

JEPTEC
Journal of Environmental Policy and Technology
https://journal.ummat.ac.id/index.php/jeptec/index
Vol. 3, No. 2, November 2026, Hal. 42-53
e-ISSN 2962-8547

ANALISIS KERENTANAN PESISIR TERHADAP EROSI PANTAI MENGGUNAKAN METODE COASTAL VULNERABILITY INDEX: *A LITERATURE REVIEW*

Yosinta Legia[1], Aji Ali Akbar[2], Boy Rangga[3]
[123]Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura
ylegiaa@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak: Erosi pantai merupakan ancaman utama wilayah pesisir karena menyebabkan abrasi, kehilangan lahan, dan kerusakan infrastruktur. *Coastal Vulnerability Index* (CVI) banyak digunakan untuk menilai kerentanan pesisir. Artikel review ini bertujuan mengkaji perkembangan CVI, variabel, formula, klasifikasi, modifikasi, kelebihan, dan keterbatasannya. Metode yang digunakan adalah studi literatur (article review) melalui penelusuran terstruktur pada basis data ilmiah dengan mengacu pada panduan pelaporan PRISMA 2020, kemudian dianalisis secara tematik. Hasil tinjauan menunjukkan CVI umumnya menggunakan variabel geomorfologi, kemiringan pantai, perubahan garis pantai, kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut. Berbagai studi memodifikasi CVI dengan menambahkan elevasi, penggunaan lahan, serta faktor sosial-ekonomi, sedangkan kajian di Indonesia menunjukkan variasi variabel dan pembobotan yang besar. Kelebihan CVI terletak pada kesederhanaan dan kesesuaiannya dengan SIG, sedangkan keterbatasannya meliputi subjektivitas, resolusi data, dan minimnya validasi lapangan. Review ini merekomendasikan standardisasi variabel, integrasi sosial-ekonomi, validasi lapangan, dan pemanfaatan penginderaan jauh resolusi tinggi untuk meningkatkan akurasi penilaian kerentanan pesisir.

Kata Kunci: Coastal Vulnerability Index, erosi pantai, kerentanan pesisir, penginderaan jauh, adaptasi pesisir.

Abstract: *Coastal erosion is a major threat to coastal areas, causing abrasion, land loss, and infrastructure damage. The Coastal Vulnerability Index (CVI) is widely used to assess coastal vulnerability. This review aims to examine the development of CVI, its variables, formula, classification, modifications, strengths, and limitations. A structured literature review (article review) was conducted through searches of scientific databases, guided by the PRISMA 2020 reporting guidance, followed by thematic synthesis. The results show that CVI generally uses geomorphology, coastal slope, shoreline change, relative sea-level rise, wave height, and tidal range. Many studies modify CVI by adding elevation, land use, and socio-economic factors, while Indonesian applications show large variation in variables and weighting. CVI's strengths are simplicity and GIS compatibility, while its limitations include subjectivity, data resolution, and limited field validation. This review recommends variable standardization, socio-economic integration, field validation, and high-resolution remote sensing to improve coastal vulnerability assessment.*

Keywords: *Coastal Vulnerability Index, coastal erosion, coastal vulnerability, remote sensing, coastal adaptation.*

Article History:
Received: 27-10-2026
Revised : 02-11-2026
Accepted: 03-11-2026
Online : 03-11-2026

This is an open access article under the CC–BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Wilayah pesisir merupakan zona transisi antara daratan dan lautan yang memiliki dinamika tinggi serta berperan penting dalam kehidupan sosial-ekonomi masyarakat (Klein & Nicholls, 1999). Namun, wilayah ini juga menghadapi berbagai ancaman, terutama erosi pantai yang dipicu oleh gelombang, arus, pasang surut, kenaikan muka laut, serta aktivitas manusia seperti pembangunan infrastruktur, penambangan pasir, dan alih fungsi lahan mangrove (Gornitz, 1991; Szlafsztein & Sterr, 2007). Erosi pantai dapat menyebabkan hilangnya lahan produktif, kerusakan permukiman, terganggunya aktivitas ekonomi, dan meningkatnya risiko bencana pesisir (Boruff *et al*., 2005).

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk menilai kerentanan pesisir, salah satunya adalah *Coastal Vulnerability Index* (CVI). CVI pertama kali diperkenalkan oleh Gornitz (1990, 1991) dan kemudian dipopulerkan oleh Thieler dan Hammar-Klose (1999, 2000) melalui pendekatan USGS. Metode ini menilai kerentanan pesisir berdasarkan sejumlah variabel fisik, seperti geomorfologi, kemiringan pantai, perubahan garis pantai, kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut (Thieler & Hammar-Klose, 1999; Pendleton *et al*., 2004). CVI banyak digunakan karena sederhana, dapat diulang, dan mudah diintegrasikan dengan sistem informasi geografis (Doukakis, 2005; Murali *et al*., 2013).

Meskipun demikian, penerapan CVI di berbagai negara tidak seragam. Jumlah variabel, skala skor, teknik pembobotan, dan klasifikasi kerentanan berbeda-beda (Ramieri *et al*., 2011; Nguyen *et al*., 2016). Beberapa studi juga menambahkan variabel sosial-ekonomi, penggunaan lahan, elevasi, dan kapasitas adaptif (McLaughlin *et al*., 2002; Boruff *et al*., 2005; Mullick *et al*., 2019). Perbedaan ini menyulitkan perbandingan hasil antarwilayah dan menimbulkan pertanyaan mengenai validitas serta reliabilitas CVI (Kantamaneni *et al*., 2018). Oleh karena itu, artikel review ini penting untuk menyintesis perkembangan metode CVI, mengidentifikasi variabel yang umum digunakan, menilai kelebihan dan keterbatasannya, serta merumuskan arah riset ke depan, khususnya dalam konteks erosi pantai.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *article review* (tinjauan literatur) dengan metode studi literatur. Metode ini dipilih untuk menghimpun, menelaah, dan mensintesis hasil penelitian terdahulu tentang kerentanan pesisir terhadap erosi pantai, khususnya perkembangan, variabel, formula, klasifikasi, modifikasi, kelebihan, dan keterbatasan Coastal Vulnerability Index (CVI). Kajian ini tidak menetapkan wilayah studi tertentu dan tidak melibatkan pengumpulan data primer di lapangan karena seluruh data diperoleh dari sumber-sumber yang telah dipublikasikan. Sumber literatur berupa artikel ilmiah, jurnal penelitian, dan buku yang diakses secara daring melalui Google Scholar, Google Books, ScienceDirect, dan Directory of Open Access Journals (DOAJ), serta platform serupa lainnya.

Penelusuran literatur dilakukan secara terstruktur menggunakan kombinasi kata kunci dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia, yaitu "*coastal vulnerability index*", "CVI", "*coastal erosion*", "*shoreline change*", "*remote sensing*", "kerentanan pesisir", "indeks kerentanan pantai", dan "erosi pantai", yang dikombinasikan dengan operator Boolean *AND* dan *OR*. Rentang tahun publikasi yang ditelaah adalah 1990 hingga 2026. Tahun 1990 dipilih sebagai batas awal karena menandai publikasi pertama CVI (Gornitz, 1990, 1991), yang menjadi sumber primer formula

dan skema skor yang masih dirujuk hingga kini. Batas akhir mengikuti waktu penyusunan artikel agar publikasi terbaru ikut tercakup, antara lain tinjauan dan penerapan CVI pada periode 2023–2025 (Rumahorbo *et al*., 2023; Šimac *et al*., 2023; Theocharidis *et al*., 2024; Ledheng *et al*., 2025), termasuk penerapannya di Indonesia. Seleksi pustaka dilakukan dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

No	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
1	Artikel jurnal, laporan teknis lembaga resmi, atau buku yang membahas pengembangan, penerapan, atau kritik terhadap CVI atau indeks kerentanan pesisir sejenis	Publikasi yang tidak membahas kerentanan pesisir fisik atau tidak menggunakan pendekatan berbasis indeks
2	Memuat penjelasan variabel, skoring, formula, atau klasifikasi kerentanan	Publikasi tanpa metode yang dapat ditelusuri
3	Dapat diakses dalam teks lengkap	Duplikasi publikasi
4	Diterbitkan pada rentang tahun 1990–2026	Diterbitkan di luar rentang tahun 1990–2026

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Konsep dan Formula Dasar CVI

Kerentanan pesisir merupakan kondisi yang menggambarkan sejauh mana suatu sistem pesisir berpotensi mengalami kerusakan akibat tekanan lingkungan, baik yang berasal dari proses alami maupun aktivitas manusia. Dalam kerangka konseptual yang banyak digunakan, kerentanan pesisir dibentuk oleh tiga komponen utama, yaitu paparan, sensitivitas, dan kapasitas adaptif (Klein & Nicholls, 1999; Nguyen *et al*., 2016). Paparan berkaitan dengan seberapa besar suatu wilayah pesisir terpapar oleh ancaman seperti gelombang tinggi, pasang surut, kenaikan muka laut, dan badai. Sensitivitas berkaitan dengan karakteristik fisik wilayah, misalnya jenis material pantai, kemiringan, dan bentuk geomorfologi. Sementara itu, kapasitas adaptif mencerminkan kemampuan masyarakat dan ekosistem untuk mengurangi dampak atau beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi.

Erosi pantai menjadi salah satu bentuk degradasi pesisir yang paling sering dikaji karena dampaknya yang langsung terlihat, seperti mundurnya garis pantai, hilangnya lahan, rusaknya permukiman, serta terganggunya aktivitas ekonomi masyarakat pesisir (Gornitz, 1991; Boruff *et al*., 2005). Erosi tidak hanya dipicu oleh energi gelombang dan arus, tetapi juga diperparah oleh faktor antropogenik seperti pembangunan di sempadan pantai, penambangan pasir, alih fungsi mangrove, dan perluasan kawasan terbangun (Szlafsztein & Sterr, 2007; Hereher, 2015). Interaksi antara faktor alami dan manusia inilah yang membuat penilaian kerentanan pesisir tidak dapat dilakukan hanya dengan melihat satu variabel tunggal.

Dalam konteks Coastal Vulnerability Index (CVI), kerentanan umumnya didekati dari aspek biofisik, yaitu dengan menggabungkan beberapa variabel fisik yang dianggap paling berpengaruh terhadap stabilitas pantai (Gornitz, 1991; Thieler & Hammar-Klose, 1999). Pendekatan ini dipilih karena CVI dirancang

sebagai alat penilaian yang sederhana, dapat diulang, dan mampu memberikan gambaran cepat mengenai tingkat kerentanan suatu wilayah. Meskipun demikian, perkembangan literatur menunjukkan bahwa pendekatan biofisik saja sering dianggap belum cukup. Beberapa studi kemudian menambahkan dimensi sosial-ekonomi karena kerentanan pesisir pada akhirnya juga ditentukan oleh kondisi penduduk, mata pencaharian, tingkat pendidikan, dan akses terhadap infrastruktur (McLaughlin *et al*., 2002; Boruff *et al*., 2005). Dengan demikian, CVI dapat dipahami sebagai titik awal yang berguna, tetapi perlu dilengkapi dengan analisis sosial-ekonomi agar hasilnya lebih komprehensif.

2. Perkembangan Metode Coastal Vulnerability Index (CVI)

CVI pertama kali dikembangkan oleh Gornitz pada awal 1990-an sebagai upaya untuk menilai kerentanan pesisir terhadap kenaikan muka laut (Gornitz, 1990; Gornitz, 1991). Pendekatan awal ini menggunakan sejumlah variabel fisik yang dianggap mewakili kondisi pesisir, seperti geomorfologi, kemiringan pantai, perubahan garis pantai, kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut. Metode ini kemudian dipopulerkan secara lebih luas oleh Thieler dan Hammar-Klose melalui laporan USGS untuk pesisir Atlantik dan Pasifik Amerika Serikat (Thieler & Hammar-Klose, 1999; Thieler & Hammar-Klose, 2000). Sejak saat itu, CVI menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam studi kerentanan pesisir, terutama karena formulanya relatif sederhana dan datanya tersedia di berbagai wilayah.

Perkembangan CVI tidak berhenti pada versi awal tersebut. Seiring kemajuan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis, CVI mulai diintegrasikan dengan citra satelit, model gelombang, data pasang surut, serta analisis multi-kriteria (Doukakis, 2005; Murali *et al*., 2013). Pendekatan ini memungkinkan penilaian kerentanan dilakukan pada skala yang lebih luas, lebih cepat, dan lebih konsisten. Selain itu, beberapa peneliti mulai memodifikasi CVI dengan menambahkan variabel elevasi, penggunaan lahan, tutupan mangrove, kepadatan penduduk, dan akses infrastruktur (McLaughlin *et al*., 2002; Mullick *et al*., 2019). Modifikasi tersebut menunjukkan bahwa CVI bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan karakteristik lokal, meskipun di sisi lain juga menimbulkan tantangan dalam hal perbandingan antarwilayah. Tinjauan yang lebih baru memperkuat catatan tersebut. Šimac *et al*. (2023), yang menelaah 18 publikasi indeks kerentanan pesisir, menyimpulkan bahwa tidak ada CVI yang bersifat universal karena beragamnya karakteristik pesisir dan pendekatan penelitian, sehingga indeks yang telah dipublikasikan perlu dimodifikasi untuk diterapkan pada pesisir Istria, Kroasia. Theocharidis *et al*. (2024) memadukan CVI dengan analisis keputusan multikriteria, SIG, dan penginderaan jauh menggunakan delapan parameter untuk mengevaluasi risiko akibat aktivitas buatan manusia di pesisir Limassol, Siprus.

Perkembangan berikutnya mengarah pada integrasi CVI dengan pendekatan yang lebih kompleks, seperti pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), *Principal Component Analysis* (PCA), logika fuzzy, dan model dinamis (Murali *et al*., 2013; Mullick *et al*., 2019; Kantamaneni *et al*., 2018). Pendekatan-pendekatan ini bertujuan mengurangi subjektivitas dalam penentuan bobot dan skor variabel. Meskipun belum ada standar tunggal yang disepakati, arah perkembangan ini menunjukkan bahwa CVI terus berevolusi dari alat penilaian sederhana menjadi instrumen yang lebih adaptif dan kontekstual.

3. Variabel dan Skoring CVI

Variabel merupakan inti dari CVI karena kualitas dan relevansi variabel sangat menentukan hasil akhir penilaian. Dalam versi klasik USGS, terdapat enam variabel utama yang digunakan, yaitu geomorfologi, kemiringan pantai, perubahan garis pantai, kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang rata-rata, dan rentang pasang surut (Thieler & Hammar-Klose, 1999; Pendleton *et al*., 2004). Setiap variabel diberi skor pada skala 1 sampai 5, di mana skor 1 menunjukkan kerentanan sangat rendah dan skor 5 menunjukkan kerentanan sangat tinggi. Pemberian skor ini biasanya didasarkan pada klasifikasi yang telah ditetapkan dalam literatur, meskipun beberapa studi menyesuaikannya dengan kondisi lokal.

Geomorfologi menjadi variabel pertama yang sering digunakan karena jenis material pantai sangat memengaruhi ketahanan terhadap erosi. Pantai berbatu atau bertebing umumnya memiliki kerentanan lebih rendah, sedangkan pantai berpasir, berlumpur, atau *estuary* cenderung lebih rentan (Gornitz, 1991; Abuodha & Woodroffe, 2010). Kemiringan pantai juga berperan penting; pantai dengan lereng landai lebih mudah terkena genangan dan erosi, sedangkan pantai dengan lereng terjal lebih mampu menahan energi gelombang (Thieler & Hammar-Klose, 1999). Perubahan garis pantai menjadi indikator dinamis karena menunjukkan apakah suatu wilayah mengalami erosi atau akresi dalam periode tertentu. Wilayah yang mengalami erosi tinggi biasanya diberi skor kerentanan yang lebih tinggi (Boruff *et al*., 2005; Murali *et al*., 2013).

Kenaikan muka laut relatif merupakan variabel yang menghubungkan kerentanan pesisir dengan perubahan iklim. Semakin tinggi laju kenaikan muka laut, semakin besar pula tekanan terhadap pantai (Gornitz, 1991; Yin *et al*., 2012). Tinggi gelombang dan rentang pasang surut juga menjadi variabel penting karena keduanya menentukan besarnya energi yang bekerja pada garis pantai. Gelombang yang lebih tinggi dan pasang surut yang sesuai dengan karakteristik lokal dapat meningkatkan potensi erosi (Thieler & Hammar-Klose, 1999). Selain keenam variabel tersebut, banyak studi menambahkan elevasi karena daratan yang rendah lebih rentan terhadap genangan dan erosi (Ozyurt & Ergin, 2009; Mullick *et al*., 2019). Penggunaan lahan juga sering dimasukkan, terutama untuk melihat sejauh mana kawasan terbangun, tambak, atau hilangnya mangrove memengaruhi kerentanan pesisir (McLaughlin *et al*., 2002). Terakhir, variabel sosial-ekonomi seperti kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, dan mata pencaharian menjadi tambahan yang semakin umum karena kerentanan tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga sosial (Boruff *et al*., 2005; McLaughlin *et al*., 2002).

Skema skor yang digunakan pada versi USGS untuk keenam variabel tersebut dirangkum pada Tabel 1. Ambang batas variabel numerik, khususnya kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut, ditetapkan berdasarkan kondisi pesisir Amerika Serikat sehingga umumnya perlu disesuaikan dengan karakteristik wilayah kajian (Thieler & Hammar-Klose, 1999; Nguyen *et al*., 2016).

Tabel 2. Skoring Variabel CVI

Variabel	1 (sangat rendah)	2 (rendah)	3 (sedang)	4 (tinggi)	5 (sangat tinggi)
Geomorfologi	Tebing tinggi	Tebing sedang, pantai berlekuk	Tebing rendah, dataran aluvial	Bangunan pantai, estuari, laguna	Pantai berpasir, rawa asin, dataran lumpur, delta, mangrove, terumbu karang
Kemiringan pantai (%)	> 2	1,3–1,9	0,9-1,3	0,6-0,9	< 0,6

Variabel	1 (sangat rendah)	2 (rendah)	3 (sedang)	4 (tinggi)	5 (sangat tinggi)
Kenaikan muka laut relatif (mm/tahun)	< 1,8	1,8–2,5	2,5–3,0	3,0–3,4	> 3,4
Perubahan garis pantai (m/tahun)	> 2,0 (akresi)	1,0–2,0	−1,0–1,0 (stabil)	−1,1 sampai −2,0	< −2,0 (erosi)
Tinggi gelombang rata-rata (m)	< 0,55	0,55–0,85	0,85–1,05	1,05–1,25	> 1,25
Rentang pasang surut rata-rata (m)	< 1,0	1,0-2,0	2,0–4,0	4,0–6,0	> 6,0

Sumber: Gornitz et al. (1997) dan Pendleton et al. (2005).

4. Formula dan Klasifikasi CVI

Secara umum, CVI dihitung dengan menggabungkan skor seluruh variabel menggunakan rata-rata geometrik. Formula yang paling sering digunakan adalah akar dari hasil perkalian semua skor variabel dibagi dengan jumlah variabel (Gornitz, 1991; Thieler & Hammar-Klose, 1999).

$$CVI = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2 \times a_3 \times \ldots \times a_n}{n}}$$

Keterangan:
CVI = Coastal Vulnerability Index
$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n$ = Skor variabel
n = Jumlah variabel yang digunakan

Pendekatan ini dipilih karena mampu menangkap interaksi antar variabel, sehingga satu variabel dengan skor tinggi dapat meningkatkan nilai CVI secara keseluruhan.

Dalam beberapa studi, formula ini dimodifikasi dengan menambahkan bobot pada setiap variabel, misalnya melalui AHP atau PCA (Murali *et al*., 2013).

$$CVI_w = \sum (w_i \times S_i)$$

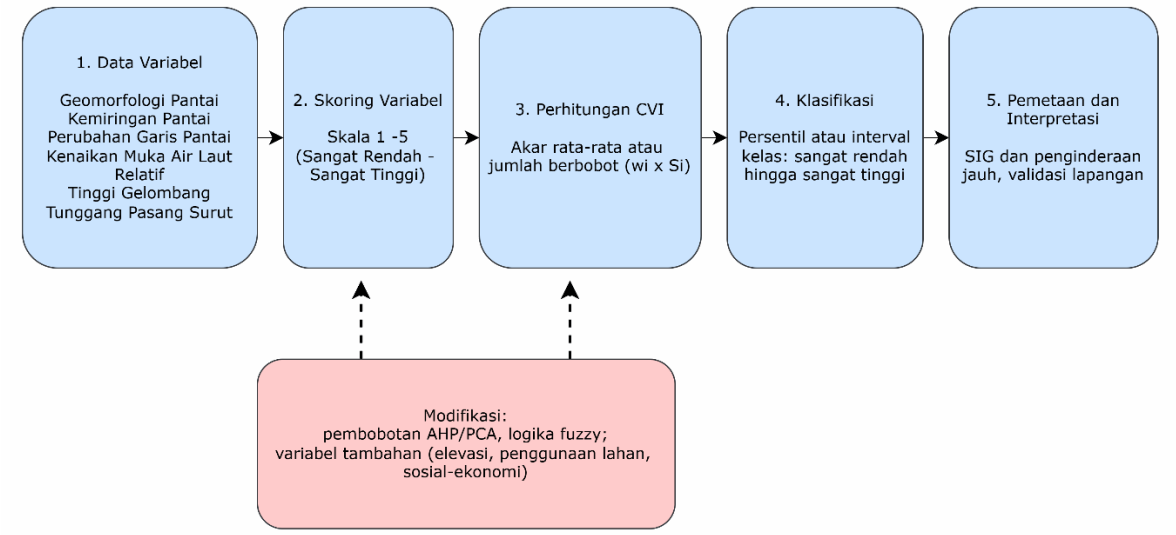
Keterangan:
CVI_w = Coastal Vulnerability Index
w_i = Bobot variabel ke-i
S_i = Skor variabel ke-i
$\sum$ = Penjumlahan seluruh variabel

Pembobotan dilakukan untuk memberikan penekanan pada variabel yang dianggap lebih penting, meskipun pemilihan bobot itu sendiri tidak lepas dari subjektivitas.

Setelah nilai CVI diperoleh, hasilnya diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas kerentanan. Klasifikasi yang paling umum membagi CVI menjadi lima kelas dengan rentang nilai CVI 0,38-105,64 (Suhana *et al*., 2020). Beberapa studi menggunakan *equal interval*, *natural breaks*, atau kuartil, tergantung pada distribusi data dan tujuan analisis (Ramieri *et al*., 2011). Perbedaan metode klasifikasi ini menyebabkan hasil CVI antarwilayah tidak selalu dapat dibandingkan secara langsung. Perlu dicatat bahwa rentang 1,0–5,0 pada klasifikasi tersebut sesuai bila skor akhir dinyatakan dalam skala skor variabel (misalnya rata-rata geometrik berpangkat 1/n atau jumlah berbobot), sedangkan formula akar dari hasil perkalian dibagi n menghasilkan rentang nilai yang lebih lebar sehingga lazim diklasifikasikan menggunakan persentil (Thieler & Hammar-Klose, 1999).

Pemilihan formula dan klasifikasi CVI tidak dapat dilakukan secara sembarangan. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan meliputi ketersediaan data, karakteristik wilayah kajian, tujuan penelitian, dan skala analisis (Nguyen *et al*., 2016). Wilayah dengan data yang lengkap dan resolusi tinggi dapat menggunakan formula berbobot, sedangkan wilayah dengan data terbatas sebaiknya menggunakan formula sederhana. Demikian pula, klasifikasi yang dipilih harus sesuai dengan distribusi data dan kebutuhan pengambilan keputusan**.**

Alur umum penerapan CVI beserta titik-titik tempat modifikasi dilakukan diringkas pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Alur umum penerapan CVI dan titik-titik modifikasinya (disintesis dari Thieler & Hammar-Klose, 1999; Murali *et al*., 2013; Mullick *et al*., 2019).

5. Penerapan CVI di Berbagai Wilayah

CVI telah diterapkan di berbagai belahan dunia dengan karakteristik pesisir yang beragam. Di Amerika Serikat dan Eropa, CVI banyak digunakan untuk memetakan kerentanan pesisir terhadap kenaikan muka laut dan erosi (Thieler & Hammar-Klose, 1999; Torresan *et al*., 2008; Pantusa *et al*., 2018). Di Asia, Afrika, dan negara kepulauan kecil, CVI digunakan untuk menilai risiko abrasi, banjir rob, dan kerusakan akibat gelombang badai (Hereher, 2015; Rani *et al*., 2015; Islam *et al*., 2016; Mullick *et al*., 2019). Hasil dari berbagai studi tersebut secara umum menunjukkan pola yang konsisten, yaitu pesisir dengan kemiringan landai, material sedimen lepas, garis pantai yang mengalami erosi, serta tekanan pembangunan yang tinggi cenderung memiliki kerentanan yang lebih tinggi (Boruff *et al*., 2005; Yin *et al*., 2012). Sebaliknya, pantai berbatu, berlereng terjal, dan masih memiliki vegetasi alami yang baik cenderung lebih rendah kerentanannya (Abuodha & Woodroffe, 2010).

Meskipun pola umumnya serupa, konteks lokal tetap memengaruhi hasil CVI. Di kawasan delta, misalnya, penurunan tanah dan suplai sedimen yang berkurang dapat memperbesar kerentanan (Islam *et al*., 2016). Di kawasan pulau kecil, keterbatasan lahan dan tingginya ketergantungan pada sumber daya pesisir membuat kerentanan fisik dan sosial saling terkait (Kantamaneni *et al*., 2018). Di kawasan urban, perluasan kawasan terbangun dan berkurangnya ruang alami pesisir menjadi faktor yang memperkuat kerentanan (McLaughlin *et al*., 2002). Dengan demikian, CVI tidak dapat diperlakukan sebagai formula yang netral tanpa mempertimbangkan konteks geografis dan sosial setempat.

Ringkasan beberapa studi yang mewakili variasi pendekatan CVI di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia, disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Ringkasan beberapa penerapan dan modifikasi CVI

Studi	Wilayah	Pendekatan / modifikasi	Fokus atau temuan utama
Thieler & Hammar-Klose (1999, 2000)	Pesisir Atlantik dan Pasifik, AS	CVI USGS, enam variabel fisik, skor 1–5	Dasar penilaian kerentanan pesisir nasional terhadap kenaikan muka laut
Boruff *et al*. (2005)	County pesisir, AS	Penilaian kerentanan bahaya erosi	Menambahkan dimensi sosial-ekonomi pada penilaian kerentanan erosi
Abuodha & Woodroffe (2010)	Tenggara Australia	Indeks sensitivitas pesisir	Penilaian kerentanan terhadap kenaikan muka laut
Yin *et al*. (2012)	Pesisir Tiongkok	CVI skala nasional	Penilaian kerentanan terhadap kenaikan muka laut pada skala nasional
Murali *et al*. (2013)	Puducherry, India	CVI dengan pembobotan AHP	Pembobotan variabel menggunakan AHP
Islam *et al*. (2016)	Delta Gangga, Bangladesh	Penilaian multi-bahaya pesisir	Penurunan tanah dan berkurangnya suplai sedimen memperbesar kerentanan
Mullick *et al*. (2019)	Pesisir Bangladesh	CVI dengan logika fuzzy	Pendekatan geospasial berbasis logika fuzzy pada skala pesisir nasional
Rustamaji *et al*. (2010)	Jawai Selatan dan Jawai, Sambas, Kalimantan Barat	Indeks kerentanan pantai; EPR dari citra satelit; skenario kenaikan muka laut 0,5 m dan 1 m	Erosi rata-rata ± 6 m/tahun; kerentanan sangat tinggi pada kedua skenario
Prathanazal *et al*. (2020)	Jepara, Jawa Tengah	CVI berbobot; DEM Batnas, altimetri Jason-3, data pasut BIG, survei lapangan	Nilai CVI 1,83–7,07 (rerata 5,34); kerentanan kategori sedang
Pasaribu *et al*. (2022)	Indramayu, Jawa Barat	CVI empat variabel; garis pantai dari Landsat-8 (2018–2020)	Nilai CVI 2,887–3,651; mayoritas kelas sedang; abrasi > 2 m/tahun di sebagian besar pesisir
Rumahorbo *et al*. (2023)	Biak Numfor, Papua	CVI tujuh variabel (empat geologi pesisir, tiga proses fisik laut)	Elevasi, kemiringan, geomorfologi, dan perubahan garis pantai paling berpengaruh; mayoritas pesisir berkelas sedang
Ledheng *et al*. (2025)	Insana Utara, Timor Tengah Utara, NTT	CVI tujuh variabel; 39 sel pengamatan	Kelas rendah 48,71% dan sedang 51,28% garis pantai; geomorfologi berpengaruh utama; disarankan menambah variabel sosial-ekonomi

Sumber: Hasil sintesis penulis (2026).

6. Kelebihan dan Keterbatasan Metode CVI

Kelebihan utama CVI terletak pada kesederhanaannya. Metode ini mudah diterapkan, tidak memerlukan data yang terlalu kompleks, dan dapat dihitung dengan perangkat lunak SIG yang umum digunakan (Gornitz, 1991; Doukakis, 2005). CVI juga bersifat reproduktif, sehingga dapat digunakan untuk membandingkan kerentanan antarwilayah dalam skala yang relatif luas (Ramieri *et al*., 2011). Bagi pengambil kebijakan, CVI berguna sebagai alat skrining awal untuk mengidentifikasi lokasi yang memerlukan perhatian lebih besar (Nguyen *et al*., 2016). Dengan demikian, CVI dapat menjadi dasar untuk penentuan prioritas mitigasi dan adaptasi pesisir.

Namun, CVI juga memiliki keterbatasan yang perlu disadari. Subjektivitas dalam pemilihan variabel, pemberian skor, dan pembobotan menjadi kritik utama (Ramieri *et al*., 2011). Resolusi data yang tidak seragam antarwilayah juga dapat memengaruhi hasil, terutama untuk variabel pasang surut, gelombang, dan batimetri (Kantamaneni *et al*., 2018). CVI juga sering dianggap belum mampu

menangkap proses non-linear dan interaksi kompleks antar variabel (Nguyen *et al*., 2016). Selain itu, banyak studi CVI yang mengabaikan kapasitas adaptif masyarakat, padahal kemampuan adaptasi sangat menentukan seberapa besar dampak yang akan dialami (McLaughlin *et al*., 2002). Validasi lapangan yang minim menjadi keterbatasan lain, karena tanpa validasi, hasil CVI sulit dipastikan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan (Boruff *et al*., 2005). Perbedaan skala spasial dan temporal antar studi juga membuat generalisasi hasil menjadi terbatas (Ramieri *et al*., 2011).

7. Kajian CVI di Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan garis pantai lebih dari 99.000 km dan banyak pulau kecil yang sangat rentan terhadap erosi serta kenaikan muka laut (Marfai & King, 2008). CVI dan indeks kerentanan pantai sejenis telah diterapkan di berbagai wilayah Indonesia, antara lain di Kalimantan Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Barat (Rustamaji *et al*., 2010; Prathanazal *et al*., 2020; Pasaribu *et al*., 2022). Ancaman utama yang dihadapi meliputi abrasi, banjir rob, alih fungsi mangrove, dan pembangunan di sempadan pantai. Studi pengelolaan banjir pesisir di Semarang, misalnya, menunjukkan bahwa kombinasi antara penurunan tanah, rob, dan perluasan kawasan terbangun meningkatkan kerentanan pesisir (Marfai & King, 2008), sehingga faktor-faktor tersebut layak dipertimbangkan sebagai variabel tambahan pada CVI.

Tiga studi di Indonesia menggambarkan bagaimana CVI disesuaikan dengan kondisi lokal. Rustamaji *et al*. (2010) menilai kerentanan pantai di Kecamatan Jawai Selatan dan Jawai, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat, dengan menghitung perubahan garis pantai menggunakan metode End Point Rate pada citra satelit dan menambahkan skenario kenaikan muka laut 0,5 m (2050) dan 1 m (2100). Hasilnya menunjukkan erosi dengan laju rata-rata sekitar 6 m per tahun dan kerentanan yang tergolong sangat tinggi pada kedua skenario masa depan. Di Kabupaten Jepara, Prathanazal *et al*. (2021) menerapkan CVI berbobot dengan geomorfologi sebagai variabel berbobot tertinggi dan kenaikan muka laut sebagai variabel berbobot terendah, menggunakan DEM Batnas, tinggi gelombang signifikan, data altimetri Jason-3, data pasang surut Badan Informasi Geospasial, dan survei lapangan. Nilai CVI berkisar 1,83–7,07 dengan rerata 5,34 (kategori sedang). Sementara itu, Pasaribu *et al*. (2022) di Kabupaten Indramayu hanya memakai empat variabel fisik (perubahan garis pantai dari citra Landsat-8 periode 2018–2020, kemiringan pantai, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut) dan memperoleh nilai CVI 2,887–3,651 dengan mayoritas wilayah berkelas sedang serta abrasi di atas 2 m per tahun di sebagian besar pesisir.

Perbedaan jumlah variabel (empat hingga enam atau lebih), penggunaan bobot, dan rentang nilai CVI pada ketiga studi tersebut menegaskan bahwa hasil CVI di Indonesia belum dapat dibandingkan secara langsung antarwilayah. Kajian di Kalimantan Barat juga menunjukkan bahwa skenario kenaikan muka laut dapat mengubah kelas kerentanan secara nyata, sehingga analisis skenario perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari penerapan CVI untuk perencanaan jangka panjang.

Dua studi yang lebih baru memperlihatkan pola serupa di wilayah timur Indonesia. Rumahorbo *et al*. (2023) memetakan kerentanan pesisir Kabupaten Biak Numfor, Papua, dengan tujuh variabel, yaitu empat variabel geologi pesisir (elevasi, kemiringan, geomorfologi, dan perubahan garis pantai) serta tiga variabel proses fisik laut (rentang pasang surut, tinggi gelombang signifikan, dan laju kenaikan muka laut relatif). Variabel geologi pesisir berkontribusi lebih besar daripada variabel proses fisik laut, dan sebagian besar pesisir tergolong kerentanan sedang.

Ledheng *et al*. (2025) menilai pesisir Kecamatan Insana Utara, Kabupaten Timor Tengah Utara, Nusa Tenggara Timur, yang mengalami erosi seiring berkurangnya mangrove. Sebanyak 48,71% garis pantai tergolong kerentanan rendah dan 51,28% tergolong sedang, dengan geomorfologi, perubahan garis pantai, kemiringan, dan elevasi pantai sebagai faktor pengaruh utama, sedangkan pasang surut, tinggi gelombang, dan kenaikan muka laut berpengaruh kecil. Penulis tersebut menyarankan penambahan variabel sosial-ekonomi dan aktivitas manusia agar penilaian lebih menyeluruh, sejalan dengan arah modifikasi CVI yang telah dibahas sebelumnya.

Tantangan penerapan CVI di Indonesia cukup beragam. Ketersediaan data pasang surut, gelombang, dan batimetri resolusi tinggi masih terbatas di banyak wilayah, sehingga studi yang ada banyak bergantung pada data satelit global dan data stasiun pasang surut yang jumlahnya terbatas (Prathanazal *et al*., 2020; Pasaribu *et al*., 2022). Kualitas data antarwilayah juga tidak seragam, sehingga hasil CVI sulit dibandingkan secara langsung. Validasi lapangan masih jarang dilakukan, padahal kondisi pesisir Indonesia sangat dinamis dan laju abrasi dapat mencapai beberapa meter per tahun (Rustamaji *et al*., 2010; Pasaribu *et al*., 2022). Keterbatasan sumber daya manusia dan perangkat lunak SIG di beberapa daerah juga menjadi kendala. Meskipun demikian, terdapat peluang besar untuk meningkatkan penerapan CVI, misalnya melalui pemanfaatan citra Sentinel-2 dan Landsat 8/9, data geospasial dari Badan Informasi Geospasial, serta integrasi dengan data sosial-ekonomi dari BPS. Penggunaan *cloud computing* dan *machine learning* juga membuka kemungkinan analisis yang lebih cepat dan akurat.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Coastal Vulnerability Index (CVI)* merupakan metode yang sederhana, fleksibel, dan banyak digunakan untuk menilai kerentanan pesisir terhadap erosi pantai. Variabel utamanya meliputi geomorfologi, kemiringan pantai, perubahan garis pantai, kenaikan muka laut relatif, tinggi gelombang, dan rentang pasang surut, yang sering dimodifikasi dengan elevasi, penggunaan lahan, serta faktor sosial-ekonomi. Keunggulan CVI terletak pada kemudahan penerapan dan kesesuaiannya dengan SIG, tetapi keterbatasannya meliputi subjektivitas pemilihan variabel, ketidakseragaman resolusi data, dan minimnya validasi lapangan. Kajian di Indonesia (Rustamaji *et al*., 2010; Prathanazal *et al*., 2020; Pasaribu *et al*., 2022; Rumahorbo *et al*., 2023; Ledheng *et al*., 2025) memperlihatkan variasi variabel dan pembobotan yang besar sehingga standardisasi dan dokumentasi metode menjadi kebutuhan mendesak. Peneliti ke depan disarankan menggunakan data terbaru dengan resolusi memadai, transparan dalam pemberian skor, dan menyesuaikan variabel dengan karakteristik lokal, termasuk mempertimbangkan variabel sosial-ekonomi dan aktivitas manusia sebagaimana disarankan kajian terbaru (Ledheng *et al*., 2025). Pemerintah dapat memanfaatkan CVI sebagai alat *screening* awal dalam perencanaan pesisir. Hasil CVI sebaiknya digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang perlu diprioritaskan dalam mitigasi erosi pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi selama penyusunan artikel review ini. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam pengumpulan referensi dan diskusi ilmiah. Semoga artikel ini bermanfaat

bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengelolaan pesisir dan dapat menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR RUJUKAN

Abuodha, P. A. O., & Woodroffe, C. D. (2010). Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: A case study from southeast Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 14(3), 189–205.

Boruff, B. J., Emrich, C., & Cutter, S. L. (2005). Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), 932–942.

Doukakis, E. (2005). Coastal vulnerability and risk parameters. *European Water*, 11(12), 3–7.

Gornitz, V. (1990). Vulnerability of the East Coast, USA to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 9, 201–237.

Gornitz, V. (1991). Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89(4), 379–398.

Hereher, M. E. (2015). Coastal vulnerability assessment for Egypt's Mediterranean coast. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 342–355.

Islam, M. A., Mitra, D., Dewan, A., & Akhter, S. H. (2016). Coastal multi-hazard vulnerability assessment along the Ganges deltaic coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 127, 1–15.

Kantamaneni, K., Phillips, M., Thomas, T., & Jenkins, R. (2018). Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index. *Ocean & Coastal Management*, 158, 164–175. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.039

Klein, R. J. T., & Nicholls, R. J. (1999). Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28(2), 182–187.

Ledheng, L., Atini, B., & Hano'e, E. M. Y. (2025). The study of coastal vulnerability in North Insana District, North Central Timor Regency, East Nusa Tenggara Province (Indonesia). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 452–462. https://doi.org/10.14710/jil.23.2.452-462

Marfai, M. A., & King, L. (2008). Coastal flood management in Semarang, Indonesia. *Environmental Geology*, 55(7), 1507–1515.

McLaughlin, S., McKenna, J., & Cooper, J. A. G. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: Constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 36, 487–497.

Mullick, M. R. A., Tanim, A. H., & Islam, S. M. S. (2019). Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial approach. *Ocean & Coastal Management*, 174, 154–169.

Murali, R. M., Ankita, M., Amrita, S., & Vethamony, P. (2013). Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(12), 3291–3311.

Nguyen, T. T. X., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*, 123, 18–43.

Ozyurt, G., & Ergin, A. (2009). Application of sea level rise vulnerability assessment model to selected coastal areas of Turkey. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, 248–251.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.

Pantusa, D., D'Alessandro, F., Riefolo, L., Principato, F., & Tomasicchio, G. R. (2018). Application of a coastal vulnerability index: A case study along the Apulian coastline, Italy. *Water*, 10(9), 1218. https://doi.org/10.3390/w10091218

Pasaribu, R. P., Pranoto, A. K., Waluyo, & Devi, A. F. (2022). Pemetaan tingkat kerentanan pesisir dengan metode CVI (Coastal Vulnerability Index) di Kabupaten Indramayu. *MASPARI Journal*, 14(2), 133–145.

Pendleton, E. A., Thieler, E. R., Williams, S. J., & Beavers, R. S. (2004). *Coastal vulnerability assessment of Padre Island National Seashore to sea-level rise*. USGS Open-File Report 2004-1043.

Prathanazal, N. M., Sasmito, B., & Sabri, L. (2021). Analisis kerentanan daerah pesisir Kabupaten Jepara menggunakan Coastal Vulnerability Index (CVI). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 115–123. https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29631

Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Santos, F. D., Gomes, A., Hilden, M., & Laihonen, P. (2011). Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. *ETC CCA Technical Paper*, 1, 1–93.

Rani, N. S., Satyanarayana, A. N. V., & Bhaskaran, P. K. (2015). Coastal vulnerability assessment studies over India: A review. *Natural Hazards*, 77(1), 405–428.

Rumahorbo, B. T., Warpur, M., Tanjung, R. H., & Hamuna, B. (2023). Spatial analysis of coastal vulnerability index to sea level rise in Biak Numfor Regency (Indonesia). *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 113–125. https://doi.org/10.12911/22998993/157539

Rustamaji, R. M., Danial, M., Priadi, E., & Zulkarnaen. (2010). Model kerentanan kawasan pantai: Studi kasus di Kecamatan Jawai Selatan dan Jawai, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 1(1), 21–29.

Šimac, Z., Lončar, N., & Faivre, S. (2023). Overview of coastal vulnerability indices with reference to physical characteristics of the Croatian coast of Istria. *Hydrology*, 10(1), 14. https://doi.org/10.3390/hydrology10010014

Szlafsztein, C., & Sterr, H. (2007). A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 11(1), 53–66.

Theocharidis, C., Doukanari, M., Kalogirou, E., Christofi, D., Mettas, C., Kontoes, C., Hadjimitsis, D., Argyriou, A. V., & Eliades, M. (2024). Coastal vulnerability index (CVI) assessment: Evaluating risks associated with human-made activities along the Limassol coastline, Cyprus. *Remote Sensing*, 16(19), 3688. https://doi.org/10.3390/rs16193688

Thieler, E. R., & Hammar-Klose, E. S. (1999). *National assessment of coastal vulnerability to future sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Atlantic Coast*. USGS Open-File Report 99-593.

Thieler, E. R., & Hammar-Klose, E. S. (2000). *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Pacific Coast*. USGS Open-File Report 00-178.

Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: Comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*, 3(1), 45–65.

Yin, J., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 123–133.