

## ANALISIS PERBANDINGAN METODOLOGI BNPB DAN TSVI UNTUK PENILAIAN RISIKO TSUNAMI DI ACEH JAYA, INDONESIA

Dinda Puspa Vidya<sup>1\*</sup>, Ossy Maulita Budiawati<sup>1</sup>, Ane Arifa Ditami<sup>1</sup>, Riantini  
Virtriana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi  
Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi  
Bandung, Bandung, Indonesia

\*Email: 25124033@mahasiswa.itb.ac.id

Diterima: 5 Agustus 2025

Direvisi: 22 Oktobr 2025

Dipublikasikan: 25 Oktober 2025

### ABSTRACT

*Aceh Province is considered to be a high-risk area for tsunami susceptibility, a consequence of its geographical proximity to the Sumatra subduction zone. The objective of this study is to compare two methods of tsunami risk assessment, namely the BNPB's official Kajian Risiko Bencana (KRB) framework and the Tsunami Spatial Vulnerability Index (TSVI) method in Aceh Jaya District. The BNPB's KRB approach integrates hazard and vulnerability components using criterion-based analysis in a Geographic Information System (GIS), while the TSVI employs Spatial Principal Component Analysis (SPCA) to analyse large geospatial data, including satellite images, population grids, and economic center location points. The results demonstrate significant discrepancies in the spatial distribution of high-risk zones in the final tsunami risk map derived from each method, due to the different paradigms of susceptibility concept utilisation. The findings also shown that TSVI method can yield additional insights that are not obtained from BNPB's KRB method, concerning the primary contributors to vulnerability in the study area. This study demonstrates the potential of TSVI as a complementary tool to conventional disaster risk assessment, and emphasise the importance of integration between institutional frameworks and data-driven approaches to support more responsive and more contextualised disaster mitigation planning.*

**Keywords:** KRB BNPB; tsunami index risk; tsunami vulnerability; TSVI

### ABSTRAK

*Provinsi Aceh termasuk wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana tsunami akibat kedekatannya dengan zona subduksi Sumatra. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua pendekatan penilaian risiko tsunami, yaitu kerangka resmi Kajian Risiko Bencana (KRB) BNPB dan metode Tsunami Spatial Vulnerability Index (TSVI) di Kabupaten Aceh Jaya. KRB BNPB mengintegrasikan komponen bahaya dan kerentanan menggunakan analisis berbasis kriteria dalam sistem informasi geografis (SIG), sementara TSVI menerapkan analisis komponen utama spasial (SPCA) terhadap data geospasial besar seperti citra satelit, grid populasi, dan lokasi pusat perekonomian. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam penyebaran spasial zona risiko tinggi pada hasil akhir peta risiko tsunami karena perbedaan paradigma penggunaan konsep susceptibility diantara keduanya. Hasil penelitian juga menunjukkan TSVI dapat memberikan informasi tambahan yang tidak didapatkan dari KRB BNPB berupa kontributor utama kerentanan di wilayah studi. Studi ini menunjukkan potensi TSVI sebagai alat pelengkap dalam penilaian risiko bencana konvensional dan menegaskan pentingnya integrasi antara kerangka kelembagaan dan pendekatan berbasis data untuk perencanaan mitigasi bencana yang lebih responsif dan kontekstual.*

**Kata Kunci:** kerentanan tsunami; indeks risiko tsunami; KRB BNPB; TSVI

### A. PENDAHULUAN

Indonesia menempati posisi strategis namun rawan dalam peta risiko bencana global karena kondisi geologi dan geodinamika yang kompleks, sehingga memicu aktivitas seismik

dan vulkanik intensif (Hadi dkk., 2024; Van Veen dkk., 2014). Kondisi ini menyebabkan Indonesia rentan terhadap berbagai bencana geologi, khususnya gempa bumi dan tsunami (Doocy dkk., 2009).

Salah satu bencana paling mematikan di Indonesia terjadi pada 26 Desember 2004, di mana bencana gempa bumi dan tsunami yang melanda pesisir barat Provinsi Aceh menjadi salah satu kejadian paling tragis dalam sejarah bencana geologi Indonesia (Benazir dkk., 2023). Gempa berkekuatan  $M_w$  9,3 yang berpusat sekitar 30 kilometer di lepas pantai barat Sumatra itu terjadi pada pagi hari sekitar pukul 08.00 waktu setempat dan memicu gelombang tsunami besar yang menerjang daratan hanya dalam waktu kurang dari setengah jam setelah gempa terjadi (Sufri & Lassa, 2024). Kondisi topografi yang rendah, kedekatan dengan zona sumber gempa, serta keterbatasan akses evakuasi menjadikan Aceh Jaya, sebagai salah satu kabupaten di Provinsi Aceh, sangat rentan terhadap dampak tsunami (Benazir & Oktari, 2024). Meskipun berbagai upaya mitigasi telah dilakukan sejak saat itu, namun kerentanan struktural dan sosial ekonomi di wilayah ini masih tergolong tinggi (Muzani dkk., 2024). Oleh karena itu, pemutakhiran peta risiko dan penilaian kerentanan berbasis data terkini menjadi kebutuhan yang sangat mendesak (Purnama dkk., 2022; Ramadhan dkk., 2021).

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah mengembangkan modul resmi Kajian Risiko Bencana (KRB) tsunami sebagai acuan nasional dalam menyusun peta risiko bencana tsunami. Metode ini menghitung indeks risiko berdasarkan gabungan indeks bahaya, kerentanan, dan kapasitas kawasan, serta didukung oleh data spasial administratif (Wiyono dkk., 2024). Namun, lambatnya pembaruan data lapangan menyebabkan beberapa wilayah, termasuk Aceh Jaya, belum memiliki peta risiko yang akurat dan terkini. Menjawab tantangan ini, pendekatan baru berbasis teknologi geospasial dan big data mulai dikembangkan. Salah satunya adalah metode Tsunami Spatial Vulnerability Index (TSVI) yang diperkenalkan oleh Jundullah & Wijayanto (2024). Metode ini mengintegrasikan citra satelit resolusi tinggi, data populasi gridded, dan data titik pusat perekonomian (POI) yang kemudian diolah dengan menggunakan metode analisis komponen utama spasial (SPCA) untuk menghasilkan peta kerentanan yang lebih adaptif terhadap dinamika wilayah.

Namun hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara kuantitatif membandingkan akurasi spasial maupun sensitivitas fungsional antara metode KRB BNPB dan TSVI di wilayah Aceh, khususnya pada konteks lokal seperti Kabupaten Aceh Jaya. Kajian-kajian sebelumnya umumnya hanya menerapkan salah satu pendekatan tanpa

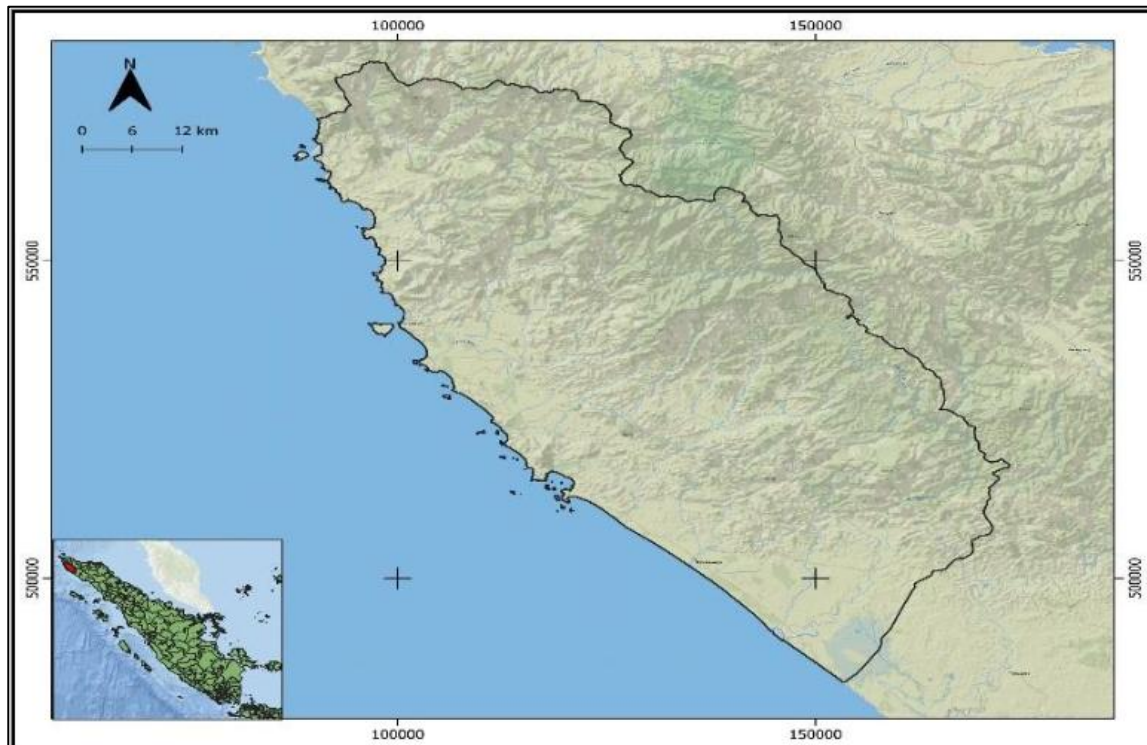
evaluasi komparatif, sehingga kesesuaian model terhadap dinamika kerentanan wilayah pesisir belum pernah diuji secara langsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kajian komparatif antara metode KRB BNPB dan TSVI dalam menyusun indeks risiko tsunami di Kabupaten Aceh Jaya dengan menganalisis perbedaan hasil dari kedua metode, serta mengevaluasi relevansi dan keterpakaian masing-masing pendekatan dalam konteks perencanaan mitigasi bencana di wilayah pesisir.

## B. METODE PENELITIAN

### 1 Lokasi dan Data Penelitian

#### 1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat di Kabupaten Aceh Jaya seperti terlihat pada Gambar 1. Hingga akhir 2023, jumlah penduduknya mencapai 99.717 jiwa dengan kepadatan 26 jiwa/km<sup>2</sup> (BPS Kabupaten Aceh Jaya, 2024). Aceh Jaya merupakan salah satu wilayah yang paling parah terdampak tsunami 26 Desember 2004 (Syamsidik dkk., 2019).



Gambar 1 Wilayah Administrasi Kabupaten Aceh Jaya (Sumber: Hasil Pengolahan, 2025)

#### 1.2 Data Penelitian

Perhitungan indeks risiko bencana dalam penelitian ini, baik yang dilakukan dengan metode KRB BNPB maupun TSVI, menggunakan data yang dirinci pada Tabel 1. Simbol H digunakan untuk data indeks bahaya; KS untuk indeks kerentanan sosial; KF untuk kerentanan fisik; KE untuk kerentanan ekonomi; dan KL untuk kerentanan lingkungan.

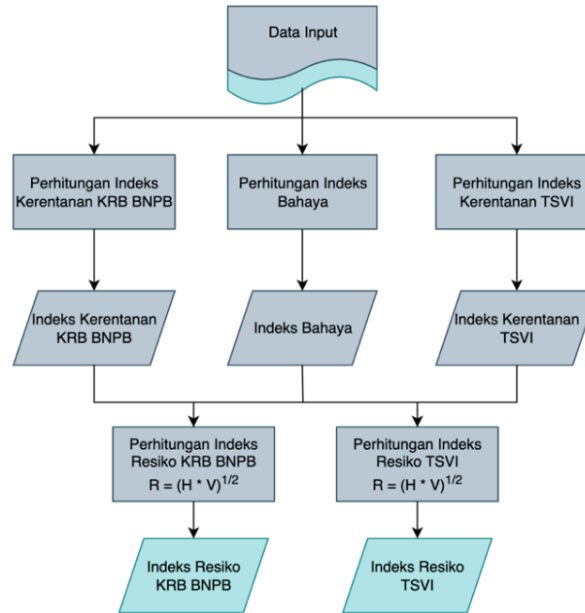
Tabel 1 Spesifikasi Data

No	Data	Sumber	Keperluan					Bentuk Data
			H	KS	KF	KE	KL	
1	Batas ADM	BIG	v	v	v	v	v	Vektor (polygon)
2	Tutupan lahan	KLHK	v		v	v	v	Vektor (polygon)
3	Garis pantai	BIG	v					Vektor (polygon)
4	DEM	Copernicus	v					Raster
5	Sebaran permukiman	BIG			v			Vektor (polygon)
6	Sebaran fasum	Digitation			v			Vektor (polygon)
7	Sebaran faskris	Digitation			v			Vektor (polygon)
8	Fungsi kawasan	KLHK					v	Vektor (polygon)
9	Jumlah penduduk	Kemendagri		v				Tabular
10	Jumlah kelompok umur	Kemendagri		v				Tabular
11	Jumlah penyandang disabilitas	Kemendagri		v				Tabular
12	Jumlah penduduk miskin	Kemendagri		v				Tabular
13	PDRB per sektor	BPS				v		Tabular
14	Satuan harga daerah	BPS				v		Tabular
15	Citra Sentinel	Sentinel 2			v		v	Raster
16	POI (market, shop)	Digitation				v		Point
17	Population grid	World pop		v				Raster

Acuan dalam kajian risiko bencana di Indonesia merujuk pada Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 dan Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tsunami 2018. Risiko bencana dihitung secara matematis dan spasial sebagai gabungan indeks bahaya, kerentanan, dan kapasitas. Namun, penelitian ini tidak memasukkan komponen kapasitas karena dianggap sebagai bagian dari mitigasi pasca-perhitungan risiko. Penilaian bahaya tsunami dilakukan dengan pendekatan standar BNPB untuk kedua metode, sedangkan perhitungan kerentanan menggunakan dua pendekatan berbeda yaitu KRB BNPB dan TSVI, sehingga menghasilkan dua hasil akhir indeks risiko.

## 2 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2, yang merepresentasikan tahapan analisis secara sistematis mulai dari pengumpulan data, perhitungan indeks kerentanan dan bahaya, hingga penentuan indeks risiko.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

## 2.1 Perhitungan Indeks Bahaya Tsunami

Indeks bahaya tsunami dihitung dari empat komponen yaitu kemiringan lereng, kekasaran permukaan, ketinggian gelombang maksimum (inundasi), dan jarak dari garis pantai. Kemiringan lereng diperoleh dari *Digital Terrain Model (DTM) Copernicus* beresolusi 30 meter, karena berbeda dengan DSM, DTM merepresentasikan elevasi permukaan tanah tanpa objek, sehingga lebih representatif sebagai dasar pengukuran tinggi.

Data-data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung sebaran spasial wilayah terdampak tsunami ( $H_{loss}$ ), yakni kehilangan ketinggian gelombang per 1 meter jarak genangan sesuai dengan persamaan yang dikembangkan oleh Berryman (2016) pada Persamaan 1. Ketinggian maksimum tsunami yang digunakan adalah 10 meter sesuai panduan di dokumen KRB BNPB. Nilai  $H_{loss}$  menjadi dasar perhitungan *cost distance* (akumulasi kehilangan ketinggian dari pantai ke daratan) menggunakan data garis pantai.

$$H_{loss} = \left( \frac{167n^2}{H_0^{\frac{1}{3}}} \right) + 5 \sin S \quad (1)$$

di mana:

- $H_{loss}$  : kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi
- $n$  : koefisien kekasaran permukaan
- $H_0$  : ketinggian gelombang tsunami di garis pantai (m)
- $S$  : besarnya lereng permukaan (derajat)

## 2.2 Perhitungan Indeks Kerentanan Tsunami

### 2.2.1 Metode KRB BNPB

Kerentanan adalah kondisi suatu komunitas yang mencerminkan ketidakmampuan dalam menghadapi bencana, di mana semakin tinggi kerentanan, semakin besar potensi kerugian saat bencana terjadi (Biswas & Sil, 2023; Prasetyo dkk., 2022). Analisis kerentanan dilakukan secara spasial dengan menggabungkan komponen kerentanan yang berasal dari beberapa parameter. Untuk bencana tsunami, komponen kerentanan mencakup aspek sosial, fisik, ekonomi, dan lingkungan, yang digabungkan menggunakan metode spasial MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*). MCDA mengintegrasikan berbagai kriteria berdasarkan nilai masing-masing (Amri dkk., 2023). Perhitungan indeks kerentanan dengan metode KRB BNPB dilakukan sesuai dengan Persamaan 2, di mana *IKT* adalah Indeks Kerentanan Total, *IKS* adalah Indeks Kerentanan Sosial, *IKF* adalah Indeks Kerentanan Fisik, *IKE* adalah Indeks Kerentanan Ekonomi, dan *IKL* adalah Indeks Kerentanan Lingkungan.

$$IKT = 40\% IKS + 25\% IKF + 25\% IKE + 10\% IKL \quad (2)$$

### 2.2.2 Metode TSVI

Jundullah & Wijayanto (2024) mengembangkan metode *Tsunami Spatial Vulnerability Index* (TSVI) dengan memanfaatkan citra Sentinel-2 dan big data geospasial seperti grid populasi, POI ekonomi, dan model elevasi digital dalam penilaian kerentanan tsunami untuk mengatasi keterbatasan perhitungan indeks risiko metode KRB BNPB yang memiliki keterbatasan terutama terkait dengan pembaruan data yang lambat dan biaya pengumpulan data yang tinggi. TSVI mengintegrasikan data spasial resolusi tinggi (1 km<sup>2</sup>) menggunakan pendekatan statistik multivariat dengan menggabungkan indikator fisik (elevasi, jarak ke pantai, NDBI, SAVI), lingkungan (NDVI, NDWI), serta sosial-ekonomi (kepadatan penduduk, jarak ke POI). Semua indikator diolah dalam bentuk raster dengan resolusi spasial yang seragam. Analisis dilakukan menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA), diadaptasi dari metode PCA spesifik untuk data spasial. SPCA mengekstraksi komponen utama dari setiap indikator, mereduksi dimensi tanpa kehilangan informasi penting, serta mengidentifikasi kontribusi masing-masing indikator terhadap kerentanan.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

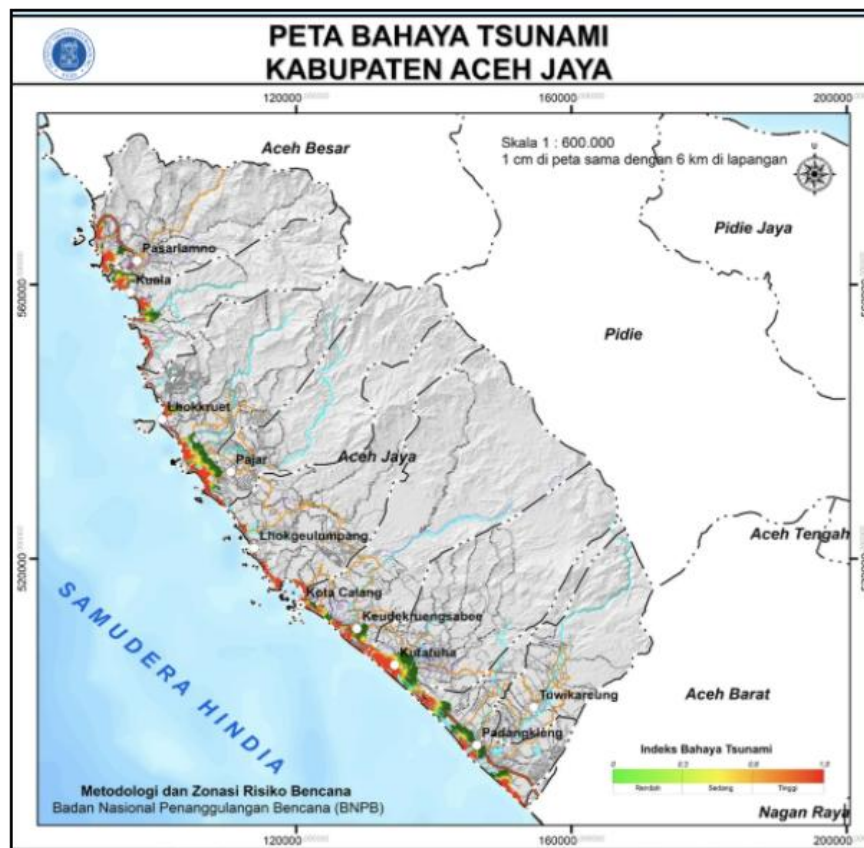
### 1 Indeks Bahaya Tsunami

Luas area terdampak dihitung berdasarkan batas administratif desa, lalu diagregasi ke tingkat kecamatan dengan pendekatan skenario terburuk yaitu berdasarkan kelas maksimum bahaya. Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan luas dan indeks kelas bahaya setiap kecamatan tercantum pada Tabel 2 dengan peta bahaya tsunami tergambar di Gambar 3.

Tabel 2 Luas dan Indeks Kelas Bahaya Setiap Kecamatan

LUAS BAHAYA (HA)					
KECAMATAN	RENDAH	SEDANG	TINGGI	TOTAL LUAS	KELAS
Darul Hikmah	305.91	62.64	348.48	717.03	TINGGI
Indra Jaya	610.56	260.82	1176.93	2048.31	TINGGI
Jaya	396.27	213.12	1009.89	1619.28	TINGGI
Krueng Sabee	396.09	204.57	2066.67	2667.33	TINGGI
Panga	541.53	288.27	1966.23	2796.03	TINGGI
Sampoiniet	569.88	260.01	2457	3286.89	TINGGI
Setia Bhakti	111.78	113.13	1635.84	1860.75	TINGGI
Teunom	925.83	454.59	3734.01	5114.43	TINGGI

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025



Gambar 3 Peta Bahaya Tsunami Kabupaten Aceh Jaya

## 2 Indeks Kerentanan Tsunami

### 2.1 Metode KRB BNPB

Kesimpulan akhir kelas kerentanan pada setiap level administrasi daerah dilakukan berdasarkan pendekatan skenario terburuk atau berdasarkan kelas maksimum kerentanan di setiap wilayah administratif. Metode KRB BNPB selain menghasilkan nilai indeks kerentanan juga dapat menghasilkan keluaran berupa potensi kerugian akibat kejadian tsunami dalam nilai rupiah secara keseluruhan di suatu daerah. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai rupiah potensi kerugian dapat dilihat pada Tabel 3 sementara peta kerentanan tsunami untuk wilayah Kabupaten Aceh Jaya dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3 Potensi Kerugian Tsunami

KECAMATAN	POTENSI KERUGIAN (JUTA RUPIAH)			
	FISIK	EKONOMI	KERUGIAN	KELAS
Darul Hikmah	4,383.00	27,902.30	32,285.30	TINGGI
Indra Jaya	16,349.90	40,984.30	57,334.20	TINGGI
Jaya	11,517.20	97,402.70	108,919.90	TINGGI
Krueng Sabee	24,624.40	3,201.00	27,825.30	TINGGI
Panga	17,902.20	13,491.20	31,393.40	TINGGI
Sampoiniet	34,716.60	68,863.10	103,579.70	TINGGI
Setia Bhakti	25,001.90	47,230.40	72,232.30	TINGGI
Teunom	9,116.20	3,713.30	12,829.50	TINGGI

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025



Gambar 4 Peta Kerentanan Tsunami Kabupaten Aceh Jaya Metode KRB BNPB

## 2.2 Metode TSVI

Metode TSVI dalam perhitungan indeks kerentanan menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA), yang tidak hanya menghasilkan peta kerentanan tetapi juga analisis statistik tambahan berupa kontribusi setiap indikator terhadap kerentanan total yang diperoleh. Prinsip dasar SPCA adalah ia bekerja dengan mencari kombinasi linier dari seluruh parameter yang memaksimalkan variasi data ke dalam beberapa komponen utama. Jumlah komponen utama yang terpilih harus tetap dapat menjelaskan sebagian besar variasi data agar tidak terjadi kehilangan informasi. Dalam penelitian ini, SPCA mereduksi 8 parameter menjadi 3 komponen utama yang menjelaskan 83,3% variasi data seperti terlihat pada Tabel 4, melebihi standar PCA yang mensyaratkan kumulatif variasi minimal 80% (Irfan, 2024).

Tabel 4 Komponen Utama SPCA

Komponen Utama	Nilai Eigen	Variansi (%)	Variansi Kumulatif (%)
PC1	3.6	44.9	44.9
PC2	2	24.9	69.8
PC3	1.1	13.5	83.3

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025

Sementara itu, hasil nilai loadings yang merepresentasikan bobot dari setiap parameter dalam 3 komponen utama dapat dilihat pada Tabel 5. Pembacaan terhadap nilai loadings menjadi dasar interpretasi akan komponen utama yang terbentuk.

Tabel 5 Kontribusi Indikator Terhadap Kerentanan

Indikator	PC1	PC2	PC3
DEM	0.04	0.05	0.91
NDVI	0.52	0.08	-0.09
NDBI	-0.42	-0.11	-0.27
NDWI	-0.51	-0.07	0.08
SAVI	0.52	0.08	-0.09
Coastal Distance	-0.11	0.69	-0.07
POI Distance	-0.11	0.69	-0.07
Population	0.08	-0.14	-0.26

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025

Untuk dapat melihat urutan prioritas kontribusi masing-masing parameter, maka dilakukan analisis kontribusi berdasarkan bobot masing-masing komponen utama untuk setiap komponen melalui Persamaan 3, di mana  $|Loading\ k|$  adalah nilai absolut loading parameter pada PC ke-k dan  $Bobot\ k$  adalah nilai bobot PC ke-k (proporsi variasi kumulatif). Hasil urutan prioritas kontribusi parameter dapat dilihat pada Tabel 6.

$$\text{Kontribusi Tertimbang} = \sum_{k=1}^3 |\text{Loading } k| \times \text{Bobot } k \quad (3)$$

Tabel 6 Ranking Kontribusi Indikator

Indikator	Kontribusi Tertimbang	Ranking
NDVI	0.266	1
SAVI	0.266	1
NDWI	0.257	3
NDBI	0.252	4

Tabel 6 Lanjutan

Indikator	Kontribusi Tertimbang	Ranking
Coastal Distance	0.231	5
POI Distance	0.231	5
DEM	0.153	6
Population	0.106	7

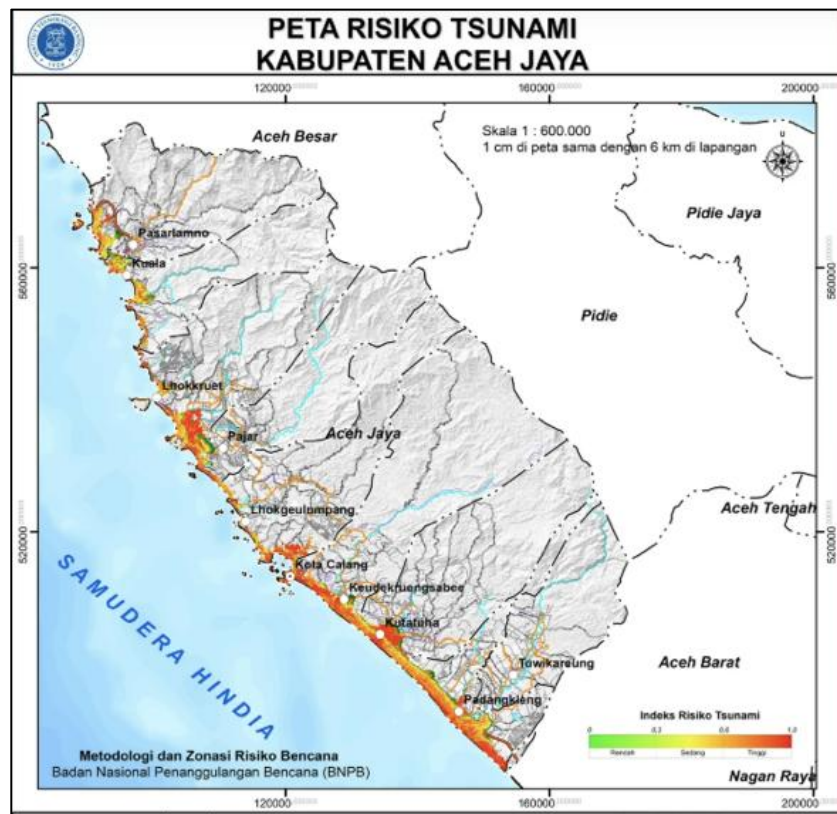
Sumber: Hasil Pengolahan, 2025

Temuan SPCA pada penelitian ini menunjukkan bahwa kepadatan penduduk memiliki pengaruh kecil terhadap kerentanan tsunami di Kabupaten Aceh Jaya, sementara kontribusi paling tinggi didapatkan dari parameter lingkungan yang direpresentasikan oleh NDVI, SAVI, NDWI, dan NDBI. Temuan ini menarik karena dalam metode nasional BNPB, kependudukan memiliki bobot tertinggi (40%) dalam kerentanan sosial. Berbeda dengan kota urban yang memiliki variasi populasi besar antar kecamatannya, Kabupaten Aceh Jaya memiliki distribusi populasi yang relatif homogen dengan kepadatan antara 13–63 jiwa/km<sup>2</sup> per kecamatan (BPS Kabupaten Aceh Jaya, 2024). Karena SPCA menyoroti variabel dengan variasi tinggi, maka populasi yang seragam berkontribusi kecil pada komponen utama. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jundullah & Wijayanto (2024) yang juga menemukan kontribusi kecil populasi terhadap indeks kerentanan tsunami di Provinsi Aceh. Dengan demikian, terlihat bahwa faktor fisik-lingkungan lebih dominan dalam menentukan kerentanan di Aceh Jaya, berbeda dengan asumsi BNPB secara nasional. Sejalan dengan hal tersebut, dominasi peran data NDVI/SAVI pada pembentukan kerentanan juga dapat dijadikan dasar pengambilan kebijakan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Aceh Jaya untuk memfokuskan prioritas mitigasi dengan mengoptimalkan vegetasi pesisir seperti mangrove sebagai mitigasi alami.

### 3 Indeks Risiko Tsunami

#### 3.1 Metode KRB BNPB

Perhitungan kelas risiko dimulai dari wilayah administrasi desa yang kemudian diagregasikan ke wilayah kecamatan dengan menggunakan nilai risiko tertinggi yang ada di setiap kecamatan. Dengan mengambil nilai kelas risiko desa tertinggi di setiap kecamatan, maka peta risiko tsunami yang dihasilkan dari metode KRB BNPB ditunjukkan pada Gambar 5, dan nilai akhir kelas risiko dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 5 Peta Risiko Tsunami Kabupaten Aceh Jaya Metode KRB BNPB

Tabel 7 Kelas Risiko Metode KRB BNPB

KECAMATAN	RISIKO	KELAS
Darul Hikmah	2	SEDANG
Indra Jaya	3	TINGGI
Jaya	2	SEDANG
Krueng Sabee	3	TINGGI
Panga	2	SEDANG
Sampoiniet	3	TINGGI
Setia Bhakti	3	TINGGI
Teunom	2	SEDANG

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025

### 3.2 Metode TSVI

Meskipun menggunakan indeks bahaya yang sama, karena pada tahapan perhitungan indeks risiko metode TSVI digunakan indeks kerentanan yang berbeda maka hasil indeks risiko yang dihasilkan pun menjadi berbeda. Peta risiko tsunami yang dihasilkan dari metode TSVI ditunjukkan pada Gambar 6, dan nilai akhir kelas risiko dapat dilihat pada Tabel 8.



Gambar 6 Peta Risiko Tsunami Kabupaten Aceh Jaya Metode TSVI

Tabel 8 Kelas Risiko Metode TSVI

KECAMATAN	RISIKO	KELAS
Darul Hikmah	3	TINGGI
Indra Jaya	2	SEDANG
Jaya	3	TINGGI
Krueng Sabee	2	SEDANG
Panga	2	SEDANG
Sampoiniet	3	TINGGI
Setia Bhakti	3	TINGGI
Teunom	2	SEDANG

Sumber: Hasil Pengolahan, 2025

Perbedaan hasil akhir indeks risiko tsunami antara kedua metode merupakan akibat dari adanya perbedaan paradigma dalam penerapan konsep *susceptibility* antara metode KRB BNPB dan TSVI. *World Risk Index Framework* mendefinisikan *susceptibility* sebagai kerawanan masyarakat dan ekosistem terhadap bencana, dilihat dari aspek ekonomi,

infrastruktur, nutrisi, dan kondisi perumahan. *Susceptibility* mengukur seberapa rentan suatu sistem saat terpapar bahaya bencana. Perbedaan paradigma tersebut tercermin dari penggunaan komponen pembentuk komponen kerentanan diantara kedua metode, yang secara detail perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Komponen Kerentanan Metode KRB BNPB VS TSVI

Komponen	Metode KRB BNPB	Metode TSVI
Fisik	- Rumah	- NDBI (Area terbangun)
	- Fasilitas umum (sekolah, rumah sakit)	- SAVI (Keterbukaan lahan)
	- Infrastruktur kritis (jembatan, pelabuhan)	- Jarak Pantai
		- Elevasi
Komponen	Metode KRB BNPB	Metode TSVI
Sosial	- Kepadatan penduduk	Kepadatan Penduduk
	- Rasio jenis kelamin	
	- Rasio kemiskinan	
	- Rasio kelompok disabilitas	
	- Rasio kelompok usia rentan	
Ekonomi	- Luas lahan produktif (sawah, perkebunan, tambak)	Jarak ke POI Ekonomi
	- PDRB sektor pertanian	
Lingkungan	- Luas hutan alam	- NDVI (Kepadatan vegetasi)
	- Luas hutan lindung	- NDWI (Kepadatan badan air)
	- Luas hutan bakau	

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Dari uraian pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter yang tumpang tindih penggunaannya sebagai komponen pembentuk kerentanan di metode TSVI sekaligus sebagai komponen pembentuk bahaya di metode BNPB, yaitu parameter elevasi dan jarak ke pantai, yang menjadi komponen kerentanan fisik di TSVI sekaligus juga berperan sebagai komponen bahaya di KRB BNPB. Selain itu, parameter tutupan lahan NDVI yang menjadi komponen kerentanan lingkungan dan SAVI yang menjadi komponen kerentanan fisik di TSVI, terlihat sekaligus juga menjadi dasar perhitungan kekasaran permukaan yang merupakan komponen bahaya di KRB BNPB.

Tumpang tindih antara komponen dalam metode TSVI menyulitkan pemisahan kontribusi antara hazard dan vulnerability, sehingga validasi antar metodologi menjadi kurang bermakna. Penelitian Wong dkk., (2022) menekankan pentingnya pemisahan yang jelas antara keduanya, menjadikan metode BNPB dengan pemisahan tegas antara bahaya dan kerentanan lebih tepat dalam konteks ini. Namun, metode TSVI unggul dari sisi

kemudahan operasional untuk penilaian cepat, karena kecepatan pembaruan data yang digunakan. Maka, TSVI lebih cocok digunakan untuk pemantauan perubahan risiko secara berkala seperti dalam analisis dampak alih fungsi lahan terhadap kerentanan tsunami.

#### D. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa masing-masing metode yaitu KRB BNPB & TSVI memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, di mana kombinasi keduanya dapat saling melengkapi dan menghasilkan strategi mitigasi yang lebih komprehensif.

Metode KRB BNPB menawarkan kerangka kerja terstruktur yang terintegrasi dengan kebijakan nasional, memisahkan komponen bahaya, kerentanan, dan kapasitas secara jelas untuk memudahkan analisis multi-skenario. Keunggulan utamanya terletak pada fokus sosial-ekonomi (bobot 40% untuk kerentanan sosial) yang tepat digunakan untuk analisis risiko berbasis komunitas. Namun, metode ini bergantung pada data yang kerap tidak terbaru dengan cepat.

Di sisi lain, metode TSVI yang memanfaatkan data satelit dan analisis statistik berbasis *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA) menunjukkan bahwa metode ini objektif, mudah diperbarui, dan efektif dalam mengidentifikasi kerentanan berbasis lingkungan-fisik seperti vegetasi dan tutupan lahan, sesuatu yang terbukti memiliki kontribusi lebih besar terhadap kerentanan tsunami di area Kabupaten Aceh Jaya yang memiliki sebaran penduduk homogen. Metode ini juga mampu memberikan keluaran berupa analisis kontribusi parameter terhadap kerentanan tsunami sesuai dengan kondisi terbaru di lapangan, sehingga akan sangat bermanfaat dalam proses monitoring mitigasi bencana. Namun, TSVI memiliki kelemahan dalam hal redundansi parameter seperti data elevasi dan jarak pantai yang tumpang tindih dengan komponen bahaya. Selain itu, akurasi indikator spektral (NDVI/NDWI) juga dapat terpengaruh tutupan awan dan resolusi citra.

#### E. DAFTAR PUSTAKA

- Amri, I., Hikmasari, B. S., Nababan, C. A., Wijayanti, D. A., Ruslanjari, D., & Giyarsih, S. R. (2023). Tsunami Susceptibility Assessment Using Spatial Multi-Criteria Evaluation in Watukarung, Pacitan. *JURNAL GEOGRAFI*, 15(2), 195–207. <https://doi.org/10.24114/jg.v15i2.41767>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Aceh Jaya. (2024). *Kabupaten Aceh Jaya dalam angka 2024* (Vol. 19, Katalog: 1102001.1116, No. Publikasi: 11160.2201). Badan Pusat Statistik Kabupaten Aceh Jaya. <https://acehjayakab.bps.go.id/id/publication/2024/02/28/f44bb61c3a33d6e5d2468111/kabupaten-aceh-jaya-dalam-angka-2024.html>
- Benazir, & Oktari, R. S. (2024). Assessing tsunami risk along the Aceh coast, Indonesia: a quantitative analysis of fault rupture potential and early warning system efficacy

for predicting arrival time and flood extent. *Natural Hazards*, 120(5), 4875–4900.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-024-06401-x>

- Biswas, S., & Sil, A. (2023). Tsunami Vulnerability Assessment and Multi-Criteria Decision Making Analysis of Eastern Coast of India Using GIS-Based Tools. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(3), 1270–1287. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1493-y>
- Doocy, S., Robinson, C., Moodie, C., & Burnham, G. (2009). Tsunami-related injury in Aceh Province, Indonesia. *Global Public Health*, 4(2), 205–214. <https://doi.org/10.1080/17441690802472612>
- Hadi, A. I., Sunaryo, Farid, M., Refrizon, Harlianto, B., Fadli, D. I., & Putriani, E. (2024). Analysis of earthquake-prone areas based on the seismic wave velocity, young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio for disaster risk reduction in Bengkulu city, Indonesia. *Natural Hazards*, 120(15), 14683–14702. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06827-3>
- Irfan, M. (2024). Analisis Komponen Utama pada Data Diabetes. *Sciencestatistics Journal of Statistics, Probability, and Its Application*, 2(2), 48–58. <https://doi.org/10.24127/sciencestatistics.v2i2.5729>
- Jundullah, M. R., & Wijayanto, A. W. (2024). Developing Tsunami Spatial Vulnerability Index using Satellite Imagery and Geospatial Big Data in Aceh, Indonesia. *Proceedings - International Conference on Informatics and Computational Sciences*, 312–317. <https://doi.org/10.1109/ICICoS62600.2024.10636877>
- Muzani, M., Mataburu, I. B., & Tafiati, T. (2024). Vulnerability and tsunami disaster on the west coast Banten province, Indonesia. *All Earth*, 36(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/27669645.2024.2323355>
- Prasetyo, S. Y. J., Sulistyono, W., Basuki, P. N., Hartomo, K. D., & Hasiholan, B. (2022). Computer model of Tsunami vulnerability using machine learning and multispectral satellite imagery. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(2), 986–997. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i2.3372>
- Purnama, M. R., Adityawan, M. B., Pribadi, K. S., Farid, M., Widyaningtiyas, & Kuntoro, A. A. (2022). Tsunami Risk Assessment in Business Continuity Planning for Palu Special Economic Zone. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1065(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1065/1/012053>
- Ramadhan, M. F., Handayani, H. H., & Nurwatik. (2021). Analysis of Tsunami Disaster Risk Level Using Grid-Based Method (Case Study: Coastal South Beach Blitar). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 731(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/731/1/012033>
- Sufri, S., & Lassa, J. A. (2024). Integration of disaster risk reduction and climate change adaptation in Aceh: Progress and challenges after 20 Years of Indian Ocean Tsunamis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104894>
- Syamsidik, Nugroho, A., Oktari, R. S., & Fahmi, M. (2019). *Aceh Pasca 15 Tahun Tsunami: Kilas Balik dan Proses Pemulihan*. Banda Aceh: Tsunami and Disaster Research Center (TDMRC), Universitas Syiah Kuala.

- Van Veen, B. A. D., Vatvani, D., & Zijl, F. (2014). Tsunami flood modelling for Aceh & west Sumatra and its application for an early warning system. *Continental Shelf Research*, 79, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.08.020>
- Wiyono, R. U. A., Pujianto, A., & Hidayah, E. (2024). Tsunami Risk Mapping in Tempurejo District, Jember Regency based on BNPB Criteria using TOPSIS Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1347(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1347/1/012057>
- Wong, M. M. R., Ahmad, N., Syamsidik, Suppasri, A., & Othman, M. (2022). Multi-indicator building vulnerability index for assessing tsunami-induced building damages. *E3S Web of Conferences*, 340. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234004002>