

Sistem Peringatan Dini untuk Banjir Rob dan Sampah Laut: Analisis SWOT

Sapta Suhardono¹, Moh Rizal Ngambah Sagara², I Wayan Koko Suryawan^{3*}

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No.36 A, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126 Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Bandung
Jl. Soekarno Hatta No.378, Bandung, Jawa Barat 40235 Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina
Jl. Teuku Nyak Arief, RT.7/RW.8, Simprug Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12220 Indonesia
Corresponding author, email: i.suryawan@universitaspertamina.ac.id

ABSTRAK: Di tengah meningkatnya bencana lingkungan seperti banjir rob dan masalah luas sampah laut, peningkatan kapasitas adaptasi masyarakat menjadi sangat penting. Penelitian ini menyelami tantangan kritis dalam meningkatkan mekanisme adaptasi lokal terhadap bencana lingkungan tersebut, dengan fokus khusus pada peningkatan kesiapsiagaan masyarakat melalui implementasi strategis Sistem Peringatan Dini (EWS). Dengan menggunakan pemeriksaan rinci terhadap kondisi saat ini bersamaan dengan analisis SWOT (Kekuatan, Kelemahan, Peluang, Ancaman) yang komprehensif, studi ini secara teliti menilai tingkat kesiapan teknologi, infrastruktur, dan sosial komunitas dalam menghadapi bencana tersebut. Penyelidikan ini mengungkapkan kebutuhan mendesak untuk EWS yang terintegrasi dengan mulus, yang ditandai dengan kekuatan signifikan seperti potensi teknologi yang muncul dan kesadaran yang meningkat dalam komunitas. Meskipun memiliki kekuatan ini, studi ini menemukan tantangan berat, termasuk ketergantungan yang mencolok pada teknologi yang mungkin tidak dapat diakses secara universal dan adanya resistensi di antara segmen tertentu dari populasi. Mengingat peluang yang disajikan oleh kebijakan pemerintah yang mendukung dan kemajuan teknologi, di tengah ancaman seperti perubahan iklim yang tidak dapat diprediksi dan kekhawatiran atas keamanan data, penelitian ini mengusulkan model implementasi EWS yang inklusif dan kolaboratif. Studi ini menyimpulkan bahwa EWS, ketika diterapkan secara strategis melalui pendekatan partisipatif yang melibatkan semua pemangku kepentingan mulai dari komunitas lokal hingga badan pemerintah dan mitra teknologi, dapat berfungsi sebagai langkah efektif untuk menangkal bencana lingkungan. Pendekatan semacam itu tidak hanya memastikan ketahanan komunitas tetapi juga menumbuhkan budaya kesiapsiagaan dan kapasitas adaptasi yang esensial untuk mengurangi dampak tantangan lingkungan yang semakin sering dan parah ini.

Kata kunci: Sistem Peringatan Dini; Kapasitas Adaptasi; Analisis SWOT; Bencana Lingkungan

Early Warning System for Rob Floods and Marine Sampah laut: A SWOT Analysis

ABSTRACT: *In the face of escalating environmental calamities such as rob flood disasters and the pervasive issue of marine debris, enhancing community adaptive capacities has never been more crucial. This research delves into the critical challenge of bolstering local adaptive mechanisms against these environmental disasters, focusing on elevating community preparedness through the strategic implementation of an Early Warning System (EWS). This study meticulously assesses communities' technological, infrastructural, and social preparedness in confronting such disasters by utilizing a detailed examination of current conditions alongside a comprehensive SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis. The investigation reveals a compelling need for a seamlessly integrated EWS, underscored by considerable strengths such as the potential of emerging technologies and heightened awareness within the community. Despite these strengths, the study uncovers formidable challenges, including a marked dependence on technology that may not be universally accessible and the presence of resistance among certain segments of the population. Considering opportunities presented by supportive government policies and advancements in technology against a backdrop of threats like unpredictable climate changes and*

concerns over data security, the research proposes a model for EWS implementation that is both inclusive and collaborative. The study concludes that an EWS, when strategically deployed through a participatory approach that engages all stakeholders ranging from local communities to government bodies and technological partners can serve as an effective countermeasure to environmental disasters. Such an approach not only ensures the resilience of communities but also fosters a culture of preparedness and adaptive capacity that is essential for mitigating the impacts of these increasingly frequent and severe environmental challenges.

Keywords: Early Warning System (EWS); Adaptive Capacity; SWOT; Environmental Disasters

PENDAHULUAN

Di era modern, tantangan lingkungan yang kita hadapi seringkali menembus batas geografis, membutuhkan solusi yang tidak hanya inovatif tapi juga adaptif. Polusi pantai, sebagai salah satu tantangan utama di daerah pesisir, merusak ekosistem maritim dan menimbulkan kerugian ekonomi yang besar. Khususnya di Kabupaten Jembrana, fenomena banjir rob telah menyoroiti kerentanan masyarakat terhadap ancaman lingkungan (Eryani *et al.*, 2019; Mahayana *et al.*, 2019; Nuraga & Eratodi, 2020). Kejadian ini menimbulkan kebutuhan mendesak untuk memahami dan mengatasi isu tersebut dengan cara yang adaptif dan efisien (Febrianty & Kusumartono, 2011).

Banjir rob pada garis depan masalah ekologi ini adalah pencemaran pantai yang semakin merajalela di Kabupaten Jembrana (Asmara *et al.*, 2021; Eryani *et al.*, 2019). Khususnya, area pesisir dapat dicemari oleh endapan sampah laut, terutama limbah plastik (Sari *et al.*, 2022). Sungai, yang sering disebut sebagai urat nadi planet kita, berubah menjadi pembawa polusi, mengangkut sampah laut dari tepian mereka yang meluap langsung ke laut, mengubah perairan laut biru menjadi tempat penyimpanan limbah yang keruh. Pantai, yang dulu merupakan lambang ketenangan dan keindahan alam, kini menjadi pengingat suram dari interaksi antara kejadian alam dan masalah lingkungan yang diinduksi manusia.

Namun, situasi di Jembrana bukanlah kejadian terisolasi dari pencemaran pantai. Ini adalah gambaran mikro dari narasi ekologi yang lebih besar yang menekankan kerumitan dan keterkaitan dalam lingkungan kita. Sungai, saat meluap, tidak hanya membawa air. Mereka menjadi saluran untuk segala sesuatu di jalurnya, baik alami maupun buatan manusia (Maganzani, 2023; White, 2002). Saat air naik, mereka menyapu pohon-pohon yang tumbang, tanah, dan sayangnya, sejumlah besar limbah manusia yang dibuang, terutama plastik yang tidak dapat terurai.

Dampak dari polusi semacam itu adalah beragam. Secara ekologis, kehidupan laut yang asli di perairan pantai ini menghadapi ancaman langsung (De-la-Torre *et al.*, 2021; Roman *et al.*, 2021). Pantai dan perairannya menjadi perangkap kematian di mana hewan laut berisiko konstan menelan partikel plastik beracun atau terperangkap dalam sampah laut yang lebih besar (Duncan *et al.*, 2019; Godswill & Gospel, 2019). Namun, dampaknya tidak terbatas pada ekologi saja. Pantai Jembrana, seperti banyak daerah pesisir di seluruh dunia, sangat penting bagi jaringan sosial-budaya dan ekonomi kabupaten tersebut. Pesona alamnya menarik penduduk setempat dan turis, menawarkan kedamaian, rekreasi, dan sumber nafkah bagi sebagian orang. Keadaan pantai yang dipenuhi sampah laut secara langsung mengurangi aspek-aspek ini. Bagi penduduk setempat, terutama mereka yang mata pencaharian mereka bergantung pada pantai, baik melalui penangkapan ikan atau pariwisata, sampah laut yang terdampar bukan hanya pemandangan yang tidak menyenangkan tetapi juga hambatan langsung bagi rutinitas dan sumber pendapatan mereka sehari-hari.

Dalam skala sosioekonomi yang lebih luas, tantangan yang dihadapi Jembrana akibat polusi pantai berpotensi menimbulkan dampak signifikan yang meluas jauh melampaui batas geografisnya. Terutama dalam konteks pariwisata, yang merupakan sektor kunci dalam perekonomian beberapa daerah di kabupaten tersebut, pencemaran pantai yang persisten dapat secara serius menghambat daya tarik destinasi bagi pengunjung. Situasi ini tidak hanya berisiko menurunkan jumlah kunjungan wisatawan tetapi juga dapat menekan pendapatan usaha lokal yang bergantung pada sektor

pariwisata, dengan dampak berantai pada perekonomian kabupaten secara keseluruhan. Mengingat urgensi masalah ini, perlunya penerapan solusi aset cerdas dan adaptif menjadi sangat penting (Ali Najah Ahmed *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2022; Suryawan & Lee, 2023; Sutrisno *et al.*, 2023). Salah satu aset krusial yang dapat mendukung upaya ini adalah pengembangan dan penerapan EWS yang efisien. Sistem ini dapat memainkan peran vital dalam meningkatkan kemampuan adaptasi komunitas lokal terhadap risiko lingkungan, termasuk banjir rob dan akumulasi sampah laut, dengan menyediakan informasi dan peringatan dini tentang potensi ancaman.

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis mendalam terhadap adaptasi pengelolaan sampah laut di Jembrana, khususnya yang berkaitan dengan fenomena banjir rob. Penelitian ini menggunakan analisis SWOT sebagai alat untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang berhubungan dengan respons adaptif masyarakat dan pemerintah terhadap tantangan tersebut. Diharapkan, melalui pendekatan ini, penelitian dapat memberikan wawasan dan rekomendasi strategis bagi pemangku kepentingan di Jembrana. Rekomendasi tersebut bertujuan untuk memperkuat kapasitas adaptasi lokal dalam mengatasi tantangan lingkungan yang semakin kompleks, sekaligus mendukung keberlanjutan sektor pariwisata dan ekonomi lokal di tengah tekanan perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

MATERI DAN METODE

Perubahan iklim dan tantangan lingkungan kontemporer menekankan pentingnya memiliki sistem peringatan dini atau *Early Warning System* (EWS) yang efisien. EWS, yang diperkuat oleh kemajuan teknologi informasi dan komunikasi, berfungsi sebagai instrumen kunci untuk memitigasi dampak bencana dan meningkatkan kapasitas adaptasi masyarakat. Sebelum melangkah lebih jauh dalam implementasi, pemahaman mendalam tentang kondisi eksisting dan Analisis SWOT adalah langkah krusial. Analisis kondisi saat ini di daerah target merupakan langkah fundamental untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang topografi, serta karakteristik sosial dan budaya yang ada, berdasarkan observasi lapangan yang detail. Evaluasi terhadap infrastruktur teknologi yang tersedia, termasuk sistem telekomunikasi dan basis data historis, adalah esensial untuk memahami kesiapan teknis wilayah tersebut dalam menghadapi bencana. Kapasitas dan kemampuan institusi lokal dalam mengelola informasi bencana dan kerja sama mereka dengan berbagai entitas terkait turut menentukan kesuksesan implementasi EWS. Dengan menggunakan analisis SWOT, kita dapat secara sistematis mengeksplorasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang berkaitan dengan penerapan EWS di daerah tersebut. Aspek seperti infrastruktur teknologi yang baik, tingkat kesadaran masyarakat yang tinggi, dan kerja sama institusional yang efektif muncul sebagai pilar utama yang mendukung pelaksanaan sistem ini. Namun, berbagai tantangan seperti dependensi pada teknologi, keterbatasan sumber daya, dan kompleksitas dalam pengintegrasian data dari sumber-sumber beragam mengemuka sebagai hambatan yang harus diatasi.

Terlepas dari kelemahan tersebut, terdapat peluang signifikan untuk peningkatan melalui inovasi teknologi dan dukungan eksternal yang potensial, yang bisa dimanfaatkan untuk mengoptimalkan sistem. Akan tetapi, ancaman seperti variabilitas iklim yang tidak dapat diprediksi, kemungkinan resistensi dari beberapa kelompok masyarakat, dan isu keamanan data harus diantisipasi dan dikelola dengan bijak. Berdasarkan analisis tersebut, rekomendasi strategis dapat dibentuk untuk implementasi EWS yang efektif, termasuk pengembangan infrastruktur yang sesuai dengan kebutuhan, pelaksanaan pelatihan yang komprehensif, penerapan strategi komunikasi yang efektif, dan pemanfaatan teknologi terkini. Pada akhirnya, kesuksesan penerapan EWS secara substansial bergantung pada kolaborasi yang erat antara semua pemangku kepentingan, dari pemerintah, sektor swasta, hingga komunitas lokal. Pendekatan yang inklusif dan kolaboratif, oleh karena itu, menjadi kunci penting dalam mencapai keberhasilan yang berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adaptive capacity merupakan sebuah konsep yang merujuk pada kemampuan sistem,

lembaga, manusia, dan organisme lainnya untuk menyesuaikan diri dengan potensi kerusakan, memanfaatkan peluang, atau merespon konsekuensi yang muncul (Ali Najah Ahmed *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2022; Suryawan & Lee, 2023; Sutrisno *et al.*, 2023). Dalam konteks sistem sosial-ekonomi, terutama melalui pendekatan pembangunan berkelanjutan dan adaptasi perubahan iklim, kapasitas adaptif sering kali difokuskan pada aset-aset seperti modal manusia, modal teknologi, modal finansial, dan modal institusi (Lam *et al.*, 2019; Trégarot *et al.*, 2021).

Banjir rob, sebagai fenomena alam yang memadukan kenaikan air laut dengan cuaca ekstrem, seringkali memperparah pencemaran sampah laut di pesisir (Haseler *et al.*, 2019; Mita *et al.*, 2023), termasuk di Jembrana. Dengan mengintegrasikan sistem peringatan dini ke dalam strategi pengelolaan sampah laut, Jembrana dapat lebih efektif dalam merespons dan mengurangi dampak negatif dari sampah yang terbawa oleh banjir rob. Ini akan memberikan manfaat jangka panjang bagi keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat pesisir.

Sampah laut telah menjadi salah satu isu lingkungan yang paling mendesak di abad ke-21 (Andriopoulou *et al.*, 2022). Di Jembrana, isu ini diperparah dengan adanya fenomena banjir rob yang sering terjadi. Oleh karena itu, pendekatan yang komprehensif dan adaptif sangat diperlukan. Dengan perubahan iklim dan intensifikasi aktivitas manusia, aliran sampah ke laut melalui sungai telah meningkat. Menempatkan sistem deteksi di DAS menjadi sangat krusial. Teknologi berbasis sensor dan kamera pemantauan dapat dipasang di titik-titik kritis di sepanjang aliran sungai. Dengan demikian, dapat dilakukan pemantauan real-time terhadap volume dan jenis sampah yang berpotensi mencemari pantai ketika banjir rob terjadi. Menggunakan teknologi canggih juga memungkinkan pemetaan dan kuantifikasi sampah dengan lebih akurat, sehingga dapat memprediksi seberapa besar dampak yang akan ditimbulkan (Li *et al.*, 2020; Suryawan & Lee, 2023). Selain itu, dengan data ini, otoritas setempat dapat melakukan identifikasi sumber utama pencemaran dan melakukan tindakan preventif di sumber tersebut. Secara lengkap rencana EWS untuk pesisir Jembrana dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana EWS Untuk Pesisir Jembrana

Rencana <i>Early Warning System</i>	Deskripsi
Deteksi dan Monitoring Sampah di DAS	Rencana ini menggunakan teknologi seperti sensor dan kamera pemantauan untuk mendeteksi dan memantau akumulasi sampah di hulu dan tengah daerah aliran sungai. Penumpukan sampah di sini bisa menjadi indikator bahwa banjir rob dapat mengakibatkan sampah terbawa ke laut.
Analisis Data	Rencana ini mengkombinasikan data cuaca, prediksi banjir rob, dan data sampah di DAS untuk memprediksi besarnya dampak sampah yang akan mencemari laut. Dengan begitu, otoritas setempat dapat merencanakan tindakan preventif dan responsif.
Komunikasi	Rencana ini melakukan sosialisasi kepada masyarakat tentang potensi dampak sampah laut akibat banjir rob. Ini dapat melibatkan edukasi tentang dampak lingkungan dan sosial-ekonomi dari sampah laut, serta mengajak masyarakat untuk berpartisipasi dalam upaya pencegahan dan penanggulangan.
Tindakan Respons	Rencana ini memobilisasi tim dan masyarakat untuk bersiap-siap membersihkan pantai dari sampah pasca-banjir rob. Selain itu, mengaktifkan fasilitas pengelolaan sampah di daerah aliran sungai untuk mengurangi jumlah sampah yang masuk ke laut.
Peningkatan Kapasitas Adaptif	Rencana ini melibatkan pemangku kepentingan seperti pemerintah, bisnis, dan masyarakat untuk membangun infrastruktur pengelolaan sampah yang lebih baik, serta memperkuat kebijakan dan regulasi yang mendukung upaya pencegahan dan penanggulangan sampah laut.

Pengumpulan data dari sensor dan kamera merupakan langkah awal. Data tersebut harus dianalisis untuk menghasilkan informasi yang bermanfaat. Integrasi antara data cuaca, prediksi tingkat kenaikan air laut, serta data dari DAS dapat memberikan gambaran holistik tentang potensi ancaman sampah laut akibat banjir rob. Pendekatan analitis ini memungkinkan Jembrana untuk bersiap secara proaktif, bukan hanya bereaksi setelah masalah muncul. Analisis data yang mendalam juga dapat memberikan wawasan tentang tren jangka panjang dalam pola sampah, memberikan dasar untuk perencanaan jangka panjang.

Tidak cukup hanya memiliki data dan analisis; komunikasi efektif kepada masyarakat sangat penting. Kesadaran masyarakat adalah kunci untuk mengurangi sampah yang masuk ke DAS. Selain itu, dengan memahami potensi dampak dari banjir rob, masyarakat dapat berpartisipasi aktif dalam upaya pencegahan dan penanggulangan. Workshop, seminar, dan program edukasi di sekolah dapat dilakukan untuk meningkatkan kesadaran. Selain itu, media sosial dan platform digital lainnya dapat dimanfaatkan untuk menyebarkan informasi dengan cepat dan luas.

Pengetahuan tentang potensi masalah adalah satu hal, tetapi tindakan nyata di lapangan adalah yang paling penting. Menyusun tim tanggap cepat yang terdiri dari pihak pemerintah, LSM, bisnis lokal, dan relawan masyarakat dapat memastikan bahwa saat banjir rob terjadi, ada koordinasi yang baik dalam menangani sampah yang mencemari pantai. Upaya penanggulangan sampah laut tidak hanya terbatas pada respons terhadap peristiwa banjir rob. Penguatan sistem pengelolaan sampah di daratan, peningkatan kesadaran masyarakat, dan pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan adalah langkah-langkah jangka panjang yang harus dilakukan (Sianipar *et al.*, 2022; Smith & Bernal, 2021; Suryawan & Lee, 2023).

Analisis SWOT

Analisis SWOT untuk penerapan EWS mengungkapkan aspek-aspek kunci yang dapat mempengaruhi keberhasilannya (Gambar 1). Dalam kategori Kekuatan (*Strengths*), deteksi dini menonjol sebagai elemen penting, yang memungkinkan masyarakat untuk merespons dengan cepat saat terjadi bencana. Peningkatan kesadaran masyarakat dan koordinasi yang lebih baik antar instansi menguatkan kapasitas respons komunal. Optimisasi sumber daya yang ada menunjukkan penggunaan efisien fasilitas dan keahlian yang tersedia. Di sisi lain, Kelemahan (*Weaknesses*) meliputi ketergantungan teknologi yang tinggi, yang menimbulkan risiko ketika akses atau keterampilan teknologi terbatas. Biaya yang terkait dengan penerapan dan pemeliharaan EWS bisa menjadi penghalang, bersama dengan kompleksitas sistem yang mungkin memerlukan pelatihan dan pemahaman teknis lebih lanjut. Potensi kesalahan baik manusia maupun teknis juga perlu dipertimbangkan, yang dapat mengurangi efektivitas sistem.

Kekuatan (Strengths)	Kelemahan (Weaknesses)
Deteksi Dini	Ketergantungan Teknologi
Peningkatan Kesadaran Masyarakat	Biaya
Koordinasi Lebih Baik	Kompleksitas
Optimalisasi Sumber Daya	Potensi Kesalahan
Peluang (Opportunities)	Ancaman (Threats)
Kolaborasi Intersektoral	Ketidakpastian Iklim
Pendanaan dan Dukungan Eksternal	Resistensi Masyarakat
Inovasi Teknologi	Keterbatasan Sumber Daya
Pendidikan dan Pelatihan	Isu Keamanan Data

Gambar 1. Analisis SWOT penerapan Early Warning System (EWS)

Tabel 2. Indikator Perencanaan EWS

Indikator	Deskripsi
Deteksi Dini	Dengan EWS, pihak berwenang dapat mendeteksi peningkatan volume sampah di DAS lebih awal, memberikan waktu lebih untuk merespons.
Peningkatan Kesadaran Masyarakat	Sistem yang memberikan peringatan dini dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak langsung dari sampah mereka dan pentingnya pengelolaan sampah yang tepat.
Koordinasi Lebih Baik	EWS memungkinkan koordinasi yang lebih baik antara pihak berwenang, komunitas, dan stakeholder lainnya dalam merespons masalah.
Optimalisasi Sumber Daya	Dengan informasi dini, sumber daya (seperti tenaga kerja, peralatan, dan dana) dapat dialokasikan dengan lebih efisien.
Ketergantungan Teknologi	Setiap kegagalan teknis dalam sistem dapat menghambat deteksi dini.
Biaya	Pemasangan dan pemeliharaan EWS mungkin memerlukan investasi awal yang signifikan.
Kompleksitas	Mengelola dan menginterpretasi data dari EWS mungkin memerlukan keahlian khusus.
Potensi Kesalahan	Sistem mungkin menghasilkan alarm palsu atau gagal mendeteksi ancaman tertentu, yang dapat menyebabkan ketidakpastian dalam tindakan respons.
Kolaborasi Intersektoral	EWS dapat mendorong kerja sama antara sektor publik, swasta, dan LSM dalam upaya pengelolaan sampah.
Pendanaan dan Dukungan Eksternal	Mengingat urgensi masalah lingkungan global, penerapan EWS mungkin menarik dukungan dan pendanaan dari organisasi internasional atau donor.
Inovasi Teknologi	Kemajuan teknologi dapat memperbaiki keakuratan dan efisiensi EWS dalam mendeteksi potensi ancaman sampah.
Pendidikan dan Pelatihan	Penerapan EWS dapat menjadi dasar untuk inisiatif pendidikan masyarakat tentang pentingnya keberlanjutan lingkungan.
Ketidakpastian Iklim	Perubahan iklim yang tak terduga dapat mengubah pola banjir rob, membuat prediksi melalui EWS menjadi lebih kompleks.
Resistensi Masyarakat	Beberapa anggota masyarakat mungkin skeptis atau tidak mempercayai peringatan yang diberikan oleh EWS, mengurangi efektivitas tindakan yang diambil.
Keterbatasan Sumber Daya	Di masa depan, mungkin ada keterbatasan dalam pendanaan atau sumber daya lainnya untuk mempertahankan atau meningkatkan EWS.
Isu Keamanan Data	Pengumpulan dan penyimpanan data oleh EWS dapat menimbulkan kekhawatiran tentang privasi dan keamanan data.

Peluang (*Opportunities*) yang teridentifikasi meliputi potensi untuk kolaborasi lintas sektor, yang dapat meningkatkan berbagi sumber daya dan pengetahuan. Pendanaan dan dukungan eksternal, seperti dari pemerintah atau donor internasional, dapat memperkuat inisiatif ini. Inovasi teknologi terus berkembang, memberikan kesempatan untuk memperbaiki sistem EWS yang ada, sementara program pendidikan dan pelatihan dapat meningkatkan kemampuan dan kesadaran masyarakat. Terkait Ancaman (*Threats*), ketidakpastian iklim menyulitkan prediksi peristiwa bencana dan menuntut EWS yang dapat beradaptasi dengan skenario yang berubah. Resistensi dari segmen masyarakat terhadap perubahan atau teknologi baru dapat menghambat adopsi sistem ini. Keterbatasan sumber daya seperti keuangan atau teknis dapat membatasi pengembangan atau pemeliharaan sistem yang berkelanjutan. Isu keamanan data, dalam konteks privasi dan keamanan informasi, juga menjadi perhatian khusus dalam pengelolaan sistem EWS.

Kekuatan dari EWS terletak pada kemampuannya untuk mendeteksi dan memberikan peringatan dini mengenai perubahan yang terjadi di lingkungan, termasuk peningkatan volume

sampah di DAS. Sistem semacam ini dapat memberikan pihak berwenang waktu yang cukup untuk merespons dan mengambil tindakan pencegahan. Lebih jauh lagi, EWS dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai dampak langsung dari aktivitas mereka terhadap lingkungan. Kesadaran ini dapat mendorong perilaku yang lebih bertanggung jawab dalam pengelolaan sampah. Selain itu, dengan informasi yang akurat dan tepat waktu, alokasi sumber daya seperti tenaga kerja, peralatan, dan dana dapat dioptimalkan (Phan *et al.*, 2023; Suryawan & Lee, 2023) untuk mengatasi masalah sampah laut.

Namun, kelemahan dari pendekatan EWS juga harus diperhatikan. Ketergantungan pada teknologi berarti bahwa setiap gangguan atau kegagalan teknis dapat menghambat efektivitas sistem. Investasi awal yang diperlukan untuk pemasangan dan pemeliharaan mungkin signifikan, dan ini mungkin menjadi beban bagi pemerintah daerah dengan anggaran yang terbatas. Selain itu, menginterpretasi data yang dihasilkan oleh sistem semacam ini memerlukan keahlian khusus (Ahmed *et al.*, 2022; dos Santos Alvalá *et al.*, 2019; Tarchiani *et al.*, 2020). Ada juga risiko kesalahan dalam sistem, yang dapat mengakibatkan alarm palsu atau kegagalan dalam mendeteksi ancaman yang sebenarnya.

Penerapan EWS juga membawa peluang. Ini mendorong kolaborasi antar sektor, dari pemerintah hingga swasta dan organisasi non-pemerintah, dalam upaya bersama untuk mengatasi masalah lingkungan. Dengan urgensi masalah lingkungan global, ada potensi untuk mendapatkan dukungan dan pendanaan dari organisasi internasional. Kemajuan teknologi mungkin membantu meningkatkan keakuratan dan efisiensi sistem, sementara penerapan EWS juga dapat menjadi dasar untuk program pendidikan lingkungan bagi masyarakat (Sufri *et al.*, 2020).

Namun, ada juga ancaman yang mungkin dihadapi. Perubahan iklim dan ketidakpastiannya dapat mempengaruhi pola banjir rob, membuat prediksi melalui EWS menjadi lebih kompleks (Chowdhury *et al.*, 2023; Wing *et al.*, 2022). Selain itu, ada risiko resistensi dari masyarakat, yang mungkin skeptis terhadap informasi atau peringatan yang diberikan oleh sistem. Dalam jangka panjang, keterbatasan sumber daya mungkin menjadi masalah, terutama jika diperlukan pendanaan atau sumber daya lain untuk mempertahankan atau meningkatkan sistem. Kekhawatiran lain adalah isu keamanan data, karena pengumpulan dan penyimpanan data oleh EWS dapat menimbulkan kekhawatiran tentang privasi. Deskripsi untuk setiap indikator SWOT dapat dilihat pada Tabel 2.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari studi tentang penggunaan EWS untuk meningkatkan kapasitas adaptasi menegaskan bahwa EWS merupakan alat vital untuk memitigasi bencana dan memperkuat daya tahan masyarakat dalam menghadapi tantangan lingkungan yang berubah-ubah dan ancaman perubahan iklim yang tak terduga. Kesiapan dan kebutuhan komunitas dalam menghadapi bencana dapat diukur melalui analisis yang mendalam terhadap kondisi saat ini, termasuk topografi, karakteristik sosial, dan infrastruktur teknologi yang tersedia. Analisis SWOT telah mengungkap bahwa terdapat kekuatan dan peluang yang dapat dimaksimalkan dalam penerapan EWS, namun juga menyoroti kelemahan dan ancaman yang memerlukan perhatian dan strategi mitigasi yang tepat. Keberhasilan penerapan EWS akan tergantung pada kemampuan untuk mengatasinya dan memanfaatkan potensi yang ada. Implementasi EWS yang berhasil mengharuskan adanya pembangunan infrastruktur yang dirancang dengan baik, program pendidikan dan pelatihan yang komprehensif, strategi komunikasi yang efektif, dan integrasi inovasi teknologi terkini. Faktor terpenting dalam kesuksesan EWS bukan hanya terletak pada teknologi yang canggih atau metode yang kompleks, tetapi pada kualitas kerja sama antar semua pihak terkait. Pendekatan yang inklusif, yang mempromosikan transparansi dan kolaborasi lintas sektor, adalah kunci utama untuk mewujudkan penerapan EWS yang efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Ali Najah Ahmed, A.N.A., Faridah Binti Othman, F.B.O., Haitham Abdulmohsin Afan, H.A.A., Rusul Khaleel Ibrahim, R.K.I., Fai ChowMing, F.C., Md Shabbir Hossain, M.S.H., Ehteram, M., &

- Ahmed Elshafie, A.E., 2019. Machine learning methods for better water quality prediction. *Journal of Hydrology*, 578. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.124084
- Andriopoulou, A., Giakoumi, S., Kouvarda, T., Tsabaris, C., Pavlatou, E., & Scoullou, M., 2022. Digital storytelling as an educational tool for scientific, environmental and sustainable development literacy on marine litter in informal education environments (Case study: Hellenic Center for Marine Research). *Mediterranean Marine Science*, 23(2):327–337. DOI:10.12681/mms.26942
- Asmara, T.M., Saraswati, R., & Hernina, R., 2021. Distribution and area changes of mangroves with remote sensing technology in Perancak Estuary, Jembrana, Bali. *Journal of Physics: Conference Series*, 1725(1). DOI:10.1088/1742-6596/1725/1/012069
- Chowdhury, P., Lakku, N.K.G., Lincoln, S., Seelam, J.K., & Behera, M.R., 2023. Climate change and coastal morphodynamics: Interactions on regional scales. *Science of The Total Environment*. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.166432
- De-la-Torre, G.E., Rakib, M.R.J., Pizarro-Ortega, C.I., & Dioses-Salinas, D.C., 2021. Occurrence of personal protective equipment (PPE) associated with the COVID-19 pandemic along the coast of Lima, Peru. *Science of the Total Environment*, 774. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.145774
- dos Santos Alvalá, R.C., de Assis Dias, M.C., Saito, S.M., Stenner, C., Franco, C., Amadeu, P., Ribeiro, J., Souza de Moraes Santana, R.A., & Nobre, C.A., 2019. Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41: p.101326. DOI:10.1016/j.ijdr.2019.101326
- Duncan, E.M., Arrowsmith, J.A., Bain, C.E., Bowdery, H., Broderick, A.C., Chalmers, T., Fuller, W. J., Galloway, T.S., Lee, J.H., Lindeque, P.K., Omeyer, L.C.M., Snape, R.T.E., & Godley, B.J. 2019. Diet-related selectivity of macroplastic ingestion in green turtles (*Chelonia mydas*) in the eastern Mediterranean. *Scientific Reports*, 9(1): p.1581. DOI:10.1038/s41598-019-48086-4
- Eryani, I.G.A.P., Runa, I.W., & Jayantari, M.W., 2019. Water potential management and arrangement of river estuary area for the mitigation of the climate change in Bali. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(3):849–854. DOI:10.18517/ijaseit.9.3.8224
- Febrianty, D., & Kusumartono, F.H., 2011. Kemampuan Adaptasi Masyarakat Di Permukiman Kumuh Terhadap Banjir Rob: Studi Kasus Kelurahan Kemijen Kota Semarang. *Jurnal Sosek Pekerjaan Umum*, 3(3):139–183.
- Godswill, C., & Gospel, C., 2019. Impacts of Plastic Pollution on the Sustainability of Seafood Value Chain and Human Health. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11):2488–9849.
- Haseler, M., Weder, C., Buschbeck, L., Wesnigk, S., & Schernewski, G., 2019. Cost-effective monitoring of large micro- and meso-litter in tidal and flood accumulation zones at south-western Baltic Sea beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 149: p.110544. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.11.0544
- Lam, V.W.Y., Chavanich, S., Djoundourian, S., Dupont, S., Gaill, F., Holzer, G., Isensee, K., Katua, S., Mars, F., Metian, M., & Hall-Spencer, J.M., 2019. Dealing with the effects of ocean acidification on coral reefs in the Indian Ocean and Asia. *Regional Studies in Marine Science*, 28: p.100560. DOI:10.1016/j.rsma.2019.100560
- Li, C.Z., Zhao, Y., Xiao, B., Yu, B., Tam, V.W.Y., Chen, Z., & Ya, Y., 2020. Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. *Journal of Cleaner Production*, 263: p.121458. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121458
- Maganzani, L., 2023. Rivers and flood risk management in rural areas: some evidence from classical Roman law. *Water History*, 15(1):125–159. DOI:10.1007/s12685-023-00317-2
- Mahayana, K.H., Nuraga, I.K., Budiarnaya, P., & Ariawan, P., 2019. Perencanaan Sistem Drainase Lingkungan Kawasan Loloan Timur, Kabupaten Jembrana. *Jurnal Ilmiah Telsinas*, 2(2):38–50.
- Mita, K.S., Orton, P., Montalto, F., Saleh, F., & Rockwell, J., 2023. Sea Level Rise-Induced Transition from Rare Fluvial Extremes to Chronic and Compound Floods. *Water*, 15(14): p.2671. DOI:10.3390/w15142671

- Nuraga, K., & Eratodi, I.G.L.B., 2020. Feasibility Study Bendungan Poh Santen Di Kabupaten Jembrana., *INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 16(2): 179–190. DOI:10.21831/inersia.v16i2.36903
- Phan, T.T.T., Nguyen, V.V., Nguyen, H.T.T., Chen, Y.J., & Lee, C.H., 2023. Evaluating citizens' willingness to participate in hypothetical scenarios towards sustainable plastic waste management. *Environmental Science & Policy*, 148: p.103543. DOI: 10.1016/j.envsci.2023.07.003
- Rocha, J., Lanyon, C., & Peterson, G., 2022. Upscaling the resilience assessment through comparative analysis. *Global Environmental Change*, 72: p.102419.. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2021.102419
- Roman, L., Schuyler, Q., Wilcox, C., & Hardesty, B.D., 2021. Plastic pollution is killing marine megafauna, but how do we prioritize policies to reduce mortality? *Conservation Letters*, 14(2): p.e12781. DOI:10.1111/conl.12781
- Sari, M.M., Inoue, T., Septiariva, I.Y., Suryawan, I.W.K., Kato, S., Harryes, R.K., Yokota, K., Notodarmojo, S., Suhardono, S., & Ramadan, B.S., 2022. Identification of Face Mask Waste Generation and Processing in Tourist Areas with Thermo-Chemical Process. *Archives of Environmental Protection*, 48(2):79--85.
- Sianipar, I.M.J., Suryawan, I.W.K., & Tarigan, S.R., 2022. The Challenges and Future of Marine Debris Policy in Indonesia and Taiwan Case Studies. *Journal of Sustainable Infrastructure*, 1(2):56–62.
- Smith, S.D.A., & Bernal, E., 2021. Quantifying mismanaged waste in a small Balinese coastal village: Comparisons of standing stock in different habitats. *Ocean & Coastal Management*, 202: p.105433. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2020.105433
- Sufri, S., Dwirahmadi, F., Phung, D., & Rutherford, S., 2020. A systematic review of Community Engagement (CE) in Disaster Early Warning Systems (EWSs). *Progress in Disaster Science*, 5: p.100058. DOI:10.1016/j.pdisas.2019.100058
- Suryawan, I.W.K., & Lee, C.H., 2023. Citizens' willingness to pay for adaptive municipal solid waste management services in Jakarta, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 97: p.104765. DOI:10.1016/j.scs.2023.104765
- Sutrisno, A.D., Chen, Y.J., Suryawan, I.W., & Lee, C.H., 2023. Building a Community's Adaptive Capacity for Post-Mining Plans Based on Important Performance Analysis: Case Study from Indonesia. *In Land*, 12(7): p.1285. DOI:10.3390/land12071285
- Tarchiani, V., Massazza, G., Rosso, M., Tiepolo, M., Pezzoli, A., Housseini Ibrahim, M., Katiellou, G. L., Tamagnone, P., De Filippis, T., Rocchi, L., Marchi, V., & Rapisardi, E., 2020. Community and Impact Based Early Warning System for Flood Risk Preparedness: The Experience of the Sirba River in Niger. *In Sustainability*, 12(5): p.1802. DOI:10.3390/su12051802
- Trégarot, E., Caillaud, A., Cornet, C.C., Taureau, F., Catry, T., Cragg, S.M., & Failler, P., 2021. Mangrove ecological services at the forefront of coastal change in the French overseas territories. *Science of The Total Environment*, 763: p.143004.. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143004
- White, W.B., 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions., *Engineering Geology*, 65(2):85–105. DOI:10.1016/S0013-7952(01)00116-8
- Wing, O.E.J., Lehman, W., Bates, P.D., Sampson, C.C., Quinn, N., Smith, A.M., Neal, J.C., Porter, J.R., & Kousky, C., 2022. Inequitable patterns of US flood risk in the Anthropocene. *Nature Climate Change*, 12(2):156–162. DOI:10.1038/s41558-021-01265-6