

Penentuan Peringkat Bahaya Tsunami dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* (Studi kasus: Wilayah Pesisir Kabupaten Sukabumi)

OKI OKTARIADI

Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi, Jl. Diponegoro No. 57 Bandung

SARI

Struktur peringkat risiko bencana tsunami terdiri atas faktor bahaya, kerentanan, dan ketahanan. Analisis dalam penelitian ini dilakukan hanya terhadap faktor bahaya dengan indikator terdiri atas keterenggan pantai, kekasaran pantai (material permukaan), landaan, dan intensitas gempa bumi. Metode komputasi yang digunakan dalam sistem pengambilan keputusan adalah metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Proses penyelesaian metode *AHP* adalah menentukan peringkat indikator yang dihitung bobot dan matriks peringkat faktor bahayanya. Hasil akhir nilai peringkat dipakai sebagai alat pengambil keputusan untuk membuat peta bahaya tsunami melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan empat peringkat bahaya tsunami, yaitu tinggi, sedang, rendah, dan aman.

Wilayah pesisir Kabupaten Sukabumi yang memiliki risiko bahaya tsunami tinggi adalah wilayah pesisir Cikakak, Teluk Pelabuhan Ratu, pedataran Ciemas (Teluk Ciletuh), Tanjung Ujung Genteng, dan sebagian wilayah pesisir Simpenan; zona bahaya tsunami sedang adalah wilayah pesisir Surade, Cibitung, dan wilayah pesisir Tegalbuleud, sedangkan zona yang memiliki bahaya bencana tsunami rendah meliputi wilayah pesisir Cisolok, Simpenan, dan wilayah pesisir Ciemas. Sementara itu, wilayah pesisir selain tersebut di atas, termasuk zona aman (tidak terpengaruh) bahaya tsunami.

Kata kunci: bahaya, tsunami, *Analytical Hierarchy Process*, Sukabumi

ABSTRACT

Hierarchy structure of a tsunami risk encompasses the study of hazard, vulnerability, and capacity factors. The focus of this research is hazard factors, with indicators comprise beach slope, beach coarseness (surface material), run up, and earthquake intensity. Computation method used in the decision system is the Analytical Hierarchy Process (AHP). The AHP method is to determine the weight of indicators and matrices of hazard factor hierarchy. The final total score of the hazard factors will be useful for tsunami hazard mapping through a geographic information system (GIS). It consists of four hierarchies of tsunami hazard that are high, middle, low, and safe levels.

The coastal regions in Sukabumi having high tsunami disaster risk are the Gulf of Pelabuhanratu, Ciemas plain (Gulf of Ciletuh), Ujung Genteng Cape, and some parts of coastal plain areas in Simpenan. Those having middle tsunami disaster risk are coastal area of Surade, Cibitung, Tegalbuleud, whereas those having low tsunami disaster risk are Cisolok cliff, Simpenan, and Ciemas cliff area. The other coastal zones are included into a safe area.

Keywords: hazard factor, tsunami, *Analytical Hierarchy Process*, Sukabumi

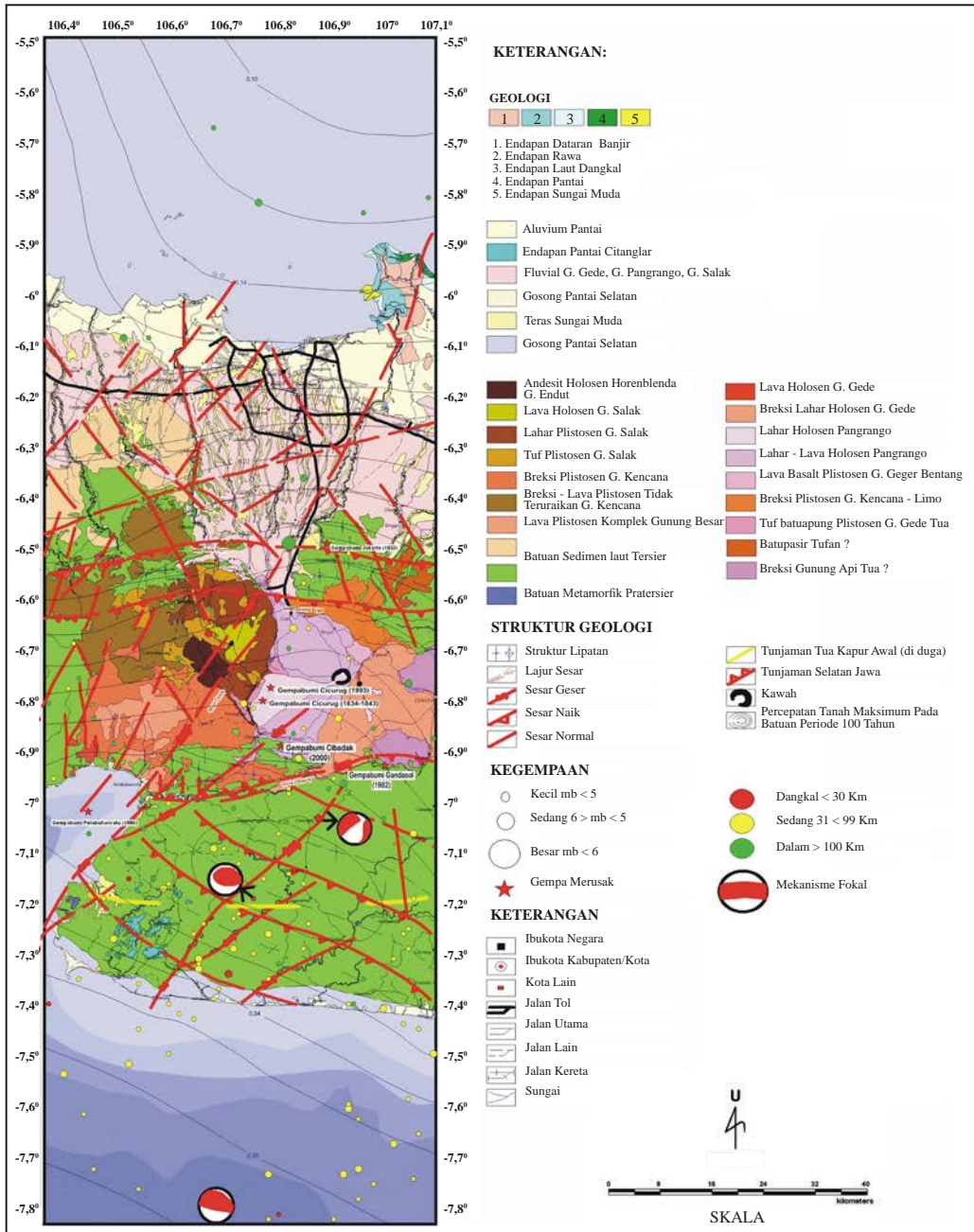
PENDAHULUAN

Pada tahun 2006 di Pangandaran, Jawa Barat, terjadi gempa bumi yang disertai tsunami dan berpengaruh sampai wilayah pesisir Sukabumi.

Kejadian serupa di pesisir selatan wilayah Jawa Barat lainnya dapat terjadi, sehingga kewaspadaan di wilayah tersebut, dalam menghadapi bencana tsunami dan upaya memperkecil risikonya perlu ditingkatkan.

Sudradjat (1997) memasukkan wilayah Jawa bagian selatan ke dalam kelompok pantai yang rawan terhadap bencana tsunami berdasarkan teknik penyebab gempa bumi. Sementara itu, menurut Soehaimi (2008), wilayah pesisir Sukabumi yang berada di bagian selatan Jawa Barat merupakan salah satu wilayah pesisir yang memiliki tingkat

bahaya geologi relatif tinggi, karena dilalui oleh Sesar aktif Cimandiri yang merupakan lajur sumber gempa bumi bermekanisme sesar naik (Gambar 1). Pada 12 Juli 2000, patahan ini aktif kembali dan menimbulkan Gempa Bumi Sukabumi yang menimbulkan kerusakan cukup parah di beberapa lokasi di wilayah Sukabumi.



Gambar 1. Peta seismotektonik daerah Pelabuhanratu – Bogor – Jakarta (Soehaimi drr., 2007).

Upaya memperkecil risiko bencana tsunami yang mungkin terjadi di masa datang adalah melakukan penelitian faktor-faktor yang berperan terhadap risiko bencana tsunami. Menurut Davis dr. (2004) faktor-faktor tersebut adalah bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), ketahanan (*capacity*), dan estimasi kerugian (*loss estimation*). Penelitian ini yang difokuskan pada penentuan tingkat bahaya tsunami, menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* dengan studi kasus wilayah pesisir Kabupaten Sukabumi.

DASAR TEORI

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) pertama kali dikembangkan oleh Saaty (1994) seorang ahli matematika dari Universitas Pittsburg, Amerika Serikat.

Pengertian *AHP* adalah mengabstraksikan struktur suatu sistem untuk mempelajari hubungan fungsional antara komponen dan akibatnya pada sistem secara keseluruhan. Namun, pada dasarnya sistem ini dirancang untuk menghimpun secara rasional persepsi orang yang berhubungan sangat erat dengan permasalahan tertentu melalui suatu prosedur untuk sampai pada suatu skala preferensi di antara berbagai alternatif. Analisis ini yang ditujukan untuk membuat suatu model permasalahan yang tidak mempunyai struktur, biasanya ditetapkan untuk memecahkan masalah terukur (kuantitatif), masalah yang memerlukan pendapat (*judgement*) maupun

situasi yang kompleks atau tidak terkerangka, pada situasi ketika data dan informasi statistik sangat minim atau tidak ada sama sekali. Jadi sistem ini hanya bersifat kualitatif yang didasari oleh persepsi, pengalaman ataupun intuisi (Saaty, 1994). Dalam menyelesaikan persoalan dengan *AHP* ada beberapa prinsip dasar yang harus dipahami, antara lain:

- a. *Decomposisi*. Setelah mendefinisikan permasalahan/persoalan, perlu dilakukan dekomposisi, yaitu memecah persoalan yang utuh menjadi unsur-unsurnya, sampai yang sekecil-kecilnya.
- b. *Comparative Judgement*. Prinsip ini membuat penilaian tentang kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkatan di atasnya. Hasil penilaian ini lebih mudah disajikan dalam bentuk matriks *Pairwise Comparison*.
- c. *Synthesis of Priority*. Dari setiap matriks *pairwise comparison*, vektor cirinya (*eigen*) adalah untuk mendapatkan prioritas lokal. Karena matriks *pairwise comparison* terdapat pada setiap tingkat, maka untuk mengetahui prioritas global harus dilakukan sintesis di antara prioritas lokal. Prosedur melakukan sintesis berbeda menurut bentuk hierarki.
- d. *Logical Consistency*, yakni konsistensi yang memiliki dua makna. Pertama adalah bahwa obyek-obyek yang serupa dapat dikelompokkan sesuai keseragaman dan relevansinya. Kedua adalah tingkat hubungan antara obyek-obyek yang didasarkan pada kriteria tertentu.

Pendekatan *AHP* menggunakan skala Saaty (Tabel 1) mulai dari nilai bobot 1 sampai 9. Nilai

Tabel 1. Skala Banding secara berpasangan (Saaty,1994)

Tingkat Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Kedua elemen sama penting	Dua elemen mempunyai pengaruh yang sama besar terhadap tujuan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lain	Pengalaman dan penilaian sedikit mendukung satu elemen dibanding elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen yang lain	Pengalaman dan penilaian sangat kuat mendukung satu elemen dibanding elemen yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih penting daripada elemen lainnya	Satu elemen dengan kuat didukung dan dominan terlihat dalam praktek
9	Satu elemen mutlak lebih penting daripada elemen yang lainnya	Bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan	Nilai ini diberikan bila ada dua kompromi di antara dua pilihan
Kebalikan	Jika untuk aktivitas i mendapat satu angka bila dibandingkan dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai kebalikannya bila dibandingkan dengan i	

bobot 1 menggambarkan “sama penting”. Ini berarti bahwa nilai atribut yang sama skalanya, nilai bobotnya 1, sedangkan nilai bobot 9 menggambarkan kasus atribut yang “penting absolut” dibandingkan dengan yang lainnya.

Dalam *AHP*, penetapan prioritas kebijakan dilakukan dengan menangkap secara rasional persepsi orang, kemudian mengkonversi faktor-faktor yang *intangible* (yang tidak terukur) ke dalam aturan yang biasa, sehingga dapat dibandingkan. Adapun tahapan dalam analisis data adalah sebagai berikut (Saaty, 1994):

1. Identifikasi sistem, yaitu untuk mengidentifikasi permasalahan dan menentukan solusi yang diinginkan. Identifikasi sistem dilakukan dengan cara mempelajari referensi dan berdiskusi dengan para pakar yang memahami permasalahan, sehingga diperoleh konsep yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi.
2. Penyusunan struktur hierarki yang diawali dengan tujuan umum, dilanjutkan dengan sub-tujuan, kriteria, dan kemungkinan alternatif-alternatif pada tingkatan kriteria yang paling bawah.
3. Perbandingan berpasangan, menggambarkan pengaruh relatif setiap elemen terhadap masing-masing tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya. Teknik perbandingan berpasangan yang digunakan dalam *AHP* berdasarkan *judgement* atau pendapat para responden yang dianggap sebagai *keyperson*. Mereka dapat terdiri atas: 1) pengambil keputusan, 2) para pakar, dan 3), orang yang terlibat dan memahami permasalahan yang dihadapi.
4. Matriks pendapat individu, formulasinya dapat disajikan sebagai berikut:

	C1	C2	Cn	
A = (a _{ij}) =	C1	1	a ₁₂	A _{1n}
	C2	1/a ₁₂	1	A _{2n}

	Cn	1/a _{1n}	1/a _{2n}	1

Dalam hal ini, C1, C2,...Cn adalah set elemen pada satu tingkat dalam hierarki. Kuantifikasi pendapat dari hasil perbandingan berpasangan membentuk matriks n x n. Nilai a_{ij} merupakan nilai matriks pendapat hasil perbandingan yang mencerminkan nilai kepentingan Ci terhadap Cj.

5. Matriks pendapat gabungan, merupakan matriks baru yang elemen-elemennya berasal dari

rata-rata geometrik elemen matriks pendapat individu yang nilai rasio inkonsistensinya memenuhi syarat.

6. Pengolahan horizontal, yaitu: a) Perkalian baris, b) Perhitungan vektor prioritas atau vektor ciri (*eigen vector*), c) Perhitungan akar ciri (*eigen value*) maksimum, dan d) Perhitungan rasio inkonsistensi.
7. Nilai pengukuran konsistensi diperlukan untuk menghitung konsistensi jawaban responden.
8. Menguji konsistensi setiap matriks berpasangan antar alternatif dengan rumus masing-masing elemen matriks berpasangan pada langkah 4 dikalikan dengan nilai prioritas kriteria. Hasil masing-masing baris dijumlah, kemudian hasilnya dibagi dengan masing-masing nilai prioritas kriteria sebanyak n α, α, α ,....., α 1 2 3. Menghitung Lamda max (α_{max}) dengan rumus:

$$\alpha_{max} = \frac{\sum \alpha}{n} \dots\dots\dots(1)$$

Menghitung *Consistency Index (CI)* dengan rumus :

$$CI = \frac{\alpha_{max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots(2)$$

Menghitung *Consistency Ratio (CR)* dengan rumus :

$$Consistency Ratio (CR) = \frac{CI}{RC} \dots\dots\dots(3)$$

RC adalah nilai yang berasal dari tabel acak seperti Tabel 2. Jika CR < 0,1 maka nilai perbandingan berpasangan pada matriks kriteria yang diberikan konsisten. Jika CR > 01, maka nilai perbandingan berpasangan pada matriks kriteria yang diberikan tidak konsisten. Jika tidak konsisten, maka pengisian nilai-nilai pada matriks berpasangan baik dalam unsur kriteria maupun alternatif harus diulang. Beberapa ahli berpendapat jika jumlah revisi terlalu besar, sebaiknya responden tersebut dihilangkan. Jadi penggunaan revisi ini sangat terbatas mengingat akan terjadinya penyimpangan jawaban yang sebenarnya.

9. Hasil akhirnya berupa prioritas global sebagai nilai yang digunakan oleh pengambil keputusan berdasarkan skor yang tertinggi.

Tabel 2. *Random Consistency (RC)*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RC	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem berbasis komputer yang berguna dalam melakukan pemetaan serta analisis berbagai hal dan peristiwa yang terjadi di atas permukaan bumi (Bonham-Carter, 2002). Teknologi SIG mengintegrasikan operasi basis data dan analisis statistik dengan visualisasi yang unik serta analisis spasial yang ditawarkan melalui bentuk peta digital. Kemampuan tersebutlah yang membedakan SIG dengan Sistem Informasi lain, sehingga membuat SIG lebih bermanfaat dalam memberikan informasi yang mendekati kondisi dunia nyata, memprediksi suatu hasil, dan untuk perencanaan strategis. Demikian juga dalam menyimpulkan tingkatan risiko bencana tsunami telah dimanfaatkan SIG untuk menghasilkan peta tematik (*thematic map*) dan peta akhir (*final map*) berupa peta peringkat bahaya tsunami.

METODOLOGI

Langkah-langkah penelitian dalam menentukan peringkat bahaya tsunami di wilayah pesisir Sukabumi adalah seperti tertera di bawah.

Tahap Pengumpulan Data

Metode *Analytical Hierarchy Process* adalah metode pengambilan keputusan yang memanfaatkan persepsi responden yang dianggap ahli sebagai *input* utamanya. Kriteria ahli disini bukan berarti

bahwa orang tersebut haruslah jenius, pintar, dan sebagainya, tetapi lebih mengacu pada orang yang mengerti benar permasalahan yang diajukan, merasakan akibat suatu masalah, atau punya kepentingan terhadap masalah tersebut. Dalam penelitian ini penyebaran kuesioner dilaksanakan kepada sepuluh responden meliputi ahli geologi, oseanografi, geofisika, dll.

Basis data SIG yang diperlukan adalah informasi indikator bahaya tsunami wilayah pesisir Sukabumi berupa peta geologi, peta intensitas gempa bumi, peta rupa bumi, peta batimetri, dan data landaan (*run-up*) hasil pemodelan matematika yang pernah dilakukan.

Tahap Pembobotan

1. Menentukan jenis-jenis kriteria/indikator yang akan berpengaruh terhadap faktor bahaya tsunami dan menyusun indikator-indikator tersebut dalam bentuk matriks berpasangan (Tabel 3).
2. Menjumlah setiap kolom pada Tabel 2.
3. Menentukan nilai elemen kolom kriteria dengan rumus: tiap-tiap sel pada Tabel 2 dibagi dengan masing-masing jumlah kolom pada langkah 3.
4. Menentukan peringkat indikator pada masing-masing baris dalam Tabel 2 dengan rumus jumlah baris dibagi banyak kriteria.
5. Mengukur konsistensi, yaitu menguji konsistensi.
6. Menghitung λ_{max} (α_{max}), *CI*, dan *CR*.
7. Terakhir menghitung nilai peringkat.

Tabel 3. Bentuk Matriks berpasangan

	Landaan (<i>Run Up</i>)	Kelerengan Pantai	Kekasaran Pantai	Intensitas Gempa Bumi
Landaan (<i>Run Up</i>)				
Kelerengan pantai				
Kekasaran pantai				
Intensitas gempa bumi				

Cara pengisian elemen-elemen matriks pada Tabel 3 tersebut adalah:

1. Elemen $a[i,j] = 1$ dimana $i = 1,2,\dots, n$. (Untuk penelitian $n = 4$).
2. Elemen matriks segitiga atas sebagai input
3. Elemen matriks segitiga bawah mempunyai rumus $a[j,i] = \frac{1}{a[i,j]}$, untuk $i \neq j$

Tahap Proses SIG

Konversi data ke dalam basis data SIG mewujudkan hasil pembobotan *AHP* dan menentukan skor pada setiap peta tematik melalui perumusan model matematika. Proses *overlay* peta tematik akan menghasilkan peta peringkat bahaya tsunami. Selanjutnya melakukan analisis, interpretasi, dan verifikasi peta hasil pemodelan SIG untuk menghasilkan peta peringkat bahaya tsunami final.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah-langkah penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya dilanjutkan dengan studi kasus di wilayah pesisir Sukabumi. Proses analisis dimulai dengan menentukan indikator faktor bahaya tsunami, perhitungan bobot indikator, dan proses *overlay* melalui SIG untuk menghasilkan peringkat bahaya tsunami.

Indikator Faktor Bahaya Tsunami

Dalam penentuan peringkat bahaya tsunami, Angraeni (2004; dalam Subandono dan Budiman, 2006) menunjukkan beberapa indikator penting yang berpengaruh terhadap faktor bahaya tsunami pada suatu daerah tertentu, yakni indikator landaan, kelerengan pantai, kekasaran pantai (material permukaan), dan intensitas gempa bumi.

Indikator Landaan Tsunami (*Run Up*)

Tinggi rendahnya landaan merupakan indikator penting untuk terjadinya bencana tsunami. Oleh karena itu diperlukan informasi sejauh mana hubungan antara landaan dengan skala kerugian. Imamura dan Iida (1949, dalam Imamura dr., 1997) telah mempelajari hubungan antara ketinggian gelombang tsunami dan skala kerugian yang ditimbulkannya. Sementara untuk mengetahui perkiraan landaan maksimum wilayah pesisir Sukabumi didasarkan pada: (1) hasil survei *International Tsunami Survey Team (ITST)* 1994 yang dilakukan di Jawa Timur, yang mencapai ketinggian 13, dan (2) hasil simulasi di wilayah pesisir Sukabumi yang dilakukan Yudichara (2006) dan menghasilkan ketinggian landaan maksimum 10. Oleh karena peta topografi yang digunakan adalah peta rupa bumi Bakosurtanal skala 1:25.000, dengan interval kontur 2,5 m, maka untuk kepraktisan analisis

landaan maksimumnya adalah 12,5 m. Berdasarkan kriteria Imamura dan Iida (1949, dalam Imamura dr., 1997) yang disederhanakan, maka peringkat landaan di Pesisir Sukabumi adalah seperti yang disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4. Peringkat Landaan (*Run Up*) di Wilayah Pesisir Sukabumi (USDA - NRCS, 1986)

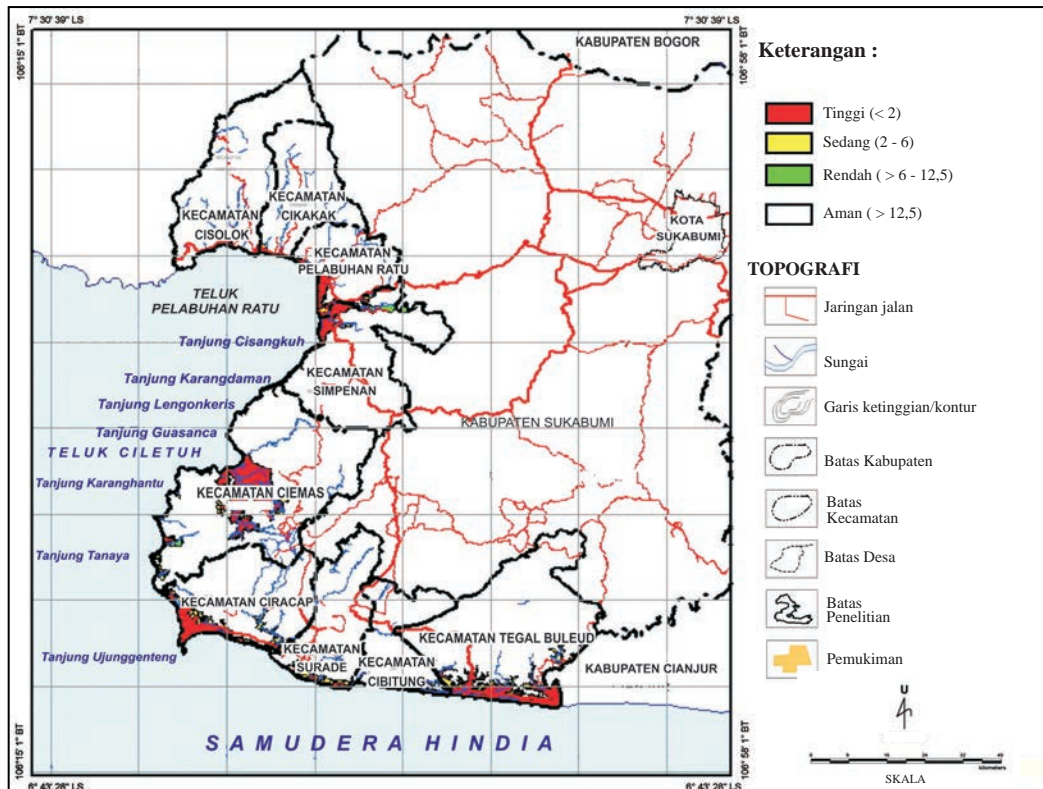
Kelas	Ketinggian Landaan	Skala kerugian
Rendah	< 2 m	Kerusakan di kawasan pantai dan kapal
Sedang	2 – 6 m	Kerusakan dan korban jiwa di suatu daerah tertentu
Tinggi	> 6 – 12,5 m	Kerusakan sepanjang pantai lebih dari 400 km
Aman	> 12,5 m	Wilayah daratan yang tidak terkena tsunami.

Indikator Kelerengan Pantai

Menurut Shuto (1998), jarak jangkauan tsunami ke daratan sangat ditentukan oleh terjal-landainya morfologi pantai. Pada pantai yang terjal, tsunami tidak akan terlalu jauh mencapai daratan karena tertahan dan dipantulkan kembali oleh tebing pantai. Sementara di pantai yang landai, landaan tsunami dapat menerjang sampai beberapa kilometer masuk ke daratan seperti yang terjadi di Banda Aceh, dapat menerjang masuk sejauh 5 km dari garis pantai.

Apabila ada lembah laut yang dalam atau daerah dangkal di lepas pantai, arah gelombang tsunami berubah, dan ketinggian tsunami sepanjang pantai berbeda dari satu tempat ke tempat yang lain bergantung pada morfologi, batimetri, dan topografi pantai, sehingga indikator kelerengan memiliki peranan penting dalam menentukan besar-kecilnya tsunami di suatu wilayah. Berdasarkan pemahaman tersebut di atas, maka kelerengan pantai menurut USDA-NRCS (1986) dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 5.

Menurut hasil analisis data batimetri yang diperoleh dari Pusat Penelitian Geologi Kelautan (Kusnida, 2004), tingkat kepekaan lereng pantai wilayah pesisir Sukabumi dapat dilihat pada Tabel 6 dan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Peta zona landaan tsunami berdasarkan ketinggian kontur pada peta rupabumi di wilayah pesisir Sukabumi.

Tabel 5. Indikator Kelerengan Pantai (USDA - NRCS,1986)

No.	Jenis Kelerengan Pantai	Kepekaan Terhadap Tsunami
1	Datar	Sangat peka
2	Landai	Peka
3	Agak Curam	Agak peka
4	Curam	Kurang peka
5	Sangat Curam	Tidak peka

Tabel 6. Tingkat Kepekaan Lereng Pantai Wilayah Pesisir Sukabumi (Kusnida, 2004)

No.	Segmen	Sudut Lereng (derajat)	Kepekaan Terhadap Tsunami
1	Teluk Pelabuhan Ratu	> 30	Kurang peka
2	Tanjung Ujung Genteng	20 – 30	Peka
3	Tegalbuleud	< 20	Agak peka

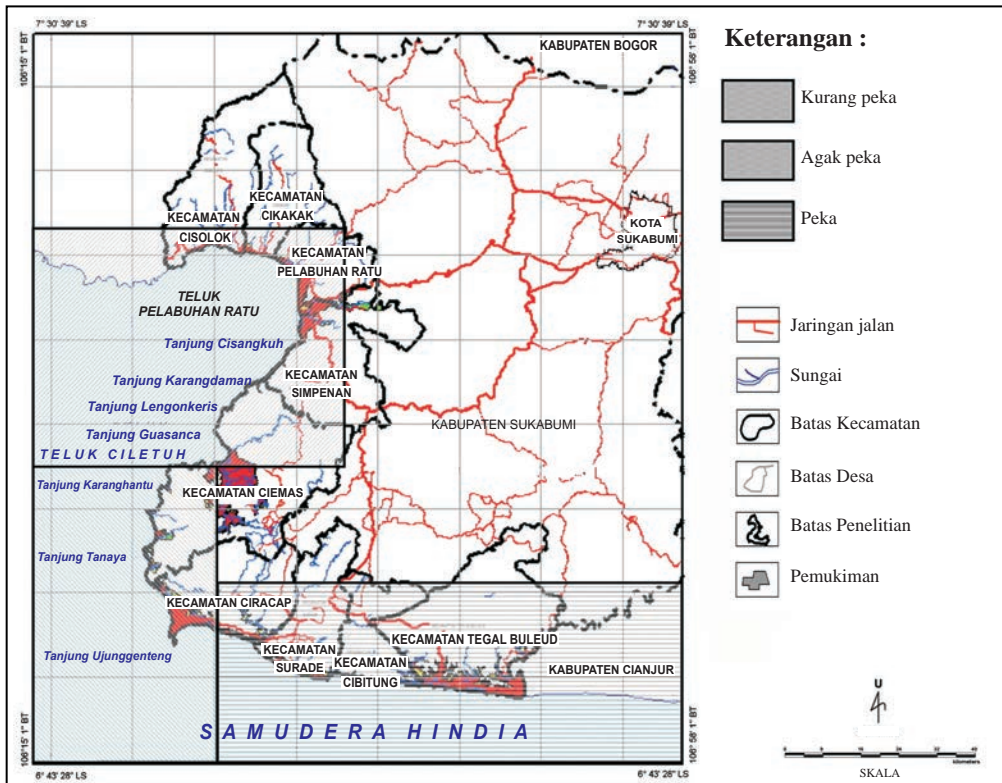
Indikator Kekasaran Pantai

Ditinjau dari sudut pandang geomorfologi, keberadaan material permukaan dapat menunjukkan tingkat kekasaran pantai. Dampak positif kekasaran pantai adalah semakin padu material permukaan akan semakin besar energi tsunami yang teredam, sedangkan dampak negatifnya adalah semakin lepas material permukaan akan semakin besar kerusakan sarana dan prasarana berikut kehilangan jiwa manusia. USDA-NRCS (1986) mengklasifikasikan kekasaran pantai seperti yang diperlihatkan Tabel 7.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, kelas kekasaran pantai di wilayah Pesisir Sukabumi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelas seperti yang tertera pada Tabel 8 dan ditampilkan pada Gambar 4.

Indikator Intensitas Gempa Bumi

Menurut Iada (1963, dalam Imamura drr. 1997), terdapat hubungan antara kedalaman episentrum dan besarnya skala tsunami yang ditimbulkannya. Berdasarkan pengamatan, besarnya skala tsunami



Gambar 3. Peta peringkat kekerasan pantai yang menunjukkan kepekaan terhadap ketinggian gelombang tsunami di wilayah pesisir Sukabumi.

Tabel 7. Kelas Indikator Kekasaran Pantai Sumber (USDA-NRCS,1986)

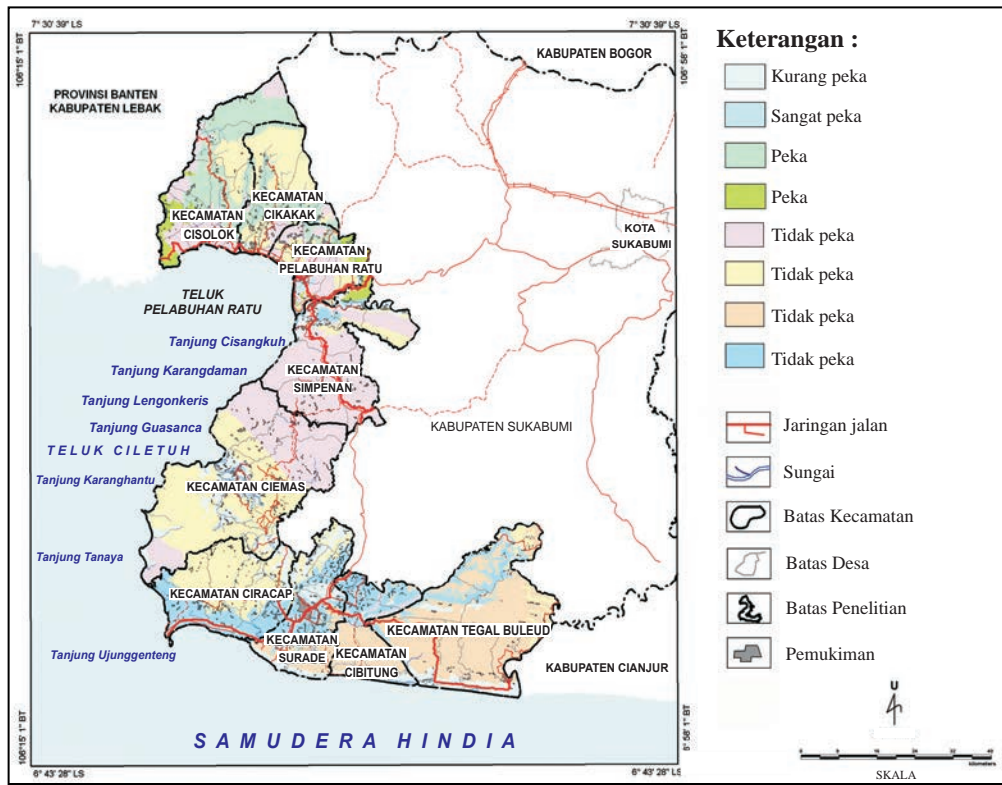
No.	Jenis Kekasaran Pantai	Kepekaan Terhadap Tsunami
1	Pasir	Sangat peka
2	Rawa	Peka
3	Beting Karang	Agak peka
4	Batu Karang	Kurang peka
5	Batuan Beku	Tidak peka

berbanding terbalik dengan kedalaman episentrum. Oleh karena itu gelombang tsunami mempunyai hubungan erat dengan kekuatan gempa dan kedalaman pusat gempa.

Kertapati (2006) mengategorikan intensitas gempa bumi menjadi sepuluh macam tingkat bahaya berdasarkan besaran percepatan maksimum (satuan gal = cm/s²) dan intensitas ‘*Modified Mercalli Intensity 1956*’ MMI (Tabel 9). Menurutnya, gambaran intensitas gempa bumi di wilayah pesisir

Tabel 8. Kelas Kekerasan Pantai Wilayah Pesisir Sukabumi

No.	Sebaran	Jenis Material	Kepekaan Terhadap Tsunami
1	Teluk Pelabuhan Ratu – Ujung Genteng	• Andesit	Tidak peka
2	Teluk Pelabuhan Ratu bagian utara dan sekitar Ujung Genteng.	• Batu karang • Batupasir gampingan	Kurang peka
3	Setempat-setempat di sekitar Desa Simpenan, Desa Ciemas, dan pesisir pantai yang termasuk Kecamatan Surade, Cibitung, dan Tegalbuleud.	• Endapan pantai terdiri atas pasir sampai pasir lanauan • Endapan sungai terdiri atas pasir lanauan dan pasir lempungan	Peka



Gambar 4. Peta peringkat kekasaran pantai berdasarkan hasil interpretasi peta sebaran bahan permukaan yang menunjukkan kepekaan terhadap gelombang tsunami di wilayah pesisir Sukabumi.

Tabel 9. Kelas Indikator Intensitas Gempa Bumi

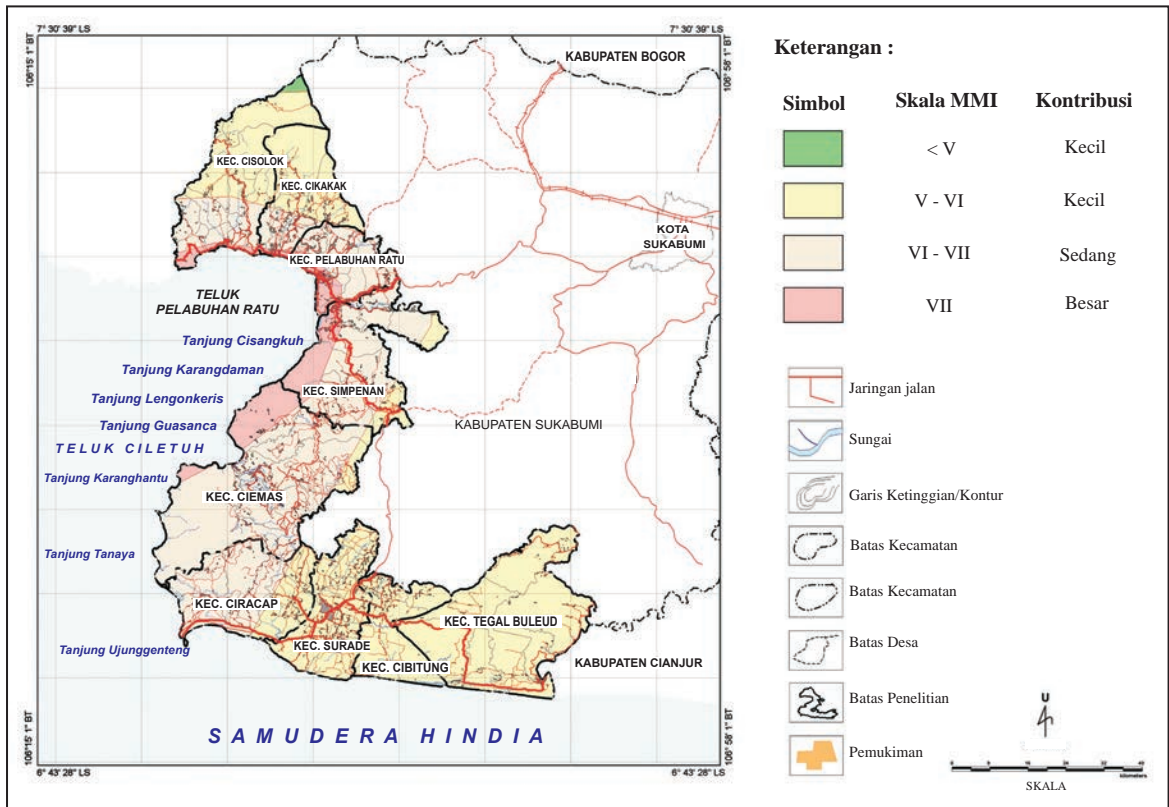
No.	Kelas Bahaya	Intensitas (MMI)	Nilai Percepatan (gal)
1.	Kecil	< VI	< 0,15
2.	Sedang	VI-VII	0,15 – 0,20
3.	Besar	> VII	> 20

Sukabumi termasuk zona MMI IV sampai MMI VII dan Zona MMI >VII.

Menurut hasil analisis intensitas gempa bumi yang dilakukan Kertapati (2006), tingkat indikator gempa bumi di wilayah pesisir Sukabumi adalah seperti yang dapat dilihat pada Tabel 10 dan ditampilkan pada Gambar 5.

Tabel 10. Kelas Indikator Gempa Bumi Wilayah Pesisir Sukabumi

No.	Sebaran	Intensitas Gempa Bumi (MMI)	Kelas Bahaya
1	Wilayah pesisir Teluk Pelabuhan Ratu (Cisolok – Teluk Ciletuh)	> VII	Besar
2	Mulai wilayah pesisir Tanjung Karang Hantu sampai Ujung Genteng atau meliputi sebagai wilayah Kecamatan Ciemas dan Ciracap.	VI - VII	Sedang
3	Sebagian wilayah pesisir Kecamatan Ciracap Seluruh wilayah pesisir Kecamatan Surade, Cibitung, dan Tegalbuleud	< VI	Kecil



Gambar 5. Kontribusi intensitas gempa bumi terhadap peningkatan faktor bahaya tsunami di wilayah pesisir Sukabumi (Kertapati, 2006).

Penilaian Responden Terhadap Indikator Berpasangan

Langkah berikut setelah menentukan indikator bahaya tsunami sesuai dengan Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* adalah melakukan pembobotan melalui penyebaran kuesioner terhadap sepuluh responden yang terdiri atas para ahli geologi, oceanografi, dan geofisika, khususnya yang memahami faktor bahaya tsunami dalam lingkup risiko bencana tsunami. Berikut ini rekapitulasi hasil penilaian para responden yang dimasukkan ke

dalam bentuk matriks berpasangan indikator bahaya tsunami (Tabel 11).

Perhitungan Bobot Indikator

Langkah selanjutnya adalah menentukan bobot pada tiap indikator, yang berkisar antara 0 – 1, dan total bobot untuk setiap kolom adalah 1. Cara menghitung bobot adalah angka pada setiap kotak dibagi dengan penjumlahan semua angka dalam kolom yang sama. Sementara nilai bobot untuk masing-masing indikator adalah penjumlahan setiap

Tabel 11. Hasil Rekapitulasi Pendapat Responden

	Intensitas Gempa Bumi	Kelerengan Pantai	Kekasaran Pantai	Landaan
Intensitas Gempa bumi	1	5	3	2
Kelerengan Pantai	1/5	1	2	1/4
Kekasaran Pantai	1/3	1/2	1	1/4
Landaan	1/2	4	4	1

nilai bobot prioritas pada setiap baris tabel dibagi dengan jumlah indikator, sehingga diperoleh bobot masing-masing indikator dengan jumlah total bobot semua indikator = 1 (100%). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 12.

Analisis pendapat gabungan para responden menunjukkan bahwa indikator intensitas gempa bumi (nilai bobot 0,460) merupakan aspek paling penting yang perlu diperhatikan dalam menentukan tingkat bahaya tsunami. Aspek berikut yang perlu diperhatikan adalah indikator landaan tsunami (nilai bobot 0,330), indikator kelerengan pantai (nilai bobot 0,169), dan indikator kekasaran pantai (nilai bobot 0,09).

Pendapat tersebut mencerminkan bahwa indikator intensitas gempa dipandang sangat erat kaitannya dengan bahaya tsunami. Preferensi para responden untuk mengutamakan indikator intensitas gempa bumi dalam penentuan tingkat bahaya tsunami adalah hal yang logis karena dipandang sebagai pemicu terjadinya bencana tsunami.

Langkah selanjutnya adalah menghitung Lamda dengan rumus jumlah baris dibagi prioritas kriteria, dan hasilnya berupa nilai Lamda yang ditampilkan pada Tabel 13.

Dari Tabel 13 dapat dihitung nilai Lamda (α) max, CI , dan CR dengan rumus (1), (2) dan (3) yang hasilnya adalah:

$$\alpha \max = \frac{0,25}{4} = 0,06 \quad CI = \frac{0,25 - 4}{3} = -0,1$$

$$CR = \frac{-1}{0,9} = -1,1$$

Karena $CR < 0,1$ maka nilai perbandingan berpasangan pada matriks indikator yang diberikan, adalah konsisten.

Overlay Indikator Bahaya Tsunami

Peringkat *AHP* yang dihasilkan kemudian dikonversi ke dalam basis data SIG untuk diberikan nilai. Bobot masing-masing indikator mendapatkan nilai skor melalui perumusan model matematika (Tabel 14).

Selanjutnya, nilai skor bahaya tsunami tersebut di atas dikelompokkan menjadi tiga zona dengan kisaran nilai skor sebagai berikut: zona bahaya tsunami tinggi memiliki nilai skor $> 0,319$, zona bahaya tsunami sedang memiliki kisaran skor $0,203 - 0,319$, dan zona bahaya tsunami rendah memiliki nilai skor $< 0,203$.

Berdasarkan hasil tumpang susun (*overlay*) peta tematik yang telah memiliki nilai masing-masing indikator faktor bahaya, maka peringkat (zona) bahaya tsunami wilayah pesisir Sukabumi dapat dilihat pada Tabel 15 dan Gambar 6.

Tabel 12. Bobot Indikator

	Intensitas Gempa Bumi	Kelerengan Pantai	Kekasaran Pantai	Run Up	Jumlah Baris	Peringkat Indikator
Intensitas Gempa Bumi	0,492611	0,47619	0,300	0,571429	1,840230	0,460057
Kelerengan Pantai	0,098522	0,095238	0,200	0,071429	0,465189	0,116297
Kekasaran Pantai	0,164204	0,047619	0,100	0,071429	0,383251	0,095813
Landaan	0,246305	0,380952	0,400	0,285714	1,312972	0,328243

Tabel 13. Lamda untuk masing-masing Kriteria

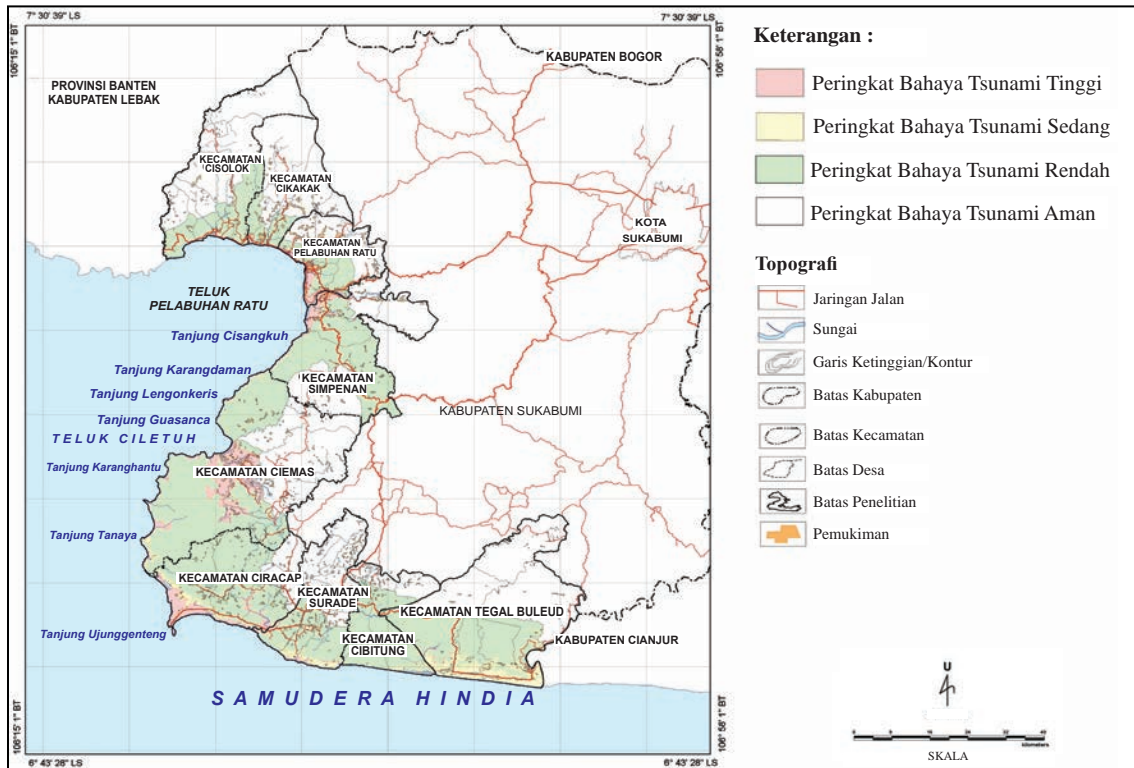
Keterangan	Jumlah Baris	Peringkat Indikator	Lamda
Intensitas Gempa bumi	1,840230	0,460057	0,115014
Kelerengan Pantai	0,465189	0,116297	0,029074
Kekasaran Pantai	0,383251	0,095813	0,023953
Landaan	1,312972	0,328243	0,082061
		Jumlah	0,250103

Tabel 14. Harkat, Bobot, dan Skor Faktor Bahaya Tsunami

No.	Indikator	Skala	Kepekaan terhadap Tsunami	Nilai	Bobot	Skor
1	Landaan	< 2 m	Kerusakan kawasan pantai dan kapal.	1	0,33	0,33
		2 – 6 m	Kerusakan dan korban jiwa di suatu daerah tertentu.	3		0,99
		> 6 – 12,5 m	Kerusakan dan korban jiwa sepanjang pantai.	5		1,65
2	Kelerengan Pantai	Landai	Peka	5	0,12	0,60
		Agak Curam	Agak peka	3		0,36
		Curam	Kurang peka	1		0,12
3	Kekasaran Pantai	Pasir pantai	Peka	5	0,09	0,45
		Batu karang	Kurang peka	3		0,36
		Batuan Beku	Tidak peka	1		0,09
4	Intensitas Gempa bumi (MMI)	< VI	Kecil	1	0,46	0,33
		VI-VII	Sedang	3		0,99
		> VII	Besar	5		1,65

Tabel 15. Tingkat Bahaya Tsunami

No.	Kecamatan	Desa					
		Tinggi	%	Sedang	%	Rendah	%
1.	Cisolok	Karangpapak	3,1	Karangpapak	1,2	Karangpapak	95,7
		Cisolok	3,3	Cisolok	0,7	Cisolok	96,0
		Cikahuripan	1,7	Cikahuripan	0,4	Cikahuripan	97,9
		Pasirbaru	0,2	Pasirbaru	0,6	Pasirbaru	99,1
2.	Cikakak	Cimaja	6,1	Cimaja	6,3	Cimaja	87,6
		Cikakak	4,7	Cikakak	2,8	Cikakak	92,5
		Sukamaju	0,4	Sukamaju	1,2	Sukamaju	98,4
3.	Pelabuhan Ratu	Pelabuhan Ratu	7,5	Pelabuhan Ratu	25,6	Pelabuhan Ratu	66,9
		Citarik	10,3	Citarik	5,2	Citarik	84,5
		Citepus	8,1	Citepus	3,3	Citepus	88,6
4.	Simpenan	Cibuntu	12,2	Cibuntu	3,4	Cibuntu	84,4
		Kertajaya	2,5	Kertajaya	1,3	Kertajaya	96,2
		Loji	8,0	Loji	10,7	Loji	81,3
		Tonjong	-	Tonjong	-	Tonjong	7,4
		Cidadap	7,5	Cidadap	27,8	Cidadap	64,7
5.	Ciemas	Girimukti	1,6	Girimukti	0,4	Girimukti	98,0
		Ciwaru	59,0	Ciwaru	5,4	Ciwaru	35,6
		Cibenda	10,5	Cibenda	5,7	Cibenda	2,6
		Tamajaya	-	Tamajaya	-	Tamajaya	5,8
		Mekarjaya	-	Mekarjaya	-	Mekarjaya	2,2
6.	Ciracap	Gunungbatu	27,4	Gunungbatu	7,6	Gunungbatu	65,0
		Cikangkung	2,7	Cikangkung	2,4	Cikangkung	94,9
		Purwasedar	7,2	Purwasedar	2,3	Purwasedar	90,0
7.	Surade	Cipeundeuy	7,7	Cipeundeuy	8,2	Cipeundeuy	84,1
		Buniwangi	10,4	Buniwangi	7,1	Buniwangi	82,5
		Pasiripis	0,2	Pasiripis	3,6	Pasiripis	96,2
8.	Cibitung	Cibitung	3,5	Cibitung	2,2	Cibitung	94,3
		Cidahu	0,3	Cidahu	1,1	Cidahu	98,6
9.	Tegalbuleud	Sumberjaya	4,7	Sumberjaya	3,5	Sumberjaya	91,8
		Buniasih	30,1	Buniasih	6,4	Buniasih	63,5
		Tegalbuleud	36,3	Tegalbuled	4,7	Tegalbuleud	59,9
		Cilincing	-	Calingcing	7,3	Calingcing	92,7



Gambar 6. Peta peringkat bahaya tsunami di wilayah pesisir Sukabumi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Peringkat faktor bahaya tsunami dapat dibangun dengan suatu sistem pengambilan keputusan yang menggunakan metode *AHP*, dan dapat dikembangkan pada faktor-faktor risiko lainnya.
2. Hasil simulasi untuk faktor bahaya memiliki nilai bobot yang berurutan dari tinggi ke rendah, sebagai berikut: Intensitas Gempa bumi memiliki nilai bobot 0,460, landaan memiliki nilai bobot 0,33, Kelerengan Pantai memiliki nilai bobot 0,116, dan Kekasaran Pantai memiliki nilai bobot 0,096.
3. Berdasarkan nilai bobot setiap indikator faktor bahaya, maka melalui proses tumpang susun (*overlay*) pada SIG, tingkat bahaya tsunami terbagi atas empat tingkatan yaitu zona bahaya tsunami tinggi, sedang, rendah, dan aman.
4. Wilayah pesisir Kabupaten Sukabumi yang memiliki tingkat bahaya tsunami tinggi antara lain wilayah Pelabuhan Ratu, Teluk Ciletuh (Ciemas), dan Wilayah Ujung Genteng. Wilayah Pesisir

Surade, wilayah Pesisir Cibitung, dan wilayah Pesisir Tegalbuleud termasuk tingkat bahaya sedang. Sementara lainnya termasuk tingkat bahaya rendah sampai aman.

Saran

1. Perhitungan secara manual akan lebih mudah jika jumlah indikator yang dimiliki hanya sedikit. Jika jumlah indikator sudah lebih dari sepuluh, maka perhitungan bobot menggunakan *software* akan jauh lebih mudah. Ada beberapa *software* yang bisa dipakai, antara lain *Expert Choice*, *Decision Lens*, *TESS*, *Web-Hippre*.
2. Untuk melakukan perhitungan tingkat risiko yang meliputi faktor bahaya, faktor kerentanan, dan faktor ketahanan menggunakan *AHP*, sebaiknya dilakukan secara holistik karena akan mendapatkan nilai risiko bencana sama dengan 1 atau 100 %. Artinya hirarki yang diperoleh akan terstruktur dengan baik, dan tingkat validasinya cenderung sangat baik.
3. Dari hasil studi literatur dan pengamatan di lapangan terdapat satu fenomena bentang alam

fraktal garis pantai berupa teluk dan tanjung yang perlu dimasukkan sebagai indikator bahaya bencana tsunami, karena memiliki pengaruh kuat terhadap arah dan ketinggian landaan yang masing-masing memiliki karakteristik sangat berbeda dalam merespon gelombang tsunami.

Ucapan Terimakasih—Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Suhari, M.Sc. yang selalu memberikan inspirasi untuk berkarya melalui karya tulis ilmiah, dan memberikan kritikan untuk meningkatkan kemampuan penulis.

REFERENCES

- Bonham-Carter, G.F., 2002. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Computer Methods in The Geosciences, Related Pergamon/Elsevier Science Publications, h. 1–22.
- Blackburn, E., Wilson, L., dan Sparks, R. S. J., 1976. Mechanisms and dynamics of strombolian activity. *Journal of Geological Society of London*, 132, h. 429-440.
- Davis, I., Haghebaert, B., dan Peppiatt, 2004. *Social Vulnerability, Sustainable & Capacity Analysis*. Workshop. Geneva, 25-26 Mei 2004. Geneva: Pro Vention Consortium, h. 1-9.
- Imamura, F., Subandono, D., Watson, G., Moore, A., Takahashi, T., Massutomi, H., dan Hidayat, R. 1997. *Irian Jaya Earthquake and Tsunami Cause Serious Damage*. Eos Transactions, *American Geophysical Union*, 78, h. 197-201.
- Kertapati, E., 2006. *Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia Perspektif Regional Pada Karakteristik Gempa Bumi Merusak*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Kusnida, D., 2004. *Geologi Kelautan Wilayah Pesisir Selatan Jawa Barat*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Balitbang ESDM, DESDM, Bandung.
- Saaty, T.L., 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh, PA, h. 161-176.
- Shuto, N., 1993. *Tsunami intensity and disasters*. Dalam: Tinti, S. dan Dordrecht, S (eds.) *Tsunamis in the World*. Kluwer Academic Publishers, h. 197-216.
- Subandono, D. dan Budiman. 2006. *Tsunami*. Sarana Komunikasi Utama, Bogor.
- Sudradjat, A., 1997. *Zona Rawan Bencana Tsunami dalam Ilustrasi Geologi*. PT. Grafimatra Tatamedia, Jakarta, h. 140-167.
- Soehaimi, 2008. Seismotektonik dan Potensi kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4), h. 227-240
- USDA-NRCS, 1986. Urban Hydrology for small watersheds. Tech Release TR-55. Washington, DC: *Natural Resource Conservation*.
- Yudichara, 2006. *Pemodelan Run Up Tsunami di wilayah Pesisir Sukabumi*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.