

[Review Article]



Membangun Ketangguhan di Tengah Krisis Perubahan Iklim: Pelajaran dari Nature-Based Solutions Ekosistem Mangrove di Malaysia

Lidia Rubianto*

Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Correspondence: 25424016@mahasiswa.itb.ac.id

Informasi Artikel:

Diterima:
4 Februari 2026

Disetujui:
5 Mei 2026

Dipublikasi:
2 Juni 2026

Kata kunci:

solusi berbasis alam;
pengurangan risiko bencana;
adaptasi perubahan iklim.

Abstrak

Dampak perubahan iklim telah meningkatkan intensitas dan frekuensi bencana yang berdampak pada meningkatnya kerentanan masyarakat, khususnya di wilayah pesisir. Dalam konteks tersebut, pendekatan Nature-Based Solutions (NbS) melalui restorasi ekosistem mangrove dinilai memiliki potensi besar dalam mendukung mitigasi bencana dan adaptasi perubahan iklim. Namun demikian, implementasi NbS di berbagai negara, termasuk Malaysia, masih menghadapi tantangan dalam aspek tata kelola, pembiayaan, kapasitas teknis, dan integrasi kebijakan antara pembangunan infrastruktur dan konservasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memperluas pemahaman mengenai implementasi pendekatan NbS dalam mitigasi bencana dan adaptasi perubahan iklim dengan menekankan pada restorasi ekosistem mangrove sebagai strategi prioritas. Studi ini dilakukan di Malaysia sebagai salah satu negara berkembang yang aktif mengimplementasikan inisiatif NbS dalam pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim. Penelitian menggunakan metode kajian literatur dan tinjauan kebijakan untuk menganalisis penelitian terdahulu, mengevaluasi penerapan NbS, serta mengidentifikasi efektivitas dan tantangan implementasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa restorasi ekosistem mangrove menjadi strategi NbS yang efektif dalam mengurangi risiko bencana pesisir sekaligus memperkuat ketahanan ekosistem dan masyarakat secara berkelanjutan. Penelitian ini juga menemukan adanya kesenjangan kebijakan antara pendekatan pembangunan infrastruktur keras dan konservasi lingkungan yang menyebabkan implementasi adaptasi perubahan iklim belum berjalan secara terintegrasi. Selain itu, efektivitas implementasi NbS dipengaruhi oleh perencanaan strategi adaptif berbasis kajian ilmiah, perlindungan ekosistem mangrove yang memperhatikan aspek ekologis, serta kolaborasi multipihak antara pemerintah, akademisi, swasta, masyarakat sipil, dan media. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan lesson learned dan best practices yang dapat direplikasi dalam pengembangan strategi kota berketahanan bencana serta mendukung upaya adaptasi perubahan iklim secara berkelanjutan.

Article Info:	Abstract
<p>Received: 4 February 2026</p> <p>Accepted: 5 May 2026</p> <p>Published: 2 June 2026</p>	<p><i>Climate change has significantly increased the intensity and frequency of disasters, thereby exacerbating community vulnerability, particularly in coastal areas. In this context, the Nature-Based Solutions (NbS) approach through mangrove ecosystem restoration is considered to have substantial potential in supporting disaster mitigation and climate change adaptation. However, the implementation of NbS in many countries, including Malaysia, continues to face challenges related to governance, financing, technical capacity, and policy integration between infrastructure development and environmental conservation. This study aims to enhance understanding of the implementation of NbS for disaster mitigation and climate change adaptation, with a particular emphasis on mangrove ecosystem restoration as a priority strategy. The study was conducted in Malaysia, a developing country actively implementing NbS initiatives for disaster risk reduction and climate change adaptation. This research employed a literature review and policy review approach to analyze previous studies, evaluate NbS implementation, and identify its effectiveness and associated challenges. The findings reveal that mangrove ecosystem restoration represents an effective NbS strategy for reducing coastal disaster risks while simultaneously strengthening ecosystem and community resilience in a sustainable manner. The study also identifies a policy gap between hard infrastructure development approaches and environmental conservation, resulting in climate adaptation measures that remain insufficiently integrated. In addition, the effectiveness of NbS implementation is influenced by adaptive strategy planning based on scientific evidence, mangrove ecosystem protection that considers ecological aspects, and multi-stakeholder collaboration involving governments, academics, the private sector, civil society, and the media. This study is expected to provide valuable lessons learned and best practices that can be replicated in the development of disaster-resilient cities and in supporting sustainable climate change adaptation efforts.</i></p>
<p>Keywords: nature-based solutions; disaster risk reduction; climate change adaptation.</p>	

PENDAHULUAN

Perubahan iklim mencakup perubahan signifikan pada suhu, curah hujan, pola angin dan elemen-elemen lain dari sistem iklim bumi. Penyebab utamanya adalah aktivitas manusia seperti emisi gas rumah kaca, yang telah menyebabkan perubahan pola iklim yang dapat diamati secara global (IPCC, 2023). Bentang alam, tumbuhan dan hewan di dalamnya, semuanya sangat ditentukan oleh iklim yang bekerja dalam jangka waktu yang panjang. Urgensi perubahan iklim berasal dari dampak jangka panjang dari tindakan yang dilakukan saat ini. Tanggapan yang tertunda dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang yang lebih besar, sehingga memerlukan tindakan yang lebih drastis di masa depan. Hal ini menegaskan pentingnya tindakan segera dibandingkan menunda upaya yang dapat dilakukan, mengingat kondisi tersebut merupakan fakta yang terukur (Pittock, 2005). Sejalan

dengan urgensi tersebut, Malaysia sebagai negara berkembang juga turut merasakan dampak perubahan iklim yang menuntut upaya pengurangan risiko bencana akibat tekanan krisis perubahan iklim.

Perubahan iklim turut berdampak pada peningkatan frekuensi bencana di Malaysia. *Asia-Pacific Disaster Resilience Network* mencatat jumlah kejadian bencana yang terjadi di Malaysia dari tahun 1990 hingga tahun 2020, yang menunjukkan adanya fluktuasi pada tahun 1990-2005 dengan puncak kejadian tsunami besar yang terjadi pada tahun 2004 akibat gempa berkekuatan 9,1-9,3 skala Richter di Samudera Hindia. Angka ini juga signifikan mengalami kenaikan kejadian pada tahun 2005-2020. Sehingga tercatat telah terjadi 2 (dua) kejadian bencana kekeringan, 63 (enam puluh tiga) kejadian bencana banjir, 2 (dua) kejadian bencana siklon tropis, 1 (satu) kejadian bencana tsunami dan 1 (satu) kejadian bencana gempa

bumi. Kejadian bencana tersebut berdampak pada 3.616.145 jiwa, menyebabkan hilangnya nyawa sebesar 475 jiwa, dan mengakibatkan kerugian kerusakan mencapai 3,5 Miliar USD (ESCAP, 2020). Oleh karena itu, Pemerintah Malaysia menetapkan prioritas tertinggi untuk mengurangi risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim diantaranya dengan menerapkan pendekatan *Nature-Based Solutions* (NbS). Seiring dengan meningkatnya intensitas dan kompleksitas bencana, pendekatan konvensional berbasis infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) dalam menghadapi ancaman dampak perubahan iklim, seperti tanggul beton, kanal drainase, dan sistem pengendali banjir, menunjukkan berbagai keterbatasan dalam menghadapi ketidakpastian serta dinamika perubahan iklim yang semakin ekstrem (Hynes dkk., 2022). Selain membutuhkan biaya pembangunan dan pemeliharaan yang tinggi, ketergantungan pada infrastruktur ini juga berpotensi menciptakan kerentanan baru akibat dampak ekologis yang ditimbulkannya (Sharma dkk., 2021; Liu dkk., 2025). Pendekatan NbS hadir sebagai alternatif solusi yang lebih adaptif dan berkelanjutan dalam menghadapi risiko bencana akibat perubahan iklim. *Nature-Based Solutions* menekankan pemanfaatan proses alami dan fungsi ekosistem untuk mengurangi risiko bencana sekaligus menghasilkan manfaat lingkungan, sosial, dan ekonomi secara simultan. Dengan demikian, pendekatan NbS tidak hanya berpotensi meningkatkan efektivitas pengelolaan risiko bencana, tetapi juga berperan penting dalam memperkuat ketahanan ekosistem dan masyarakat secara jangka panjang di tengah ketidakpastian perubahan iklim.

Perubahan iklim dan risiko bencana merupakan ancaman mendasar bagi alam dan manusia. Namun, alam juga menyediakan solusi utama untuk penyimpanan karbon dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim. Bersambut dengan respons komunitas global yang mengambil langkah untuk melindungi, merestorasi, dan mengelola sumber daya alam dengan lebih baik. *Nature-Based Solutions* menjadi opsi pendekatan yang memanfaatkan alam dan kekuatan ekosistem yang sehat untuk melindungi manusia, mengoptimalkan infrastruktur, dan menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati (Debele dkk., 2023). Pendekatan ini merupakan inisiatif global yang dipilih oleh Malaysia sebagai upaya

untuk mengurangi risiko bencana. Malaysia telah menunjukkan progress signifikan pengurangan risiko bencana melalui penerapan NbS. Upaya ini telah terbukti meningkatkan ketahanan terhadap bencana alam dan mengurangi kerusakan infrastruktur serta korban jiwa di daerah pesisir. Meskipun Malaysia telah menunjukkan progres signifikan dalam pengurangan risiko bencana melalui pendekatan tersebut, implementasi pendekatan ini masih menghadapi berbagai tantangan. Upaya ini membutuhkan pemahaman komprehensif mengenai keterbatasan dalam aspek tata kelola dan teknis serta efektivitas jangka panjang implementasinya. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengkaji lebih mendalam mengenai identifikasi praktik terbaik NbS di Malaysia dan tantangan yang dihadapinya.

Perlindungan ekosistem Mangrove menjadi opsi prioritas penerapan NbS untuk mengurangi risiko bencana dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim di Malaysia (Rosmadi dkk., 2024). Perlindungan Mangrove berfungsi sebagai penyimpan karbon alami, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta melindungi pesisir dari erosi, banjir, dan badai. Upaya restorasi mangrove telah terbukti efektif dalam melindungi infrastruktur pesisir dan mengurangi kerusakan akibat bencana alam. Selain itu, perlindungan ekosistem mangrove mendukung keanekaragaman hayati dengan menyediakan habitat bagi berbagai spesies, menjadikannya solusi yang berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim. Namun, dalam upaya mengoptimalkan penerapan NbS, Malaysia masih mengalami tantangan dan kendala perlindungan ekosistem mangrove. Meskipun ancaman deforestasi mangrove global cenderung melambat, namun Asia Tenggara termasuk Malaysia masih mengalami tingkat kehilangan yang tinggi akibat tekanan perubahan penggunaan lahan dan aktivitas manusia, sehingga mengancam keberlanjutan fungsi ekologis (Hamilton & Casey, 2016; Bhagarathi & DaSilva, 2024). Ekosistem mangrove di Malaysia menghadapi tekanan serius yang didominasi oleh aktivitas manusia (Das dkk., 2026), termasuk kegiatan industri dan domestik yang berkontribusi terhadap pencemaran dan mempercepat degradasi pesisir. Perubahan penggunaan lahan seperti konversi kawasan mangrove menjadi tambak akuakultur, perkebunan kelapa sawit, kawasan permukiman,

serta pembangunan infrastruktur pesisir seperti pelabuhan, kawasan industri, dan reklamasi turut mengakibatkan deforestasi mangrove yang berdampak pada penurunan fungsi ekologis dan keanekaragaman hayati di Malaysia (Camara dkk., 2019; Aslan dkk., 2021; Itoh dkk., 2023; Tamimi dkk., 2023). Meningkatnya kerentanan ekosistem mangrove di Malaysia juga dipengaruhi oleh kombinasi kondisi lingkungan yang sensitif dan tekanan aktivitas manusia yang intensif, akibat pesatnya pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir (Ganugapenta dkk., 2026). Tantangan ini juga belum diimbangi dengan manajemen dan tata kelola ekosistem mangrove yang memadai (Chen dkk., 2024; Shafein dkk., 2025). Sehingga berbagai ancaman tersebut menjadi tantangan dalam penerapan NbS melalui penerapan perlindungan ekosistem mangrove.

Dampak perubahan iklim yang meningkatkan frekuensi dan intensitas berbagai jenis bencana alam mendorong kajian ini untuk tidak hanya berfokus pada penerapan NbS dalam penanganan bencana tertentu, tetapi juga mencakup upaya adaptasi perubahan iklim secara holistik. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan evaluatif terhadap proses implementasi NbS di Malaysia, sekaligus mengidentifikasi berbagai tantangan yang dihadapi dalam konteks perlindungan ekosistem mangrove. Hasil penelitian ini diharapkan dapat merumuskan *best practice* yang berisi rekomendasi kontekstual dan relevan, khususnya bagi negara berkembang yang memiliki karakteristik seperti Malaysia dalam menghadapi dampak perubahan iklim melalui pendekatan NbS berbasis perlindungan ekosistem mangrove. Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan aspek tata kelola serta pendekatan non struktural dalam implementasi NbS yang selama ini masih terbatas dibahas secara komprehensif untuk mewujudkan adaptasi perubahan iklim serta kota yang berketahanan terhadap bencana dalam konteks global.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode kajian literatur (*literature review*) dan tinjauan kebijakan (*policy review*). Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai penerapan NbS dalam pengurangan

risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim di Malaysia.

Prosedur Kajian Literatur

Kajian literatur dilakukan secara sistematis melalui penelusuran artikel ilmiah pada basis data akademik seperti ScienceDirect dan Google Scholar, untuk memperoleh artikel ilmiah yang bereputasi dan relevan dengan topik penelitian. Penelusuran literatur dibatasi pada publikasi dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2016–2026) guna memastikan bahwa data dan temuan yang digunakan mencerminkan perkembangan terbaru terkait perubahan iklim dan penerapan NbS di Malaysia. Selain itu, beberapa literatur kunci di luar rentang waktu tersebut tetap disertakan secara selektif sebagai landasan konseptual.

Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci *Nature-based Solutions*, *disaster risk reduction*, *climate change adaptation* dan Malaysia. Adapun kriteria inklusi meliputi: 1) artikel *peer-reviewed* yang membahas mengenai NbS dalam konteks upaya pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim; 2) studi global dan studi kasus terkait praktik, tantangan, serta efektivitas penerapan NbS dalam adaptasi perubahan iklim di Malaysia; dan 3) artikel yang menyediakan analisis empiris atau konseptual yang relevan dengan topik terkait.

Adapun kriteria eksklusi diterapkan pada artikel yang bersifat opini tanpa dasar akademik yang jelas, publikasi yang teridentifikasi sebagai duplikasi dari sumber lain, serta artikel yang tidak tersedia dalam versi teks lengkap (*full text*), sehingga tidak memungkinkan dilakukan analisis secara komprehensif. Sehingga berdasarkan proses seleksi bertahap (penyaringan judul, abstrak, dan *full text*), diperoleh sejumlah artikel kunci yang dianalisis secara mendalam untuk kebutuhan penelitian ini.

Prosedur Tinjauan Kebijakan

Tinjauan kebijakan dilakukan terhadap dokumen Nasional dan laporan Internasional yang relevan membahas adaptasi perubahan iklim melalui implementasi NbS di Malaysia. Dokumen dan laporan yang dianalisis meliputi: 1) *Disaster Management Reference Handbook* (2016); 2) laporan status pengurangan risiko bencana di Malaysia oleh UNDRR (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*) (2020); 3) laporan *Climate Change 2023*:

Synthesis Report oleh IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*); 4) data portal risiko bencana regional oleh ESCAP (*United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific*); 5) Water Sector Transformation 2040 oleh *Academy of Sciences Malaysia*; 6) Thirteenth Malaysia Plan 2026-2030 oleh *Secretary General Ministry of Economy Malaysia*; dan 7) National Climate Change Policy 2.0.

Pemilihan dokumen didasarkan pada relevansi substansi terhadap kebijakan pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim. Selain berbagai dokumen dan kebijakan tersebut, penelitian ini juga menggunakan data sekunder kontekstual mengenai profil geografis, demografis dan profil risiko bencana Malaysia yang bersumber dari platform resmi Pemerintah Malaysia dan *The World Factbook* yang diterbitkan oleh Central Intelligence Agency (2023). Data ini digunakan untuk memperkuat pemahaman mengenai karakteristik wilayah dan tingkat kerentanan Malaysia terhadap bencana hidrometeorologi yang diperparah dengan adanya dampak perubahan iklim.

Analisis kebijakan dilakukan menggunakan pendekatan *qualitative content analysis*, dengan menekankan pada proses pengorganisasian dan interpretasi data secara sistematis. Seluruh dokumen yang telah diseleksi dianalisis melalui proses identifikasi dan ekstraksi informasi yang relevan sesuai dengan fokus penelitian. Proses analisis dilakukan secara manual menyusun dan mengelola data secara terstruktur. Dalam tahap pengorganisasian data, informasi yang diperoleh diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori analisis, yaitu: 1) bentuk adaptasi perubahan iklim berbasis NbS; 2) jenis pendekatan NbS yang diterapkan; 3) peran aktor kelembagaan yang terlibat, 4) manfaat implementasi; 5) tantangan pelaksanaan; serta 6) kesesuaiannya dengan agenda global seperti *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* dan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Melalui pengelompokan tersebut, data dapat dibandingkan secara sistematis untuk mengidentifikasi pola, kecenderungan, serta keselarasan kebijakan dalam konteks adaptasi perubahan iklim berbasis NbS, dan dideskripsikan secara naratif dalam penelitian ini. Pendekatan ini juga memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi efektivitas implementasi

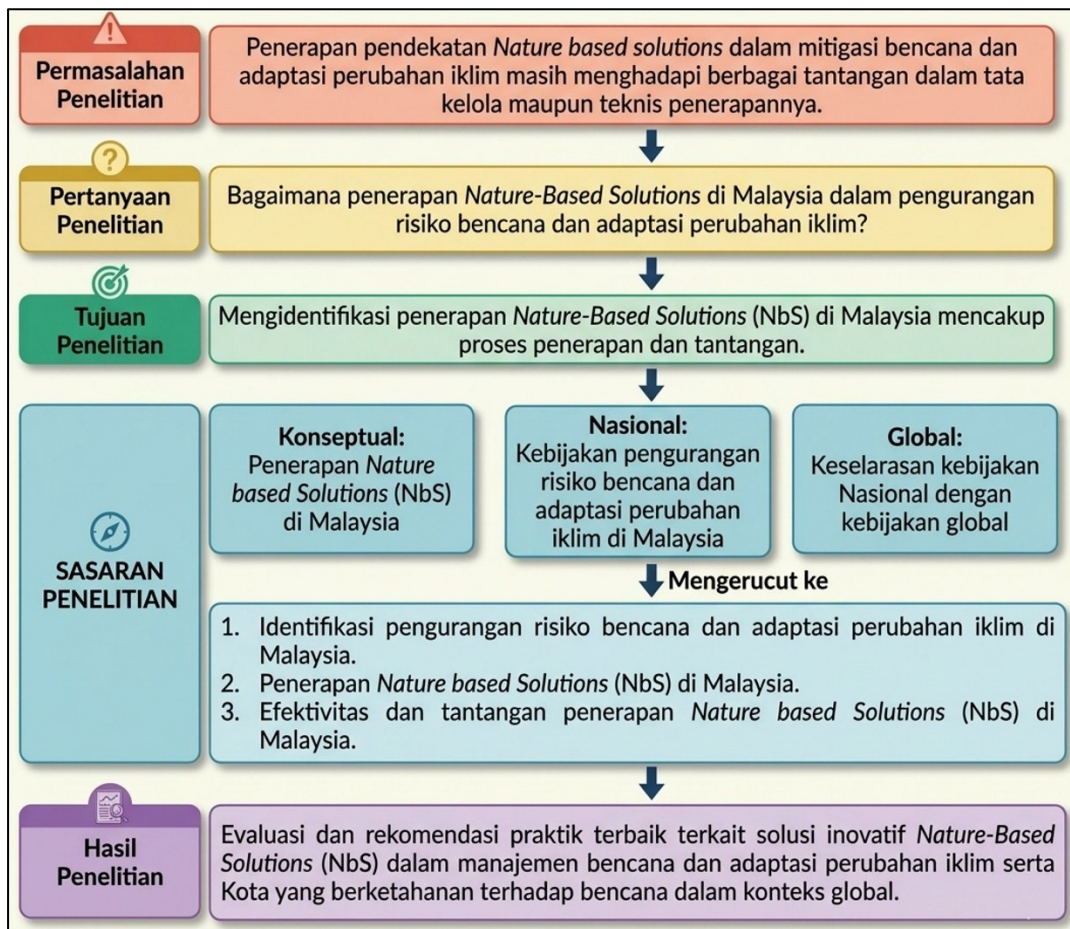
NbS serta mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penerapannya di Malaysia.

Kerangka Analisis

Penelitian ini dilandasi oleh pertanyaan *bagaimana penerapan NbS di Malaysia dalam pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim?* Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penerapan NbS di Malaysia, termasuk proses implementasi serta berbagai tantangan yang dihadapi. Analisis dilakukan dengan menggunakan kerangka analisis integratif yang menghubungkan tiga dimensi utama, yaitu dimensi konseptual, nasional, dan global. Adapun kerangka analisis penelitian ini divisualisasikan dalam Gambar 1.

Pada dimensi konseptual, penelitian merujuk pada definisi dan prinsip penerapan Nature-Based Solutions (NbS) sebagai dasar untuk mengidentifikasi bentuk, fungsi, serta manfaat NbS dalam adaptasi perubahan iklim dan pengurangan risiko bencana. Dimensi nasional menganalisis bagaimana konsep tersebut diintegrasikan dalam kebijakan dan dokumen resmi Malaysia, termasuk identifikasi pendekatan yang digunakan, peran aktor kelembagaan, serta tantangan implementasinya. Selanjutnya, dimensi global digunakan untuk menilai keselarasan kebijakan Malaysia dengan agenda internasional, seperti Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, SDGs, serta rekomendasi Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Ketiga dimensi tersebut dianalisis menggunakan pendekatan *qualitative content analysis* untuk mengidentifikasi pola substansi kebijakan, tingkat adopsi NbS, kesenjangan antara komitmen dan implementasi, serta peluang penguatan strategi adaptasi berbasis alam dalam sistem manajemen bencana di Malaysia. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan pemahaman komprehensif terkait evaluasi penerapan NbS, tantangan implementasinya, serta praktik-praktik terbaik penerapan NbS di Malaysia dalam adaptasi perubahan iklim, yang dapat menjadi rekomendasi pembelajaran dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

Validitas penelitian dijaga melalui triangulasi sumber antara literatur ilmiah, dokumen dan laporan terkait. Proses analisis dilakukan secara sistematis dengan pengelompokan tematik untuk meminimalkan bias interpretatif. Untuk memastikan objektivitas dalam pemilihan literatur, penelitian ini



Gambar 1. Kerangka Analisis Penelitian

menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan, serta relevansinya dengan topik NbS dan adaptasi perubahan iklim, melakukan seleksi jenis publikasi (artikel jurnal bereputasi dan laporan resmi), serta rentang waktu publikasi yang mutakhir. Proses penelusuran literatur dilakukan secara sistematis menggunakan basis data akademik, dan seleksi dilakukan secara bertahap berdasarkan kesesuaian judul, abstrak, dan isi. Dengan pendekatan ini, pemilihan literatur tidak bersifat subjektif, melainkan didasarkan pada kriteria yang konsisten dan dapat ditelusuri.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena tidak melibatkan data primer seperti wawancara dengan pembuat kebijakan atau pemangku kepentingan, sehingga analisis terbatas pada dokumen yang tersedia secara publik. Selain itu, dinamika implementasi di tingkat lokal kemungkinan belum sepenuhnya terakomodasi, mengingat variasi konteks wilayah, kapasitas kelembagaan, dan karakteristik sosial ekologis yang berbeda-beda. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang melibatkan pendekatan empiris dan

pengumpulan data primer sangat diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif dan kontekstual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Malaysia mulai mengadopsi pendekatan NbS dalam menghadapi peningkatan risiko bencana dan dampak perubahan iklim sebagai strategi adaptasi yang mengintegrasikan perlindungan ekosistem dengan upaya pengurangan risiko bencana. Pendekatan ini memanfaatkan fungsi alami ekosistem untuk meningkatkan ketahanan wilayah secara berkelanjutan. Berikut ini disajikan berbagai temuan terkait penerapan NbS di Malaysia.

Karakteristik Malaysia dan Potensi Bencana

Malaysia terletak di Asia Tenggara di sepanjang Selat Malaka dan Laut China Selatan. Negara ini memiliki iklim tropis dengan cuaca hangat sepanjang tahun. Malaysia berada di luar *pacific ring of fire* sehingga merupakan wilayah yang memiliki keamanan relatif dari gempa bumi dan aktivitas vulkanik dibandingkan

dengan negara lain. Meskipun demikian, Malaysia rentan terhadap berbagai jenis bencana alam lainnya seperti banjir, kebakaran hutan, tsunami, badai siklon, dan longsor. Meskipun Malaysia memiliki keunggulan geografis tertentu, Negara ini tetap menghadapi tantangan serius terkait bencana alam akibat perubahan iklim ekstrim (Center for Excellence in Disaster Management & Humanitarian Assistance Malaysia, 2016, p. 12).

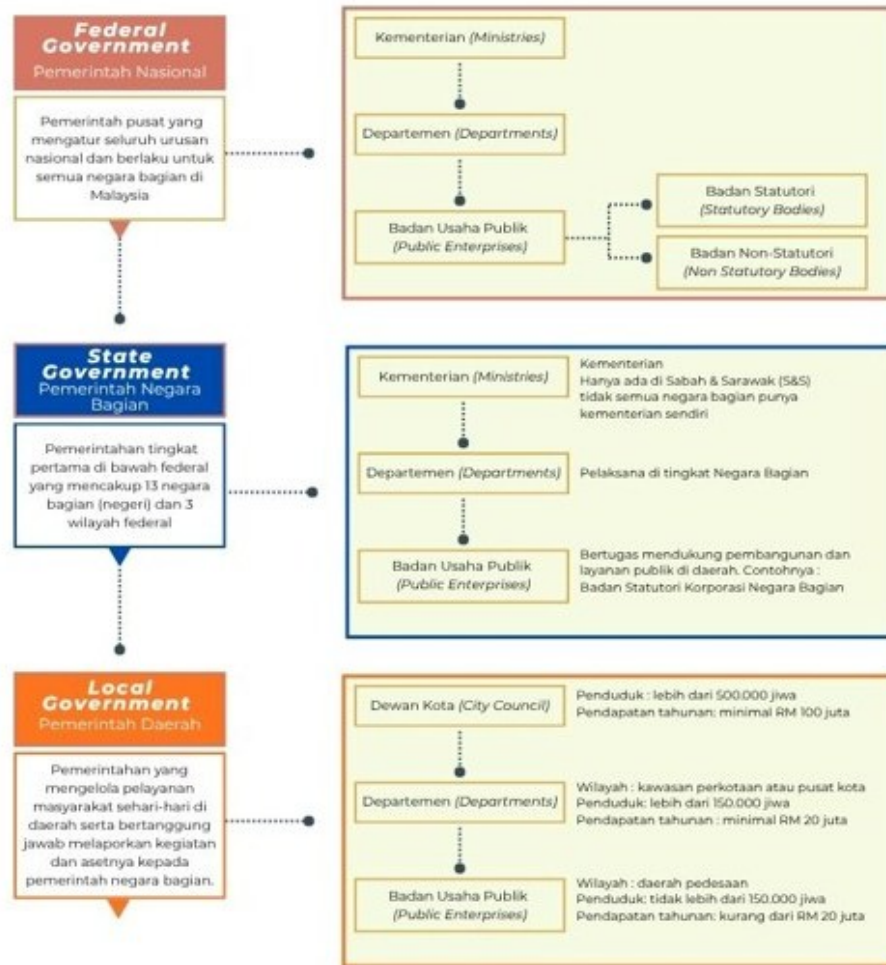
Malaysia dengan jumlah penduduk mencapai 34.219.975 jiwa pada tahun 2023 dengan struktur usia penduduk 0-14 tahun mencapai 22,2%, 15-64 tahun 69,4% dan >65 tahun mencapai 8,4% (Central Intelligence Agency, 2023). Adapun pertumbuhan penduduk di Malaysia mencapai 0,5% pada tahun 2025 (Department of Statistics Malaysia, 2025). Struktur usia penduduk yang beragam di Malaysia menunjukkan kerentanan yang beragam terhadap bencana. Anak-anak dan lansia adalah kelompok paling rentan, sementara penduduk usia produktif memiliki potensi besar untuk mendukung tanggap bencana jika dikelola dengan baik. Untuk menghadapi ancaman bencana, Malaysia menganggap perlu menerapkan strategi yang inklusif, bagi kelompok rentan, sambil memanfaatkan bonus demografi untuk memperkuat mitigasi dan respon bencana.

Berdasarkan aspek ekonomi, Malaysia menghadapi risiko bencana dengan kerugian ekonomi tahunan terbesar akibat kekeringan, yaitu mencapai \$4.991,2 juta (1,5% PDB), diikuti oleh banjir dengan \$2.084,9 juta (0,6% PDB). Risiko lainnya, seperti biologis (\$587,7 juta, 0,2% PDB), gempa bumi, dan tsunami, memiliki dampak yang lebih kecil, meskipun tetap signifikan, terutama risiko biologis yang dapat memengaruhi kesehatan masyarakat dan produktivitas ekonomi. Total kerugian tahunan akibat berbagai bencana mencapai \$9.559 juta (2,8% PDB) (ESCAP, 2020). Sedangkan ditinjau dari kemampuan perekonomian, Malaysia memiliki struktur ekonomi yang awalnya bergantung pada sektor pertanian menjadi lebih beragam berkembang di sektor industri, sektor manufaktur dan jasa yang berkembang pesat. Malaysia menjadi salah satu eksportir utama alat listrik dan komponen di dunia, serta kaya akan sumber daya alam seperti kelapa sawit, minyak, dan gas. Kegiatan ekspor menyumbang besar terhadap pertumbuhan ekonomi, menciptakan 40% lapangan kerja dan

mendorong rata-rata pertumbuhan ekonomi sebesar 5,4% sejak krisis keuangan Asia 1997-1998. Malaysia mampu menurunkan kemiskinan ekstrem hingga di bawah 1%, meskipun kesenjangan pendapatan masih signifikan (UNDRR, 2020, p. 6). Meskipun demikian, risiko bencana alam seperti banjir besar atau gempa dapat mengganggu infrastruktur logistik, pelabuhan, dan jalur transportasi yang vital untuk ekspor. Gangguan ini dapat menyebabkan penurunan tajam dalam volume perdagangan yang langsung berdampak pada pendapatan Negara. Sehingga untuk mengurangi dampak ekonomi dari risiko bencana, Malaysia perlu memprioritaskan mitigasi risiko bencana dengan menerapkan strategi berbasis *multihazard* untuk meningkatkan ketahanan Nasional.

Mekanisme koordinasi penanggulangan bencana di Malaysia terintegrasi secara vertikal antara tingkat nasional, negara bagian, hingga distrik/lokal, sehingga memastikan respon yang terpadu, cepat, dan efektif di setiap level pemerintahan. Malaysia adalah negara dengan sistem demokrasi parlementer dan monarki konstitusional yang memiliki tiga tingkat pemerintahan yaitu federal, negara bagian, dan lokal/distrik (Commonwealth Local Government Forum, 2018; Forum of Federations, 2025; Government of Malaysia, 2025). Berikut adalah hierarki koordinasi pemerintahan di Malaysia yang disajikan pada Gambar 2 berikut.

Malaysia dalam tata kelola manajemen bencana melalui National Security Council (NSC) atau Dewan Keamanan Nasional Malaysia yakni lembaga di bawah Pemerintah Federal Malaysia yang berperan mengoordinasikan kebijakan dan tindakan terkait keamanan Nasional, termasuk isu pertahanan, ketertiban, dan penanganan krisis, mengoordinasikan manajemen bencana sesuai dengan arahan nomor 20 yaitu Kebijakan Mekanisme Bantuan dan Manajemen Bencana Nasional. Dewan ini memfasilitasi berbagai kegiatan yang dilaksanakan oleh Komite Manajemen dan Bantuan Bencana yang terdiri dari berbagai lembaga di tingkat federal, negara bagian dan lokal. Komite ini diberikan tugas untuk mengoordinasikan operasi bantuan banjir di tingkat nasional, negara bagian dan distrik dengan tujuan utama untuk menangani dampak bencana alam. Sehingga manajemen bencana telah menjadi perhatian prioritas kebijakan



Gambar 2. Struktur Pemerintahan Malaysia

alam kebijakan pembangunan Malaysia. Platform Nasional untuk pengurangan risiko bencana di Malaysia resmi dibentuk pada tahun 2013 dengan melibatkan berbagai pihak diantaranya Pemerintah dan Sektor Swasta. Selain itu, kebijakan ini juga dimasukkan dalam Rencana Lima Tahun Malaysia yang menitikberatkan pada penguatan manajemen risiko bencana (Center for Excellence in Disaster Management & Humanitarian Assistance Malaysia, 2016; Government of Malaysia, 2025).

Pengurangan Risiko Bencana dan Adaptasi Perubahan Iklim di Malaysia

Upaya pengurangan risiko bencana (*Disaster Risk Reduction*) dan adaptasi perubahan iklim (*Climate Change Adaptation*) maka diperlukan penyelenggaraan pembangunan berkelanjutan. Upaya ini tentu memerlukan dukungan dan kerangka kerja yang spesifik menjawab isu dan tantangan dimaksud.

Malaysia menggambarkan proses terkait dalam kaitannya dengan inisiatif global dan kerangka kerja Internasional seperti *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*, *Sustainable Development Goals*, dan *Paris Climate Agreement* (UNDRR, 2020, pp. 18-22). Berikut upaya yang telah dilakukan oleh Malaysia:

Prioritas 1: Memahami Risiko Bencana

Pengumpulan dan pengelolaan data terkait risiko bencana dan iklim sangat penting untuk memahami bencana, melakukan penilaian risiko, serta mendukung perencanaan pembangunan yang berkelanjutan. Di Malaysia, Portal Bencana yang dikelola oleh *National Disaster Management Agency (NADMA)* yakni lembaga di bawah Pemerintah Federal Malaysia yang bertugas mengoordinasikan penanggulangan bencana di tingkat Nasional, menyediakan informasi terkini tentang bencana, menggunakan teknologi *Geographic Information System (GIS)* dan dapat diakses

publik serta otoritas. Data tersebut perlu mencakup informasi seperti usia, jenis kelamin, lokasi, kemiskinan, kerugian dan kerusakan bencana serta informasi geografis pemetaan longsor untuk mendukung kebijakan pengurangan risiko bencana.

Malaysia juga meluncurkan basis data kerugian dan kerusakan bencana untuk perencanaan kebijakan dan pengurangan risiko bencana. Namun kompatibilitasnya dengan sistem portal bencana pada tingkat lokal masih belum terintegrasi (UNDRR, 2020, pp. 18-19). Selain itu, pasca Indian Ocean Tsunami 2004, Pemerintah Malaysia meningkatkan komitmen terhadap konservasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove sekaligus memperkuat ketersediaan data dan pengetahuan untuk memahami risiko bencana di wilayah pesisir. Melalui keputusan *Ministry of Natural Resources and Environment* (NRE) atau Dewan Keanekaragaman Hayati Nasional Malaysia. Berbagai lembaga didorong untuk mengembangkan basis data, penelitian, serta pedoman teknis terkait kondisi dan fungsi ekosistem mangrove. Peran ini diperkuat oleh *Forest Research Institute Malaysia* (FRIM) melalui kegiatan riset, publikasi, dan diseminasi ilmiah yang menghasilkan informasi penting mengenai karakteristik, distribusi, dan kondisi mangrove guna menghadapi tantangan perubahan iklim ekstrem yang meningkatkan risiko bencana (Omar, 2024; ASEAN, 2024, pp. 23-25).

Prioritas 2: Memperkuat Tata Kelola untuk Mengelola Risiko Bencana

Malaysia mengelola risiko bencana melalui arahan No. 20, yang mengatur kebijakan dan mekanisme Nasional untuk semua fase bencana (kesiapsiagaan, mitigasi, respons, dan pemulihan). Operasionalisasi dilakukan oleh NADMA, dengan dukungan lembaga seperti Kepolisian, Pemadam Kebakaran, dan Pertahanan Sipil. Serta didukung oleh Sistem berbasis komite yang bekerja di tiga tingkat: Nasional, Negara Bagian, dan Lokal/Distrik. Namun, kebijakan lebih fokus pada respons dan pemulihan (UNDRR, 2020). Malaysia juga telah mengambil langkah penting dengan membentuk Majelis Tindakan Perubahan Iklim Negara (MTPIN) sebagai lembaga utama yang memberikan arah kebijakan dan strategi adaptasi perubahan iklim (Government of Malaysia, 2024).

Prioritas 3: Investasi dalam Pengurangan Risiko Bencana untuk Resiliensi.

Malaysia mendanai upaya pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim tidak hanya melalui anggaran pemerintah, tetapi juga dari berbagai sumber pendanaan lainnya dengan melibatkan Pemerintah Nasional dan Negara bagian melalui alokasi anggaran tahunan oleh *Economic Planning Unit* serta dukungan lembaga seperti *National Disaster Relief Trust Fund* dan *Malaysia Civil Defence Force* (MCDF). Upaya ini bertujuan untuk meminimalkan kerugian, baik dari segi korban jiwa maupun mata pencaharian, melalui investasi pada infrastruktur, pelatihan, skema asuransi, peningkatan kesiapsiagaan, serta penguatan sistem pengelolaan data, dan berbagai inisiatif terkait lainnya. Di sisi lain, investasi besar terus difokuskan pada proyek infrastruktur besar untuk menghadapi banjir seperti *Stormwater Management and Road Tunnel* (SMART Tunnel) di Kuala Lumpur dan proyek mitigasi pengembangan daerah aliran sungai (DAS) seperti di Kelantan dan Pahang, dengan total anggaran yang diterima meningkat dari RM 1,79 miliar (2001-2005) menjadi RM 5,81 miliar (2006-2010) (UNDRR, 2020, pp. 20-21).

Malaysia juga telah mengembangkan berbagai infrastruktur untuk mengatasi kekeringan, namun pendekatan ini lebih berorientasi pada peningkatan kapasitas sistem air (*supply-side infrastructure*) dibandingkan mitigasi risiko secara langsung. Hal ini mencerminkan perbedaan karakter risiko kekeringan yang bersifat gradual dan sistemik, sehingga lebih banyak ditangani melalui infrastruktur distribusi, penyimpanan, dan efisiensi air (*Economic Planning Unit Malaysia*, 2022; *The Straits Times*, 2025; *The Star*, 2025). Meskipun informasi detail pembiayaan Nasional kurang tersedia, MCDF telah mengalokasikan anggaran untuk program kesiapsiagaan masyarakat dan kursus terkait sejalan dengan Rencana Lima Tahunan Malaysia (UNDRR, 2020, pp. 20-21; Government of Malaysia, 2025). Namun, kapasitas infrastruktur-infrastruktur struktural saja menjadi tidak realistis karena kapasitasnya semakin tertekan oleh tekanan perubahan pola iklim dan hidrologi (OECD, 2024). Selain itu, tantangan krisis perubahan iklim juga nampak pada respons kebijakan yang seringkali tidak

seimbang dan cenderung bersifat sektoral dan reaktif terhadap banjir dibandingkan risiko kekeringan yang mengakibatkan kerugian sangat tinggi. Pendekatan ini cenderung tidak fleksibel dan hanya dirancang untuk menangani risiko tertentu, sehingga kurang adaptif terhadap dinamika perubahan iklim serta menunjukkan ketergantungan pada infrastruktur berbiaya tinggi yang kurang efisien dalam jangka panjang (Hynes dkk., 2022; OECD, 2024). Kondisi ini membutuhkan solusi alternatif yang lebih berkelanjutan dan efisien yakni NbS dalam menghadapi krisis perubahan iklim yang menimbulkan risiko bencana.

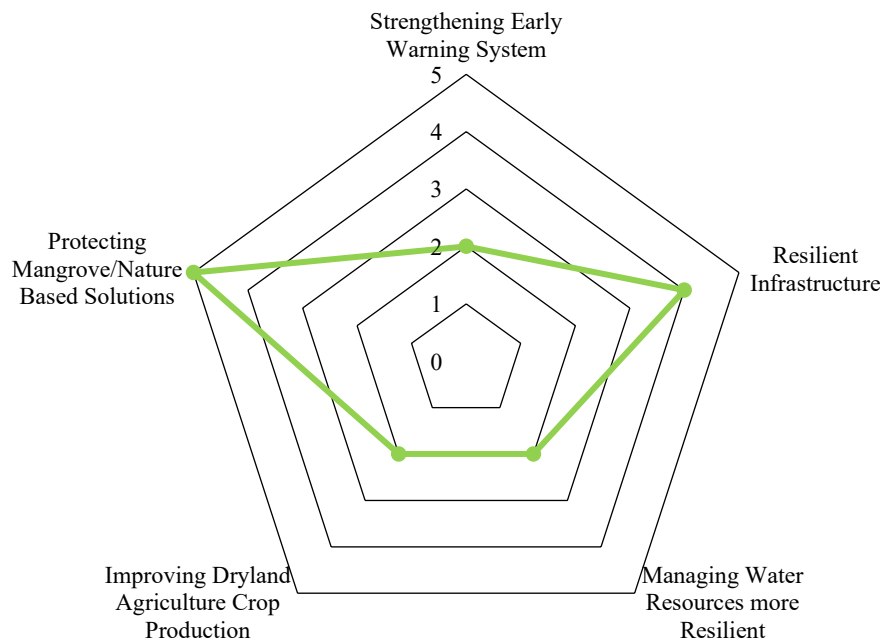
Prioritas 4: Meningkatkan Kesiapsiagaan untuk Respons Efektif

Dalam manajemen pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim, Pemerintah Malaysia menggunakan sistem *top-down* yang bersifat hierarkis dari Pemerintah Nasional hingga ke Pemerintah Lokal. Cakupan kesiapsiagaan dan respons diimplementasikan dengan mekanisme berjenjang. Di tingkat lokal, Malaysia juga memperkuat kapasitas kesiapsiagaan melalui keterlibatan dukungan regional ASEAN dan partisipasi masyarakat

melalui MCDF. Dengan jutaan relawan terlatih, pendekatan ini menunjukkan upaya transisi dari sistem yang terpusat menuju model yang lebih adaptif dan kolaboratif guna meningkatkan ketahanan terhadap bencana yang semakin intens akibat perubahan iklim (UNDRR, 2020, pp. 21-22). Selain itu, Pemerintah Malaysia mulai mengarahkan kebijakan ke pendekatan yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim, seperti penguatan sistem peringatan dini serta integrasi manajemen risiko bencana dalam perencanaan tata ruang. Sistem manajemen bencana Malaysia mulai bertransformasi dari sekadar respons darurat menuju pendekatan yang lebih komprehensif dan berorientasi pada resiliensi iklim (Government of Malaysia, 2016; Government of Malaysia, 2024).

Penerapan NbS di Malaysia

Asia-Pacific Disaster Resilience Network (APDRN) berkolaborasi bersama NADMA menyediakan data solusi adaptasi perubahan iklim untuk menilai strategi mana yang diprioritas dalam mengurangi pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim di Malaysia. Penilaian solusi prioritas divisualisasikan (ESCAP, 2020) pada Gambar 3.



Gambar 3. Prioritas Adaptasi Perubahan Iklim Malaysia

Berdasarkan Gambar 3 di atas menunjukkan nilai representasi prioritas dalam skor terhadap strategi: 1) *Strengthening Early Warning System* skor 2 (dua) yakni prioritas rendah namun dinilai memiliki urgensi atau dampak yang lebih rendah dibandingkan opsi lainnya; 2) *Resilient Infrastruktur* skor 4 (empat) yakni memiliki prioritas tinggi yang menunjukkan kebutuhan signifikan guna mengurangi risiko dampak perubahan iklim; 3) *Managing Water Resources More Resilient* skor 2 (dua) yakni mencerminkan keyakinan bahwa saat ini masih dapat ditangani namun bukan prioritas mendesak; 4) *Improving Dryland Agriculture Crop Production* skor 2 (dua) termasuk prioritas rendah atau fokus pada area ini belum dianggap mendesak dibandingkan isu lain; dan 5) *Protecting Mangroves / Nature-Based Solutions* skor 5 (lima) termasuk dalam prioritas tertinggi yang menunjukkan kesadaran tinggi terhadap peran penting mangrove dalam mitigasi perubahan iklim, pengurangan risiko bencana (seperti banjir dan abrasi), serta adaptasi berkelanjutan.

Penilaian prioritas NbS merupakan solusi prioritas karena beberapa pertimbangan yakni:

- a) NbS merupakan pendekatan yang menawarkan solusi alami yang dapat mengurangi risiko dari berbagai jenis ancaman bencana sekaligus (*multihazard*) dengan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan (Debele dkk., 2023).
- b) NbS selaras dengan strategi pengurangan risiko bencana dan tujuan pembangunan berkelanjutan (United Nations, 2023; Debele dkk., 2023)
- c) NbS berfokus pada layanan konservasi ekosistem, yang sesuai dengan upaya Malaysia dalam menggalakkan konservasi perlindungan ekosistem (Seddon dkk., 2020)
- d) NbS mendukung keanekaragaman hayati melalui perlindungan ekosistem alami dan menggunakan spesies asli yang cenderung lebih tahan terhadap perubahan lingkungan, sekaligus mendukung stabilitas iklim, dan penyediaan beragam manfaat ekosistem lainnya. Sebaliknya, NbS yang berbasis monokultur dengan spesies non-asli lebih rentan terhadap gangguan lingkungan dan berpotensi menimbulkan konflik terkait manfaat ekosistem (Seddon dkk., p. 2). Studi lainnya menunjukkan bahwa penanaman mangrove pada lokasi yang

tidak sesuai hanya menghasilkan manfaat ekologis yang terbatas dan berisiko menjadi pemborosan sumber daya. Prinsip ini menjadi kunci kegagalan atau keberhasilan restorasi, sebagaimana yang terlihat pada beberapa kasus lokal di Selangor, termasuk di Sungai Haji Dorani (Hashim dkk., 2010; Kamali & Hashim, 2011). Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan NbS tidak ditentukan oleh intensitas intervensi, tetapi oleh kesesuaian dengan proses ekologis alami, yang seringkali diabaikan dalam pendekatan restorasi berbasis monokultur

- e) NbS merupakan solusi yang hemat biaya dibandingkan dengan pendekatan teknik tradisional dan dinilai relevan untuk diterapkan di negara berkembang. Hal ini didukung oleh temuan empiris yang menunjukkan bahwa NbS secara konsisten efektif dalam pembiayaan (*cost-effective*) mitigasi risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim, serta sebagian besar studi lainnya menemukan efektivitas biaya dalam kondisi tertentu. Selain itu, NbS terbukti tidak kalah efektif dibandingkan pendekatan berbasis rekayasa, bahkan dalam banyak kasus lebih unggul dalam mereduksi risiko, khususnya pada ekosistem seperti mangrove, hutan, dan pesisir (Seddon dkk., 2020, p. 2; Vicarelli dkk., 2024).
- f) NbS bukan hanya solusi yang membangun resiliensi fisik dan lingkungan melainkan turut membangun keterlibatan Masyarakat Lokal dalam pelaksanaannya untuk menumbuhkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab (Anderson & Renaud, 2021).
- g) NbS dipandang sebagai cara untuk menyelaraskan pembangunan ekonomi dengan pelestarian ekosistem, sekaligus membantu transformasi bisnis dan mendukung pembangunan berkelanjutan (Koojiman dkk., 2021).

Malaysia memilih opsi NbS dengan berfokus pada perlindungan ekosistem Mangrove. Konservasi mangrove telah diusung sejak awal abad ke 20, dimulai dengan perhatian terhadap hutan bakau di Matang, Perak, Malaysia yang menjadi contoh sukses pengelolaan hutan bakau yang sistematis sejak awal abad ke-20. Kawasan ini mulai dikelola secara khusus pada tahun 1901, dengan tujuan utama memanfaatkan sumber daya alam secara

berkelanjutan, seperti produksi arang dan tiang kayu (Amir dkk., 2020). Meskipun berorientasi pada pengelolaan sumber daya, sistem pengelolaan di Matang menerapkan praktik silvikultur yang ketat. Praktik ini terbukti menjaga keberlanjutan struktur dan fungsi ekosistem mangrove. Studi menunjukkan bahwa setelah penebangan, kawasan mangrove di Matang mampu mengalami regenerasi baik secara alami maupun melalui penanaman kembali secara konsisten, sehingga tetap mempertahankan tutupan hutan dan produktivitas jangka panjang. Kecepatan pemulihan mangrove tersebut juga dipengaruhi oleh faktor spasial ekologis, khususnya kedekatan dengan perairan dan tegakan *Rhizophora*, di mana area yang lebih dekat cenderung pulih lebih cepat, sementara kedekatan dengan hutan daratan justru memperlambat proses pemulihan. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan faktor ekologis spasial dalam mendukung efektivitas pengelolaan dan keberhasilan regenerasi mangrove (Otero dkk., 2020; Khan dkk., 2024). Sejak itu, hutan bakau Matang ditetapkan sebagai cagar alam permanen, dan pengelolaannya diatur oleh serangkaian rencana kerja dari *Forestry Department* Malaysia yang kemudian menjadi model untuk penelitian ekologi dan silvikultur serta dirujuk untuk diterapkan di hutan Negara bagian dan wilayah lainnya di Malaysia (Amir dkk., 2020, p. 578).

Hal di atas mengindikasikan bahwa meskipun awalnya berorientasi ekonomi, praktik silvikultur di Matang secara empiris telah menghasilkan sistem ekosistem mangrove yang stabil dan resilien, yang kemudian menjadi praktik pengelolaan yang mempertimbangkan faktor ekologis yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas adaptif ekosistem mangrove, sehingga berpotensi menjadi alternatif solusi berbasis alam dalam meningkatkan adaptasi terhadap perubahan iklim di Malaysia (Goessens dkk., 2014; Ong & Ellison, 2021; Das dkk., 2026).

Adapun kebijakan perlindungan mangrove diatur dalam *National Forestry Act* 1984 dan *National Forest Policy* 1978 (revisi 1992) yang mengarahkan pengelolaan ekosistem mangrove dengan pendekatan terpadu yang mengadopsi hasil penelitian maupun studi ekologi dalam kerangka *research and development* (R&D).

Efektivitas dan Tantangan Penerapan Nature Based Solution di Malaysia

Upaya NbS di Malaysia diklasifikasikan berdasarkan kategori yang didefinisikan oleh *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), meliputi restorasi ekosistem, pengelolaan berbasis ekosistem, perlindungan ekosistem, dan pendekatan infrastruktur berbasis ekosistem. Terdapat 5 (lima) jenis pendekatan utama mencakup pemulihan ekosistem, penanganan ekosistem spesifik, pendekatan berbasis infrastruktur, pengelolaan ekosistem, dan perlindungan ekosistem. Pendekatan pemulihan ekosistem mencakup 12 (dua belas) upaya yang dirujuk pada sumber seperti *Reef Check Malaysia*. Pendekatan penanganan ekosistem spesifik mencakup 6 (enam) upaya, dengan contoh seperti laporan teknis AM18013. Pendekatan berbasis infrastruktur hanya memiliki 3 (tiga) upaya, juga didukung oleh *Reef Check Malaysia*. Pendekatan yang lebih banyak digunakan adalah pengelolaan ekosistem, dengan 86 (delapan puluh enam) upaya, dan perlindungan ekosistem yang mencakup 205 (dua ratus lima) upaya, didukung oleh banyak sumber seperti *World Wild Fund for Nature* (WWF), *Protected Planet*, dan *Birdlife International* (Chee dkk., 2021, p. 6).

Malaysia melakukan upaya pengurangan risiko bencana dengan memilih pendekatan yang disesuaikan dengan kondisi lokal, pemilihan metode yang tepat dan dukungan ilmiah yang menentukan keberhasilan ekosistem. Upaya untuk menerapkan NbS dengan lokus utama pada kawasan pesisir untuk mengurangi risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim. Restorasi di Semenanjung Malaysia dilakukan di taman laut untuk memperbaiki kerusakan ekosistem laut akibat aktivitas pariwisata. Beragam metode digunakan mulai dari teknik konvensional hingga inovatif, seperti penggunaan geotube di Selangor untuk memperlambat erosi sehingga transplantasi mangrove lebih berhasil. Juga dilakukan upaya penggunaan struktur kaca semen daur ulang di Terengganu dan Pahang untuk mendukung transplantasi karang. Beberapa upaya lainnya juga masih menunjukkan kegagalan seperti di Sungai Haji Dorani, Selangor, restorasi gagal karena spesies yang dipilih tidak sesuai dengan kondisi banjir air laut (Chee dkk., 2021, p. 6). Upaya lainnya

juga nampak pada pengelolaan mangrove di Matang Mangrove Forest Reserve menunjukkan bahwa penerapan silvikultur berbasis siklus tebang tanam yang konsisten mampu menjaga keberlanjutan struktur dan fungsi ekosistem mangrove dalam jangka panjang meskipun awalnya berorientasi pada pemanfaat-

an sumber daya (Omar, 2024; Das dkk., 2026). Untuk memperjelas efektivitas dan tantangan implementasi NbS di berbagai lokasi, ringkasan berikut disajikan dalam Tabel 1 yang memuat metode yang digunakan, status keberhasilan, serta faktor penentu utama di masing-masing lokasi.

Tabel 1. Efektivitas dan Faktor Penentu Implementasi NbS dalam Perlindungan Ekosistem Mangrove di Malaysia

Lokasi	Metode	Status	Faktor pendukung
Semenanjung Malaysia	Restorasi ekosistem dilakukan di taman laut untuk memperbaiki kerusakan ekosistem laut akibat aktivitas pariwisata.	Berhasil (parsial)	Dukungan kebijakan konservasi dan pembatasan aktivitas pariwisata, namun keberhasilan bergantung pada pengelolaan berkelanjutan.
Selangor	Penggunaan geotube dan tranplantasi mangrove.	Berhasil	Geotube efektif memperlambat erosi dan menstabilkan sedimen sehingga meningkatkan keberhasilan penanaman mangrove.
Terengganu dan Pahang	Penggunaan struktur kaca-semen daur ulang untuk mendukung transplantasi karang.	Berhasil	Inovasi material meningkatkan substrat bagi pertumbuhan karang dan mendukung pemulihan ekosistem.
Sungai Haji Dorani, Selangor	Restorasi ekosistem mangrove.	Gagal	Ketidaksesuaian spesies dengan kondisi lingkungan akibat banjir air laut dan dinamika pesisir.
Matang Mangrove Forest Reserve	Silvikultur mangrove berbasis siklus tebang tanam dengan kombinasi re-generasi alami dan penanaman kembali.	Berhasil	Konsistensi pengelolaan jangka panjang, kesesuaian spesies (<i>Rhizophora</i>), serta faktor ekologis spasial yakni kedekatan dengan perairan mempercepat re-generasi.

Perlindungan ekosistem Mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang signifikan, membantu mengurangi konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer. Ketika mangrove mengalami kerusakan atau diubah menjadi lahan lain (seperti tambak atau perkebunan), karbon yang tersimpan di biomassa dan tanah dilepaskan kembali ke atmosfer sebagai gas rumah kaca. Hal ini dapat menyebabkan emisi karbon dalam jumlah besar, sehingga kerusakan mangrove memiliki dampak negatif pada perubahan iklim. Hal ini menjadi ancaman yang dihadapi dalam konservasi ekosistem mangrove di Malaysia (Amir dkk., 2020). Mangrove membantu mengurangi batas maksimum genangan air di daratan karena energi gelombang dilemahkan oleh batang dan sistem akar. Konservasi mangrove seringkali terkikis dengan adanya aktivitas pembangunan yang masif di Kawasan Pesisir Malaysia.

Meskipun hasil riset dan penelitian konservasi mangrove digalakkan di Malaysia bahkan menjadi arahan global, namun minat dan kepedulian masyarakat Malaysia tentang pentingnya konservasi Mangrove secara umum

masih rendah. Hingga terjadi tsunami dahsyat pada 26 Desember 2004, yang menyapu perairan Malaysia melalui Selat Malaka. Dimana dalam catatan gempa bumi, pantai Barat Semenanjung Malaysia belum pernah mengalami tsunami. Pemerintah Malaysia mulai berupaya melakukan responsi terhadap kondisi pasca penanganan bencana gempa dan tsunami tersebut dan menyadari hal penting bahwa kawasan dengan vegetasi pantai yang baik dapat mengurangi kerusakan dibandingkan dengan area yang tidak memiliki perlindungan alami. Observasi pasca tsunami tersebut menunjukkan kawasan Kuala Muda, di mana garis pantainya tidak memiliki hutan mangrove, sehingga gelombang tsunami sangat kuat hingga menimbulkan kerusakan parah. Namun, hanya sedikit lebih ke utara di desa Padang Salim, rumah-rumah yang berada sekitar 50 meter dari hutan mangrove tidak mengalami kerusakan. Sehingga untuk mendukung percepatan, Pemerintah membentuk Satuan Tugas Khusus Nasional untuk rehabilitasi ekosistem pesisir yang dikoordinasikan oleh *Ministry of Natural Resources and Environment* dan *Forestry*

Department serta Lembaga Penelitian *Forest Research Institute of Malaysia* (FRIM) (Abdullah dkk., 2005, p. 7).

Adapun identifikasi kegagalan restorasi perlindungan ekosistem mangrove sebagai upaya pengurangan risiko bencana di Malaysia dijabarkan sebagai berikut: 1) Fungsi ekosistem mangrove di Malaysia telah diteliti dan dikaji secara mendalam, tetapi masih belum ada kesepakatan mengenai spesies mangrove mana yang menjadi spesies kunci dalam ekosistem mangrove Malaysia. Diperlukan lebih banyak eksperimen terkontrol untuk memahami hubungan antara keanekaragaman spesies dan fungsi ekosistem mangrove (Jusoff, 2013, p. 1000; Seddon dkk., 2020); 2) Dampak perubahan iklim mencakup adanya kenaikan permukaan air laut yang berdampak pada respons mangrove terhadap tekanan tersebut. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengevaluasi dinamika migrasi mangrove di masa depan sebagai respons terhadap perubahan iklim. Tanpa ketersediaan ruang daratan yang memadai akibat tekanan pembangunan pesisir, proses migrasi ini dapat terhambat dan menyebabkan degradasi atau bahkan kehilangan ekosistem mangrove di Malaysia (Jusoff, 2013, p. 1000; Ellison, 2015; Omar, 2024); dan 3) Invasi spesies liar: Keberadaan spesies gulma invasif memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi ekstrem mangrove dapat berkembang pesat, mengubah struktur habitat, menghambat regenerasi alami, serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Hal ini tentu perlu diantisipasi agar tidak membahayakan habitat mangrove dan berdampak pada ketidakberlanjutan ekosistem (Jusoff, 2013, p. 1000; Biswas dkk., 2018).

Observasi pasca tsunami 2004 menunjukkan bahwa kawasan dengan vegetasi mangrove yang baik, mampu mengurangi dampak kerusakan secara signifikan dibandingkan kawasan tanpa mangrove. Meskipun peristiwa tersebut menjadi titik balik dalam penguatan konservasi mangrove, implementasi kebijakan berbasis mangrove di Malaysia masih menghadapi kesenjangan antara pengetahuan ilmiah dan praktik di lapangan. Kegagalan restorasi di beberapa lokasi, seperti Sungai Haji Dorani mencerminkan praktik penanaman mangrove seringkali tidak didasarkan pada kesesuaian ekologi, dinamika sedimen, maupun pemilihan spesies yang tepat sebagaimana direkomendasikan dalam kajian ilmiah. Kondisi

tersebut menunjukkan bahwa meskipun potensi mangrove sebagai solusi berbasis alam telah diakui secara luas, implementasinya di Malaysia masih menghadapi berbagai tantangan teknis mendasar.

Sehingga, diidentifikasi berbagai tantangan penerapan NbS dalam perlindungan ekosistem mangrove di Malaysia sebagai berikut:

- a) Terdapat berbagai kajian ilmiah dalam penerapan NbS melalui perlindungan ekosistem mangrove di Malaysia. Namun praktik penerapan yang seringkali tidak sesuai dengan rekomendasi kajian ilmiah turut menjadi tantangan signifikan mengenai keberhasilan penerapan NbS. Kesenjangan ini dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain lemahnya integrasi antara hasil penelitian dan perencanaan teknis di lapangan, pendekatan proyek yang cenderung berorientasi pada target penanaman jumlah bibit dibanding keberhasilan ekosistem jangka panjang, keterbatasan kapasitas teknis pelaksana, serta minimnya data lokal yang detail untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi.
- b) Berbagai kebijakan dan rencana pembangunan di Malaysia seperti Rencana Malaysia, Rencana Fisik Nasional, dan kebijakan sektor mulai memasukkan isu perubahan iklim. Namun, masih ada kekurangan keterbatasan yaitu belum adanya kerangka pelaksanaan kebijakan yang kuat. Hal ini menyebabkan koordinasi antar tingkat pemerintahan (Federal, Negara Bagian dan Lokal/Distrik) serta antar sektor masih belum berjalan optimal (Government of Malaysia, 2024).
- c) Meskipun pendekatan NbS melalui perlindungan ekosistem menjadi opsi prioritas pengurangan risiko bencana dan adaptasi perubahan iklim di Malaysia, namun belum terdapat kerangka yang terstruktur mengenai program, capaian dan pendanaan yang terintegrasi dalam sebuah dokumen agar dapat ditindaklanjuti secara sinergis oleh berbagai Pemangku Kepentingan di Malaysia.
- d) Tantangan dalam mengukur atau memprediksi keberhasilan NbS menyebabkan ketidakpastian tinggi terkait efisiensi biaya dibandingkan dengan solusi lain.

- e) Keterbatasan pembiayaan masih menjadi tantangan utama, mengingat implementasi NbS memerlukan dukungan pendanaan lintas sektor. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan untuk menstimulasi pembangunan di berbagai sektor terkait, sehingga alokasi anggaran seringkali belum terfokus dan optimal dalam mendukung penerapannya (UNDRR, 2020, pp. 20-21; Government of Malaysia, 2025)
- f) Sejauh ini belum ada sistem evaluasi untuk penanaman kembali dan restorasi mangrove.
- g) Meskipun ada Satuan Tugas Khusus Nasional, integrasi antar Lembaga untuk rehabilitasi ekosistem pesisir perlu diperkuat, termasuk keterlibatan masyarakat dan sektor swasta.
- h) Tata kelola yang cenderung tidak fleksibel menjadi tantangan dalam penerapan NbS di Malaysia karena pendekatan kebijakan dan kelembagaan masih bersifat *top down*, sektoral dan berbasis prosedur yang baku dan kurang adaptif terhadap kondisi terkini. NbS pada dasarnya membutuhkan pengelolaan yang kontekstual, lintas sektor, dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Namun kerangka regulasi yang kaku dapat membatasi inovasi di tingkat lokal dan menghambat penyesuaian strategi berbasis bukti ilmiah terbaru. Akibatnya, implementasi NbS sering tidak optimal, kurang partisipatif, dan gagal menangkap kompleksitas fungsi ekologisnya dalam menghadapi dinamika krisis perubahan iklim di Malaysia.

Sejalan dengan yang telah diupayakan Malaysia pada akhir abad ke-20, dimana Malaysia mulai meningkatkan penelitian terkait konservasi hutan Mangrove dengan didukung oleh sivitas Akademisi yang memuat dukungan lembaga penelitian FRIM dan universitas-universitas ternama, seperti Universitas Malaya dan Universiti Sains Malaysia. Upaya Pemerintah Malaysia turut melibatkan kelembagaan teknis seperti *Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES)* dan *Department of Survey and Mapping Malaysia* dalam peran survei dan Pemetaan, *the Royal Malaysian Navy* atau Angkatan Laut Malaysia dalam peran keamanan, dan *the National Security Division* dalam peran kewaspadaan tsunami maupun penyelidikan pasca tsunami (Abdullah dkk., 2005, p. 8). Sehingga, tata kelola ini juga

menjadi tantangan untuk menghadirkan sinergitas dalam penerapan NbS untuk ketangguhan Kota terhadap bencana.

Selain upaya dan kelembagaan, pendidikan dan kesadaran sangat penting untuk melawan ketidaktahuan. Namun agar pesan-pesan ini berhasil disampaikan ke Masyarakat, diperlukan publikasi yang efektif. Artinya Media memiliki peran besar untuk memastikan informasi ini tersebar luas. Jika media terus memberikan liputan yang intens dan konsisten tentang pentingnya konservasi mangrove dan perencanaan pembangunan yang ramah lingkungan, maka ide-ide ini lebih mungkin diterima oleh publik. Selain itu, dukungan dari tokoh politik dan pemberitaan media yang kuat dapat menjadi dorongan yang besar (Abdullah dkk., 2005, p. 19).

Sebuah studi komparatif menjelaskan dukungan agar pendekatan mitigasi bencana dapat berjalan efektif adalah dengan mendukung kapasitas adaptasi melalui pemberdayaan Masyarakat. Seperti halnya yang dilakukan di Bangladesh dengan pendekatan *Ecosystem Based Adaptation* memberikan akses informasi tentang perubahan iklim dan sumber daya alam untuk mendukung pilihan mata pencaharian. Hal serupa dilakukan oleh Togo dengan meningkatkan inklusi sosial dan kemandirian kelompok perempuan dan Generasi Muda untuk dilibatkan secara mandiri mengolah ketahanan pangan saat gempa. Upaya serupa juga dilakukan di Ethiopia dengan tujuan membentuk tata kelola yang menjadi lebih inklusif dengan memberdayakan perempuan dan kelompok rentan (Seddon dkk., 2020). Berdasarkan upaya yang dilakukan oleh berbagai negara tersebut, Malaysia dapat mengambil pelajaran bahwa keberhasilan penerapan NbS tidak hanya bergantung pada praktik perlindungan ekosistem, tetapi juga sangat ditentukan oleh penguatan kapasitas adaptif masyarakat melalui pemberdayaan yang inklusif, seperti peningkatan akses terhadap informasi iklim serta pemahaman pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan dan tidak eksploitatif, memperluas peran perempuan dan Generasi Muda dalam pengelolaan pesisir, serta membangun tata kelola partisipatif yang memungkinkan komunitas lokal terlibat langsung dalam pengambilan keputusan dan pengembangan mata pencaharian yang tetap selaras dengan upaya perlindungan ekosistem mangrove sebagai bentuk implementasi NbS.

Sehingga penerapan NbS di Malaysia tetap adaptif terhadap pendekatan yang inovatif dan menjadikan Masyarakat sebagai Penggerak.

Lesson Learned & Best Practice

Identifikasi penerapan, efektivitas, dan tantangan solusi berbasis alam NbS di Malaysia dapat memberikan pembelajaran berharga yang relevan untuk diterapkan secara global. Pengalaman penerapan NbS di Malaysia menawarkan wawasan penting dalam membentuk *best practice* yang dapat diadaptasi di berbagai Negara. NbS dalam konteks global memiliki keterkaitan erat dengan SDGs (United Nations, 2023) khususnya: 1) Tujuan 3: Kesehatan yang baik dan kesejahteraan; 2)

Tujuan 6: Akses terhadap air bersih dan sanitasi; 3) Tujuan 11: Kota dan Masyarakat yang berkelanjutan; 4) Tujuan 13: Penanganan perubahan iklim, dan 5) Tujuan 14: Menjaga ekosistem laut.

Keterkaitan ini dipahami dalam penerapannya secara langsung melalui restorasi mangrove. Upaya ini tidak hanya memberikan satu manfaat, tetapi mampu mendukung berbagai sektor sekaligus untuk menghadapi dampak perubahan iklim, seperti kesehatan, kualitas air, ketahanan wilayah pesisir, hingga perlindungan ekosistem laut. Visualisasi yang disajikan dalam Gambar 4 menunjukkan bagaimana restorasi mangrove berkontribusi terhadap berbagai target SDGs bersamaan.



Gambar 4. Manfaat Restorasi Mangrove Terhadap Target Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs)

Relevansi NbS dalam mendukung pencapaian tujuan-tujuan ini menunjukkan potensinya sebagai pendekatan strategis untuk menghadapi berbagai tantangan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Sehingga dapat dirumuskan beberapa rekomendasi praktis sebagai berikut:

- Melakukan Penilaian Prioritas. Pendekatan NbS merupakan upaya pengurangan risiko bencana dan adaptasi iklim yang memiliki prinsip dapat diimplementasikan secara mandiri dan terintegrasi dengan solusi lain.

Selain, dapat menciptakan efisiensi biaya, pendekatan ini berbasis pada sumber daya ekosistem, namun penerapannya beragam dan harus tepat sasaran menangani risiko bencana yang paling sering terjadi pada kawasan tersebut. Sehingga penilaian prioritas seperti yang dilakukan oleh Malaysia, akan menjadikan pendekatan NbS lebih efektif diterapkan.

- Pendekatan Ilmiah dan Berbasis Data. Data menjadi sumber daya penting untuk menentukan langkah implementasi yang

- tepat dalam mengurangi risiko bencana dengan pendekatan NbS. Melibatkan Akademisi untuk memberikan dukungan ilmiah. Melakukan pendataan spesies asli yang paling sesuai dengan fungsi ekosistem lokal untuk keberlanjutan perlindungan ekosistem. Pendekatan NbS untuk mitigasi bencana juga dapat didukung dengan penggunaan teknologi seperti penginderaan jauh untuk memetakan ekosistem yang rentan pada kawasan rentan bencana. Hal yang paling penting adalah memastikan bahwa setiap praktik yang diterapkan berlandaskan pada kajian ilmiah yang direkomendasikan.
- c) Integrasi NbS dalam Kerangka Kebijakan. Merumuskan perencanaan implementasi NbS dalam dokumen terpisah, atau menggabungkan NbS dalam dokumen strategis nasional, seperti jika di Malaysia dapat dimuat dalam *National Forestry Act* dan *National Forest Policy*, yang menjadi dasar untuk pengelolaan mangrove secara terpadu.
 - d) Keterlibatan Masyarakat Lokal. Melibatkan masyarakat atau komunitas lokal dalam pelaksanaan NbS guna menumbuhkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab terhadap ekosistem, sekaligus didukung oleh peningkatan kapasitas adaptif dalam penerapannya
 - e) Sinergitas Sektoral. Implementasi NbS bukan hanya menjadi konsentrasi dari pemerintah pada sektor kerja kebencanaan atau lingkungan hidup saja, melainkan juga penting bagi setiap sektor mengintegrasikan perencanaan untuk mengakomodir NbS guna upaya pengurangan risiko bencana dan adaptasi iklim yang efektif. Pentingnya sinergitas sektoral dalam tata kelola terlihat pada kebutuhan untuk mengharmonisasikan kebijakan, memperkuat koordinasi antar lembaga, dan memastikan inklusivitas dalam pengambilan keputusan. Sehingga terwujud tata kelola dengan pendekatan secara holistik.
 - f) Optimalisasi Kolaborasi Pentahelix melibatkan sinergi antara lima elemen utama: Pemerintah, Akademisi, Sektor Bisnis, Masyarakat Sipil, dan Media, untuk menciptakan solusi yang inovatif dan berkelanjutan dalam pengurangan risiko bencana dan adaptasi iklim. Pemerintah berperan sebagai aktor utama dalam menciptakan kerangka kebijakan, regulasi, serta perencanaan strategis yang mendukung implementasi NbS melalui perlindungan ekosistem mangrove. Akademisi berkontribusi dalam menyediakan dasar ilmiah melalui penelitian, inovasi, dan pengembangan teknologi. serta mengawal kesesuaian implementasi praktiknya. Serta penting untuk sektor bisnis memiliki peran strategis sebagai penggerak keberlanjutan ekonomi NbS melalui penyediaan investasi dan pengembangan model bisnis berbasis lingkungan.
 - g) Pendekatan Adaptif dan Inovatif. Memilih metode yang sesuai dengan kondisi lokal dan melakukan eksperimen terkontrol untuk mengidentifikasi metode terbaik dalam implementasi NbS serta adaptif terhadap tantangan perkembangan. Dalam praktiknya, pendekatan ini dapat dikembangkan melalui *hybrid solutions*, Keterlibatan sektor bisnis juga dapat diwujudkan melalui skema pembiayaan hijau, tanggung jawab sosial perusahaan (CSR), maupun inovasi pasar seperti ekowisata dan perdagangan karbon. Dengan demikian, sektor bisnis tidak hanya mendukung pendanaan, tetapi juga menciptakan nilai ekonomi yang memperkuat keberlanjutan implementasi NbS. Selain itu, juga keterlibatan masyarakat mencerminkan kapasitas adaptif melalui partisipasi dalam restorasi mangrove, penerapan pertanian adaptif, serta pengelolaan sumber daya berbasis kearifan lokal yang mampu menyesuaikan dengan perubahan kondisi lingkungan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem. Serta peran Media sebagai penghubung informasi dan pembentuk persepsi publik dalam mendukung implementasi NbS serta turut berinovasi mendukung keberlanjutan ekonomi dalam penerapan NbS dengan mempromosikan inisiatif berbasis lingkungan dan menarik perhatian pemangku kepentingan, termasuk investor. Dengan keahlian dan sumber daya masing-masing pihak, kolaborasi ini dapat menghasilkan kebijakan yang lebih responsif menjawab tantangan penerapan NbS dalam perlindungan ekosistem mangrove. pembiayaan bagi penerapan NbS.

yaitu kombinasi antara infrastruktur alami dan buatan untuk meningkatkan efektivitas intervensi. Sebagai contoh, penggunaan geotube di Selangor berfungsi untuk memperlambat erosi dan menstabilkan sedimen, sehingga meningkatkan keberhasilan transplantasi mangrove. Pendekatan ini menunjukkan bahwa inovasi yang adaptif tidak hanya memperkuat fungsi ekologis, tetapi juga meningkatkan keberhasilan implementasi NbS dalam menghadapi dinamika kondisi lingkungan.

- h) Melakukan Monitoring dan Evaluasi. Monitoring dan evaluasi dilakukan untuk memberikan gambaran evaluasi capaian

sejauh mana NbS berkontribusi dalam membangun ketangguhan suatu Kota menghadapi bencana secara kontinu. Menetapkan indikator yang terukur untuk mengevaluasi keberhasilan NbS, seperti tingkat pemulihan ekosistem, penurunan risiko bencana, atau peningkatan keanekaragaman hayati.

Berdasarkan rekomendasi di atas, maka dapat dirumuskan suatu instrumen evaluatif berupa rumusan *best practice* yang dapat digunakan oleh Pengambil Kebijakan dalam menerapkan NbS pada kerangka pembangunan yang adaptif terhadap perubahan iklim. Adapun rumusan *best practice* diuraikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rumusan Best Practice Integrasi Nature-based Solutions dalam Kebijakan dan Implementasi Pembangunan

Pilar Utama	Komponen Kunci	Implementasi Praktis
Teknis	Perencanaan strategis	<ol style="list-style-type: none"> Menetapkan kriteria prioritas yang jelas terkait praktik NbS yang sesuai dengan karakteristik kawasan untuk menghadapi dampak perubahan iklim. Melakukan penilaian prioritas penerapan NbS yang relevan dengan karakteristik tantangan perubahan iklim kawasan. Mengembangkan <i>hybrid solutions</i> yang mengintegrasikan infrastruktur alami dan buatan.
	Pemilihan spesies	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan penentuan spesies kunci. Antisipasi dan pengelolaan migrasi mangrove. Pengendalian spesies invasif.
Legal	Kebijakan berbasis data ilmiah	<ol style="list-style-type: none"> Pendataan dan kajian ilmiah terkait pendekatan NbS melalui perlindungan ekosistem mangrove. Sinergitas rekomendasi kajian ilmiah dengan praktik penerapan NbS. Monitoring dan evaluasi praktik penerapan NbS.
	Integrasi dengan kebijakan strategis Nasional	<ol style="list-style-type: none"> Mekanisme review kebijakan berbasis pembaruan ilmiah secara berkala berdasarkan hasil monitoring dan evaluasi di lapangan. Integrasi hasil riset akademik dan data ilmiah ke dalam dokumen kebijakan operasional strategi Nasional.
Sosial	Keterlibatan Masyarakat	<ol style="list-style-type: none"> Melibatkan Masyarakat dalam perencanaan hingga praktik penerapan NbS. Peningkatan pengetahuan dan kesadaran masyarakat guna mendukung keberlanjutan perlindungan ekosistem mangrove.
Pendanaan	Kapasitas Masyarakat	<ol style="list-style-type: none"> Membentuk kemitraan antar sektor. Mengembangkan skema pendanaan bersama.
	Kolaborasi pendanaan	<ol style="list-style-type: none"> Penyediaan investasi dan pengembangan model bisnis berbasis lingkungan. Mempromosikan inisiatif berbasis lingkungan dan menarik perhatian pemangku kepentingan.
	Investasi multisektor	

KESIMPULAN

Penelitian ini menekankan pentingnya pendekatan NbS dalam mitigasi bencana dan adaptasi terhadap perubahan iklim di Malaysia. Penelitian ini menunjukkan bahwa strategi ini tidak hanya dapat mengurangi risiko bencana, tetapi juga berkontribusi pada perlindungan

ekosistem yang vital untuk membangun ketangguhan Kota di tengah krisis iklim. Penerapan NbS di Malaysia memberikan pelajaran berharga yang relevan untuk diadaptasi secara global dalam mendukung pencapaian kota yang berketahanan bencana dalam kerangka SDGs. Di sisi lain, kebijakan adaptasi perubahan

iklim dalam upaya mengurangi risiko bencana masih berjalan terpisah antara pendekatan pembangunan infrastruktur keras dan konservasi lingkungan sehingga menciptakan kesenjangan kebijakan yang menghambat respon yang adaptif dan terintegrasi. Sehingga pendekatan NbS hadir sebagai solusi yang mengintegrasikan infrastruktur dengan dukungan pelestarian ekosistem. Pendekatan NbS dengan proses yang alami, tidak hanya mengurangi risiko bencana, tetapi juga memperkuat ketahanan ekosistem dan masyarakat secara berkelanjutan.

SARAN

Pendekatan NbS dapat diintegrasikan secara efektif melalui serangkaian langkah strategis yang terencana dan kontekstual. Meskipun Malaysia telah menunjukkan kemajuan signifikan dalam penerapan NbS, berbagai tantangan dalam aspek tata kelola maupun teknis masih perlu diatasi guna mencapai efektivitas yang optimal. Temuan penelitian ini memberikan pelajaran berharga serta praktik terbaik yang berpotensi untuk direplikasi dalam upaya manajemen bencana dan adaptasi perubahan iklim di tingkat global. Sehingga, untuk meningkatkan efektivitas implementasi pendekatan NbS, diperlukan sistem evaluasi yang terukur. Beberapa elemen indikator kunci yang disarankan meliputi:

1. Efektivitas perencanaan strategi dan kebijakan adaptif, dengan mengintegrasikan berbagai kajian ilmiah ke dalam praktik implementasi NbS. Hal ini mencakup penentuan prioritas berbasis penilaian risiko untuk memastikan NbS mampu menangani permasalahan yang paling mendesak dan relevan di suatu kawasan, seperti restorasi mangrove untuk mitigasi bencana di wilayah pesisir, serta didukung oleh kebijakan yang fleksibel, inovatif, dan berbasis data kajian ilmiah.
2. Kesesuaian perlindungan ekosistem mangrove perlu direncanakan secara teknis dengan memperhatikan keanekaragaman hayati dan keberadaan spesies kunci, dinamika migrasi, serta tingkat invasi spesies asing. Pendekatan ini dapat dilakukan melalui eksperimen terkontrol untuk mengidentifikasi metode terbaik dalam implementasi NbS, khususnya melalui perlindungan ekosistem mangrove. Hal ini bertujuan untuk menjaga keberlanjutan fungsi dan perlindungan ekosistem

mangrove dalam menghadapi dampak perubahan iklim yang dinamis.

3. Efektivitas dan tingkat kolaborasi Aktor, mencakup Pemerintah baik Nasional hingga lokal, Akademisi, Swasta, Masyarakat Sipil, dan Media menjadi dukungan dalam memenuhi pembiayaan dan menjaga keberlanjutan implementasi NbS. Sinergi antar aktor ini tidak hanya mendorong inovasi teknis, tetapi juga memperkuat dukungan pendanaan dan menghasilkan kebijakan yang lebih inklusif.

Setiap langkah strategis dalam implementasi NbS perlu dilengkapi dengan indikator kinerja yang relevan untuk memastikan efektivitas dan akuntabilitasnya. Evaluasi dan pemantauan terhadap indikator memerlukan sistem pelaporan yang transparan untuk mendukung keberlanjutan. Sehingga, penerapan NbS di Malaysia tidak hanya mencerminkan upaya teknis dalam pengurangan risiko bencana akibat krisis perubahan iklim, tetapi juga menandai adanya pergeseran paradigma dari pendekatan yang berorientasi pada pengendalian alam menuju langkah strategi yang bekerja selaras dengan proses alami. Keberhasilan pendekatan ini berpotensi menjadi arah strategi yang penting bagi negara-negara berkembang dalam merespons dinamika ketidakpastian perubahan iklim di abad ke-21.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan pendanaan dalam masa pembelajaran yang menghasilkan karya penulisan ini, sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik secara administratif maupun teknis, termasuk dalam proses pengumpulan data, diskusi akademik, serta penelaahan naskah, serta *reviewers* dan editor *Journal of Geographical Sciences and Education* yang telah membantu meningkatkan kualitas naskah. Seluruh isi dan temuan dalam artikel ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Tan, K., & Ghazali, N. (2005). No More in the Comfort Zone - Malaysia's Response to the December 2004 Tsunami. *International Hydrography and*

- Oceanography Conference and Exhibition*. Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage Malaysia.
- Amir, A. A., Foong, S. Y., Kaur, C. R., Satyanarayana, B., Sharma, S., Ismail, A., Awang, N. A., Kanniah, K. D., Then, A. Y. H., Singh, H. R., Azman, M. S., Wee, A. K. S., Dahboub-Guebas, F., & Latiff, A. (2020). The Strategic Establishment of the Malaysian Mangrove Research Alliance and Network (MyMangrove). *Malayan Nature Journal*, 72(4), 577-595.
- Anderson, C. C., & Renaud, F. G. (2021). A Review of Public Acceptance of Nature-based Solutions: The ‘Why’, ‘When’, and ‘How’ of Success for Disaster Risk Reduction Measures. *Nature-based Solutions in River Landscapes*, 50(8), 1552-1573. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01502-4>
- ASEAN. (2024). *ASEAN Strategy on Sustainable Mangrove Ecosystem Management 2024-2030*. Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). Retrieved from https://asean.org/wp-content/uploads/2025/04/i.-ASEAN-Strategy_Mangrove_final-fixed_rev2-241017.pdf
- Aslan, A., Rahman, A. F., Robeson, S. M., & Ilman, M. (2021). Land-use Dynamics Associated with Mangrove Deforestation for Aquaculture and the Subsequent Abandonment of Ponds. *Science of the Total Environment*, 791, 148320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148320>
- Bhagarathi, L. K., & DaSilva, P. N. (2024). Impacts and Implications of Anthropogenic Activities on Mangrove Forests : A Review. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 11(01), 040-059. <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.11.1.0074>
- Biswas, S. R., Biswas, P. L., Limon, S. H., Yan, E.-R., Xu, M.-S., & Khan, M. S. (2018). Plant Invasion in Mangrove Forests Worldwide. *Forest Ecology and Management*, 429, 480-492. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.046>
- Camara, M., Jamil, N. R., & Abdullah, A. F. B. (2019). Impact of Land Uses on Water Quality in Malaysia : A Review. *Ecological Processes*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0164-x>
- Center for Excellence in Disaster Management & Humanitarian Assistance Malaysia. (2016). *Disaster Management Reference Handbook*. Kuala Lumpur, Malaysia: Center for Excellence in Disaster Management & Humanitarian Assistance Malaysia.
- Central Intelligence Agency. (2023). *Explore All Countries - Malaysia*. Amerika Serikat: CIA World Factbook. Retrieved November 2024, from <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/malaysia/>
- Chee, S. Y., Firth, L. B., Then, A. Y. H., Yee, J. C., Mujahid, A., Affendi, Y. A., Amir, A. A., Lau, C. M., Ooi, J. L. S., Quek, Y. A., Tan, C. E., Yap, T. K., Yeap, C. A., & McQuatters-Gollop, A. (2021). Enhancing Uptake of Nature-Based Solutions for Informing Coastal Sustainable Development Policy and Planning: A Malaysia Case Study. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, Article 708507. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.708507>
- Chen, D., Satyanarayana, B., Wolswijk, G., Abd Rahim, N. H., Amir, A. A., Hugé, J., & Dahdouh-Guebas, F. (2024). Historical Ecological Monitoring and Appraisal for Extractive Uses and Other Values in Malaysia Unveils Consequence of Regime Shifts in 120 years of Mangrove Management. *Journal for Nature Conservation*, 79, 126582. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126582>
- Commonwealth Local Government Forum. (2018). *The Local Government System in Malaysia*. Retrieved from www.clgf.org.uk/malaysia
- Das, S., Dutta, S., Roy, J., Choudhury, M. R., Sen, P., Chanda, A., Dutta, H., Nandi, S., & Ghosh, T. (2026). Mangroves in the Anthropocene : A Global Synthesis of Carbon Storage, Biodiversity, and Coastal Resilience under Climate and Anthropogenic Stressors. *Science of the Total Environment*, 1015, 181405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2026.181405>

- Debele, S. E., Leo, L. S., Kumar, P., Sahani, J., Ommer, J., Bucchignani, E., Vranić, S., Kalas, M., Amirzada, Z., Pavlova, I., Shah, M. A. R., Gonzalez-Ollauri, A., & Di Sabatino, S. (2023). Nature-based Solutions can help reduce the impact of natural hazards : A global analysis of NBS case studies. *Science of The Total Environment*, *902*, 165824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165824>
- Department of Statistics Malaysia. (2025, Oktober 16). *Population Dashboard*. Retrieved from OpenDOSM: <https://open.dosm.gov.my/ms-MY/dashboard/population>
- Economic Planning Unit Malaysia. (2022). *Water Sector Transformation 2040*. Academy of Sciences Malaysia. Retrieved from https://wst2040.my/wp-content/uploads/2022/06/PDF-Volume-VI_final.pdf
- Ellison, J. C. (2015). Vulnerability Assessment of Mangroves to Climate Change and Sea-Level Rise Impacts. *Wetlands Ecology and Management*, *23*(2), 115-137. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9397-8>
- Forum of Federations. (2025). *Forum of Federations*. Retrieved from Malaysia: <https://www.forumfed.org/countries/malaysia>
- Ganugapenta, S., Ariffin, E. H., Li, W., Zainuddin, S. N. H., Din, M. I. S. J., Menhat, M. N. S., Zaki, N. M., Mokhtarm M., Razali, M. R., Maulud, K. N. A., & Miskon, M. F. (2026). Index Based Assesment of Coastal Vulnerability along the West Coast of Peninsular Malaysia : Evidence of Climate Change and Athropogenic Impacts. *Oceand & Coastal Management*, *276*, 108128. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2026.108128>
- Goessens, A., Satyanarayana, B., der Stocken, T. v., Zuniga, M. Q., Mohd-Lokman, H., Sulong, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2014). Is Matang Mangrove Forest in Malaysia Sustainbly Rejuvenating after More than a Century of Conservation and Harvesting Management. *PloS one*, *9*(8), e105069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105069>
- Government of Malaysia. (2016). *Climate Resilient Development Strategy Paper 11*. Director General Economic Planning Unit Prime Minister. Retrieved from <https://ekonomi.gov.my/sites/default/files/2021-05/Strategy%20Paper%2011.pdf>
- Govenment of Malaysia. (2024). *National Climate Change Policy 2.0*. Ministry of Natural Resources and Environmental Sustainability. Retrieved from <https://www.nres.gov.my/ms-my/pustakamedia/Penerbitan/National%20Policy%20on%20Climate%20Change%202.0.pdf>
- Hamilton, S. E., & Casey, D. (2016). Creation of a High Spatio-temporal Resolution Global Database of Continuous Mangrove Forest Cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecoogy and Biogeography*, *2016*(25), 729-738. <https://doi.org/10.1111/geb.12449>
- Hashim, R., Kamali, B., Tamin, N. M., & Zakaria, R. (2010). An Integrated Approach to Coastal Rehabilitation : Mangrove Restoration in Sungai Haji Dorani, Malaysia. *Estuarine, Coastal and ShelfScience*, *86*(1), 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.10.021>
- Hynes, S., Burger, R., Tudella, J., Norton, D., & Chen, W. (2022). Estimating the Costs and Benefits of Protecting a Coastal Amenity from Climate Change-Related Hazards: Nature Based Solutions via Oyster Reef Restoration Versus Grey Infrastructure. *Ecological Economics*, *194*, 107349. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107349>
- Itoh, M., Osaka, K., Iizuka, K., Kosugi, Y., Lion, M., & Shiodera, S. (2023). Assessing the Changes in River Water Quality Across a Land-use Change (Forest to Oil Palm Plantation) in Peninsular Malaysia Using the Stable Isotopes of Water and Nitrate. *Science of the Total Environment*, *859*, 160319. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160319>
- Jusoff, K. (2013). Malaysian Mangrove Forest and Theis Significance to the Coastal Marine Environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, *22*(4), 979-1005.
- Kamali, B., & Hashim, R. (2011). Mangrove Restoration without Planning. *Ecological Engineering*, *37*(2), 387-391.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.025>
- Khan, W. R., Nazre, M., Akram, S., Anees, S. A., Mehmood, K., Ibrahim, F. H., Edrus, S. S. O. A., Latiff, A., Fitri, Z. A., Yaseen, M., Li, P., & Zhu, X. (2024). Assessing the Productivity of the Matang Mangrove Forest Reserve: Review of One of the Best-Managed Mangrove Forests. *Forests*, *15*(5), 747. <https://doi.org/10.3390/f15050747>
- Koojiman, E. D., S. M., Rhodes, M.-L., Collier, M. J., & Pilla, F. (2021). Innovating with Nature : From Nature-Based Solutions to Nature-Based Enterprises. *Sustainability*, *13*(3), 1263. <https://doi.org/10.3390/su13031263>
- Liu, M., Lai, C., Zhang, Y., Chen, B., & Wang, M. (2025). Multi-objective Optimisation of Integrated Grey-Green Infrastructure in Response to Climate Change from a Life Cycle Perspective. *Journal of Cleaner Production*, *498*, 145162 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145162>
- OECD. (2024). Nature-based Solutions for Flood Management in Asia and the Pacific. In K. Molnar-Tanaka, & S. Surminski, *OECD Development Centre Working Paper No. 351*. OECD Development Centre. Retrieved from https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/03/nature-based-solutions-for-flood-management-in-asia-and-the-pacific_da08c7b0/f4c7bcbe-en.pdf
- Omar, H. (2024). *Status of Mangroves in Malaysia*. Malaysia: Forest Research Institute Malaysia.
- Ong, W. J., & Ellison, J. C. (2021). Chapter 20 - A Framework for the Quantitative Assessment of Mangrove Resilience. *Dynamic Sedimentary Environments of Mangrove Coasts*, 513-538. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816437-2.00016-1>
- Otero, V., Lucas, R., Kerchove, R. V., Satyanarayana, B., Mohd-Lokman, H., & Dahdouh-Guebas, F. (2020). Spatial Analysis of Early Mangrove Regeneration in the Matang Mangrove Forest Reserve, Peninsular Malaysia, using Geomatics. *Forest Ecology and Management*, *472*, 118213 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118213>
- Pittock, A. B. (2005). In *Climate Change: Turning up the Heat*. CSIRO Publishing; London; Earthscan.
- Rosmadi, H. S., Ahmed, M. F., Mokhtar, M. B., B. H., & Scholz, M. (2024). Nature-Based Solutions (NbS) for Flood Management in Malaysia. *Water*, *16*(3606). <https://doi.org/10.3390/w16243606>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the Value and Limits of Nature-Based Solutions to Climate Change and Other Global Challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *375*(1794). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Shafein, M. H., Ghani, L. A., Jamin, R. M., Mauzud, S. M., & Sharaai, A. H. (2025). Investigating the Roles of Actors in the Management of the Setiu Mangrove Swamp System within a Social-Ecological System (SES) Framework. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, *10*(1), e003195-e003195. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v10i1.3195>
- Sharma, S., Lee, B. S., Nicholas, R. E., & Keller, K. (2021). A Safety Factor Approach to Designing Urban Infrastructure for Dynamic Conditions. *Earth's Future*, *9*(12), e2021EF002118. doi:<https://doi.org/10.1029/2021EF002118>
- Tamimi, B., Ahmad, W. J. W., Said, M. N. M., & Zain, C. R. C. M. (2023). Assesing the Impacts of Global Warming on Magrove Plants in Malaysia. *Al-Bahir Journal for Engineering and Pure Sciences*, *2*(1). <https://doi.org/10.55810/2312-5721.1013>
- The Star. (2025, Desember 04). RM2.5bil committed to improving nation's water supply, Dewan Rakyat told. Kuala Lumpur, Malaysia. Retrieved April 09, 2026, from <https://www.thestar.com.my/news/nation/2025/12/04/rm25bil-committed-to-improving-nation039s-water-supply-dewan-rakyat-told?utm>
- The Straits Times. (2025, Maret 06). Malaysia to Build \$1.5b Reservoirs, Water Treatment Plants to Boost Johor's Self-sufficiency. Retrieved April 09, 2026, from <https://www.straitstimes.com/asia/se->

asia/malaysia-to-build-s1-5b-reservoirs-water-treatment-plants-to-boost-johors-self-sufficiency?utm_source

UNDRR. (2020). *Disaster Risk Reduction in Malaysia : Status Report 2020*. Bangkok, Thailand: United Nations Office for Disaster Risk Reduction - Regional Office for Asia and Pacific Asian Disaster Preparedness Center. Retrieved from <https://www.undrr.org/media/48531/download?startDownload=20260204>

United Nations. (2023). *The Sustainable Development Goals Report*. UNSDSN. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>

Vicarelli, M., Sudmeier-Rieux, K., Alsadadi, A., Shrestha, A., Schutze, S., Kang, M. M., Leue, M., Wasielewski, D., & Mysiak, J. (2024). On the Cost-effectiveness of Nature-based Solutions for Reducing Disaster Risk. *Science of the Total Environment*, 947, 174524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174524>



Copyright (c) 2026 by the author. This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).