar RZWP3K/pesisir: UU 27/2007 jo. UU 1/2014.

Copyright © 2025, Jurnal Pari

lanjutan Tabel 2. Implikasi pengelolaan kelompok ekoregion berdasarkan risiko dominan

Kelompok ekoregion	Fokus risiko dominan	Aksi prioritas pengelolaan	Instrumen/produk kebijakan yang relevan	Referensi kunci (kebijakan/ aksi)
	(b) tektonik kompleks di sebagian wilayah timur sehingga gempa/tsunami tetap dominan	1. Tektonik kompleks: integrase peta bahaya/ risiko gempa–tsunami ke zonasi dan rencana kontinjensi; penguatan kapasitas respons di lokasi terpencil. 2. Prioritisasi investasi PRB berbasis risiko agar intervensi lebih tepat sasaran.		
Menghadap Samudra Pasifik	Gempa–tsunami dominan (zona konvergensi/sesar/busur); pada teluk tertentu profil dapat lebih campuran (perlindungan geometri teluk), tetapi tetap dipengaruhi struktur aktif dan variasi kapasitas adaptif	1. Penguatan peringatan dini dan evakuasi sebagai intervensi kunci (InaTEWS, SOP, latihan, jalur/ruang evakuasi). 2. Zonasi berbasis skenario (run-up/inundasi) untuk permukiman pesisir, pelabuhan, dan fasilitas kritis. 3. Penguatan layanan darurat dan logistik di wilayah terpencil (konektivitas, gudang logistik, komunikasi).	- RIPB dan rencana kontinjensi/PRB daerah. - InaTEWS dan sistem informasi risiko (InaRISK). - RZWP3K/RTRW (penguncian zona aman dan zona evakuasi).	- Arah kebijakan PRB: Perpres 87/2020 (RIPB 2020–2044). - Dukungan perencanaan berbasis risiko: InaRISK BNPB. (inarisk.bnpb.go.id) - Penataan ruang (termasuk ruang laut): PP 21/2021. - Dasar zonasi pesisir–pulau kecil: UU 27/2007 jo. UU 1/201

SIMPULAN DAN SARAN

Kajian sintesis literatur dengan pendekatan kualitatif-deskriptif ini menunjukkan bahwa kerentanan pesisir pada 18 ekoregion laut dapat dirangkum ke dalam empat kelompok karakteristik: (1) ekoregion yang berhadapan dengan Samudra Hindia, (2) ekoregion Selat Malaka-Natuna-Karimata, (3) ekoregion pada Laut Pedalaman (perairan dalam kepulauan Indonesia, dan (4) ekoregion yang menghadap Samudra Hindia. Ekoregion yang berhadapan dengan samudra terbuka, Samudra Hindia dan Samudra Pasifik, cenderung memiliki kerentanan tinggi karena paparan dominan terhadap gempa tektonik/megathrust dan tsunami, yang diperkuat oleh sensitivitas fisik pesisir terbuka pada segmen tertentu serta sensitivitas sosial yang tinggi pada kawasan permukiman, pariwisata, dan simpul-simpul ekonomi pesisir.

Sebaliknya, pada kelompok Selat Malaka-Natuna-Karimata dan sebagian Laut Pedalaman bagian barat, paparan tsunami relatif lebih rendah, namun kerentanan lebih banyak dipengaruhi oleh bahaya antropogenik (insiden, pencemaran, dan isu keamanan) dengan konsekuensi yang dapat bersifat lintas batas. Pada pulau kecil dan pesisir dataran rendah, kerentanan juga menguat melalui paparan rob/banjir pesisir, KML, cuaca ekstrem dan erosi. Sementara itu, kelompok Laut Pedalaman memperlihatkan dua kecenderungan: bagian barat lebih menonjol pada rob/banjir pesisir, KML, dan tekanan sosial-ekonomi, sedangkan beberapa wilayah pedalaman timur yang berstruktur geologi kompleks tetap menunjukkan paparan gempa-tsunami yang tinggi, sehingga berada pada kategori sedang hingga tinggi.

Implikasinya, perencanaan dan pengelolaan pesisir-laut perlu diarahkan pada penataan ruang dan pengelolaan yang peka risiko (*disaster risk-sensitive spatial planning*), Pada kelompok dengan dominasi gempa-tsunami, prioritas utama meliputi integrasi peta bahaya/risiko ke dalam zonasi dan pengendalian pemanfaatan ruang, penguatan peringatan dini dan evakuasi, serta penyusunan rencana kontijensi dan kesiapsiagaan berbasis komunitas. Pada kelompok dengan dominasi antropogenik, prioritasnya mencakup manajemen risiko pelayaran dan insiden (termasuk kontijensi pencemaran) sekaligus penguatan paket adaptasi rob/banjir pesisir dan KML yang mengombinasikan langkah struktural dan non-struktural sesuai karakter setempat.

Karena kajian ini bersifat makro-nasional, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih rinci pada tingkat ekoregion dan/atau segmen prioritas untuk mempertajam kelas kerentanan serta memperkuat dasar rekomendasi intervensi. Namun demikian, pengelompokan dalam studi ini sudah memadai sebagai kerangka penyaringan awal untuk menetapkan prioritas program Pengurangan Risiko Bencana (PRB)

Copyright © 2025, Jurnal Pari

dan adaptasi iklim secara lebih tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

Anugrah, S. D., Latief, H., Puspito, N. T., Aswan, A., Halauwet, Y., Harvan, M., Arimuko, A., Daryono, D., & Simangunsong, G. (2025). Tectonic and tsunami characteristics of Banda and Seram Seas: identifying tsunami-prone villages. *Geoscience Letters, 12*(1). https://doi.org/10.1186/s40562-025-00443-0

Arimuko, A., & Sianipar, D. (2021). Source study of the 1996 MW 8.2 Biak (Papua, Indonesia) earthquake: relations to regional tectonics and directivity effect. *Arabian Journal of Geosciences, 14*(20). https://doi.org/10.1007/s12517-021-08560-8

Budiono, K., Suprapto, T.A., Kristanto, N.A., Raharjo, P., Noviandi, Y. (2003). *Peta Wilayah Rawan Bencana Tsunami Indonesia. Bandung:* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.

Dastjerdi, H.K. and Nasrabady, H.N. (2021). Role of Malacca Strait with a Geopolitical and Strategic Approach. *Geopolitics Quarterly, 16*(4), 264-287.

Dede, M., Susiati, H., Widiawaty, M. A., Kuok-Choy, L., Aiyub, K., & Asnawi, N. H. (2022). Multivariate analysis and modeling of shoreline changes using geospatial data. Geocarto International, 38(1). https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2159070

Dignan, J., Hayward, M. W., Salmanidou, D., Heidarzadeh, M., & Guillas, S. (2023). Probabilistic landslide tsunami estimation in the Makassar Strait, Indonesia, using statistical emulation. *Earth and Space Science, 10*(8). https://doi.org/10.1029/2023ea002951

Djuraini, M. F. (2025). Assessing Coastal Multi-Hazards in the Randangan River Mouth area, Tomini Bay, Indonesia. *Coastal and Ocean Journal (COJ), 9*(1), 57–69. https://doi.org/10.29244/coj.v9i1.64113

Estoque, R. C., Ishtiaque, A., Parajuli, J., Athukorala, D., Rabby, Y. W., & Ooba, M. (2022). Has the IPCC's revised vulnerability concept been well adopted? *AMBIO, 52*(2), 376–389. https://doi.org/10.1007/s13280-022-01806-z

Fakhriati, F., Nasri, D., Mu'jizah, M., Supriatin, Y. M., Supriadi, A., Musfeptial, M., & Kustini, K. (2023). Making peace with disaster: A study of earthquake disaster communication through manuscripts and oral traditions. *Progress in Disaster Science, 18*, 100287. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100287

Hantoro. (2005). *Pengaruh Karakteristik Laut dan Pantai Terhadap Perkembangan Kawasan Kota Pantai. Dalam: Proceeding Seminar Kerugian pada Bangunan dan Kawasan Akibat Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-Kota Pantai di Indonesia.* Jakarta: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, hal. 5 – 24.

Harahap, R., Masselink, G., & Boulton, S. J. (2025). A coastal risk analysis for the outermost small islands of Indonesia: A multiple natural hazards approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 121*, 105377. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105377

Hastuti, A. W., Nagai, M., & Suniada, K. I. (2022). Coastal vulnerability assessment of Bali Province, Indonesia using remote sensing and GIS approaches. *Remote Sensing, 14*(17), 4409. https://doi.org/10.3390/rs14174409

Hutubessy, B. G., & Mosse, J. W. (2015). Ecosystem Approach to Fisheries Management in Indonesia: Review on indicators and reference values. *Procedia Environmental Sciences, 23*, 148–156. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.023

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Johnson, J.E., Welch, D.J., van Hooidonk, R., Tracey, D. (2021). Assessing the Vulnerability of the Arafura and Timor Seas Region to Climate Change. *Report to the Arafura and Timor Seas Ecosystem Action Phase 2 (ATSEA-2) Project, C2O Consulting, Australia.* 112pp. https://atsea-program.com/wp-content/uploads/2021/11/ATSEA-2-Regional-CC-Vulnerability-Assessment_FINAL-PRINT_2.pdf

Katili, J.A. (1973) Geochronology of West Indonesia and its implication on plate tectonics. *Tectonophysics, 19*, 195-212.

Kriswinarso, T., Simangunsong, G., Yogaswara, D.S.,

Copyright © 2025, Jurnal Pari

….., Arimuko, A. (2024). *Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak tahun 1821 – 2023. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.* ISBN: 978-602-52407-1-3. https://content.bmkg.go.id/wp-content/uploads/FA_Katalog-Gempabumi-Merusak-1821-2023.pdf

Loinenak, F. A., Hartoko, A., & Muskananfola, M. R. (2015). Mapping of Coastal Vulnerability using the Coastal Vulnerability Index and Geographic Information System. *International Journal of Technology, 6*(5), 819. https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i5.1361

Muawanah, U., Yusuf, G., Adrianto, L., Kalther, J., Pomeroy, R., Abdullah, H., & Ruchimat, T. (2018). Review of national laws and regulation in Indonesia in relation to an ecosystem approach to fisheries management. *Marine Policy, 91*, 150–160. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.027

Nichols, G., & Hall, R. (1999). History of the Celebes Sea Basin based on its stratigraphic and sedimentological record. *Journal of Asian Earth Sciences, 17*(1–2), 47–59. https://doi.org/10.1016/s0743-9547(98)00034-8

Ningrum, R. W., Suryanto, W., Kamaruddin, B., Wahyudi, Sholihun, Wibowo, N. B., Arif, A. K. D., Aswan, M., Raharjo, W., Hesti, & Saprudin. (2024). Characteristics of Earthquake Hazards in Jailolo, West Halmahera, Indonesia: An Analysis of b Values and Site Dynamics. *International Journal of Geophysics, 2024*(1). https://doi.org/10.1155/ijge/5594818

Pandadaran, S.H., Kriswinarso, T., Rudianto, …., Arimuko A. (2024). *Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416 – 2023 per Tahun. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.* ISBN: 978-602-50542-9-7. https://content.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Katalog-Tsunami-pertahun-416-2023.pdf

Pelling, M., & Uitto, J. I. (2001). Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 3*(2), 49–62. https://doi.org/10.3763/ehaz.2001.0306

Puslitbang SDLP. (2010). Toponimi Laut di Indonesia. Dalam: Laporan Kegiatan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Litbang KP, KKP, Jakarta

Rashid, M.A.N. (2024). *A Study of Management of Marine Oil Spills in Malaysia.* [Dissertation] World Maritime University, Sweden. https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=3406&context=all_dissertations

Rosalina, L., Hendaryanto, E.T. Kurniawaty, F. Mohammad, N.E. Putri, G.H. Pramono, Dheny T.W.S., Y.H. Ramadhani, W. Pranowo, I.F. Suhelmi, D. Purbani, H.Y. Siry, Mahdan, O.N. Marwayana, Y. Darlan, Y. Permanawati, A. Sudaryanto, M. Hutomo, H.A. Susanto, E. riani, M. Khazali. 2013. Deskripsi Peta Ekoregion Laut Nasional. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. ISBN: 978-602-8773-10-2.

Sabtaji, A. (2010) Peta Tektonik Papua. Dalam: http://agung-sabtaji.blogspot.com/2010/06/peta-tektonik-papua.html

Sagala, P. M., Bhomia, R. K., & Murdiyarso, D. (2024). Assessment of coastal vulnerability to support mangrove restoration in the northern coast of Java, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science, 70*, 103383. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103383

Sano, M., Gainza, J., Baum, S., Choy, D. L., Neumann, S., & Tomlinson, R. (2015). Coastal vulnerability and progress in climate change adaptation: An Australian case study. *Regional Studies in Marine Science, 2*, 113–123. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2015.08.015.

Sari, A.D., et al. (2024). Critical Geopolitics In Strengthening Security And Defense In The Strait Of Malacca To Address Increasing Cases Of Ship Piracy. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies, 45*(2), 669-676.

Suhelmi IR, A. Fahrudin, F. Yulianda, INS Nuitja. (2011). Pemodelan Kerentanan Pesisir Kota Semarang Akibat Kenaikan Muka Air Laut. Dalam: *Makalah Seminar Pascasarjana IPB*. Bogor

UNDRR, 2019: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction. https://gar.undrr.org/sites/default/files/reports/2019-05/full_gar_report.pdf

UNDRR, 2022: Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction. https://www.undrr.org/media/79596/download?startDownload=20260216

Weis, S. W. M., Agostini, V. N., Roth, L. M., Gilmer, B., Schill, S. R., Knowles, J. E., & Blyther, R. (2016). Assessing vulnerability: an integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure. *Climatic Change, 136*(3–4), 615–629. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1642-0

Copyright © 2025, Jurnal Pari

Wen, W., Samudera, K., Adrianto, L., Johnson, G. L., Brancato, M. S., & White, A. (2022). Towards Marine Spatial Planning Implementation in Indonesia: progress and hindering factors. *Coastal Management, 50*(6), 469–489. https://doi.org/10.1080/08920753.2022.2126262

Wibowo, A. dan Supriatna. (2012). Kerentanan Lingkungan Pantai Kota Pesisir di Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 3*(2), 1-20.

Windupranata, W., Ghifari, M. W. A., De Silva Nusantara, C. A., Shafa, M., Hayatiningsih, I., Mulia, I. E., & Nuraghnia, A. (2025). Probabilistic tsunami hazard analysis of Batukaras, a tourism village in Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 25*(3), 1057–1069. https://doi.org/10.5194/nhess-25-1057-2025

Zheng, T., Qiu, Q., Lin, J., & Yang, X. (2022). Raised potential earthquake and tsunami hazards at the North Sulawesi subduction zone after a flurry of major seismicity. *Marine and Petroleum Geology, 148*, 106024. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.106024

Copyright © 2025, Jurnal Pari

Copyright © 2025, Jurnal Pari