

Penentuan Resiko Dan Kerentanan Tsunami Di Kebumen Dengan Citra Alos

Faiz Islam, Sawitri Subiyanto, L.M. Sabri ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof Soedarto, SH, Telp. (024) 76480785, 76480788 Tembalang Semarang

Abstrack

Indonesia is the country that has the potential for major natural disasters due to a ring of fire around . One of the risk is tsunami . Kebumen is a district in Central Java has the potential to be exposed to the risk of a tsunami . Kebumen geographically located at $7^{\circ} 27' - 7^{\circ} 50'$ south latitude and $109^{\circ} 22' - 109^{\circ} 50'$ which has 35 km along the southern coast . Prevention needs to be a systematic way of determining the risks and vulnerabilities to prevent the disaster victims .

The method used in this study is the determination of risk is the Run - Up Regulation of the Minister of Public Works No.06/PRT/M/2009 . In addition to satellite imagery used is the image of ALOS (Advanced Land Observing Satellite) is from Japan . Vulnerability parameters to be obtained in the form Slope , population density , distance from the coast .

Vulnerability of the parameters obtained will be weighted by Pairwise Comparison method . After that it will be overlay by risk . Then formed Vulnerability and Risk maps Kebumen tsunami . Then formed Vulnerability and Risk Tsunami in Kebumen . From result that area in kebumen have impact with tsunami for elevation run-up 0-16 m is 44,16%, then area save from tsunami is 56,484%. Mirit, Ambal, Buluspesantren, Kuwarasan and Ayah is districk with more risk than any other area.

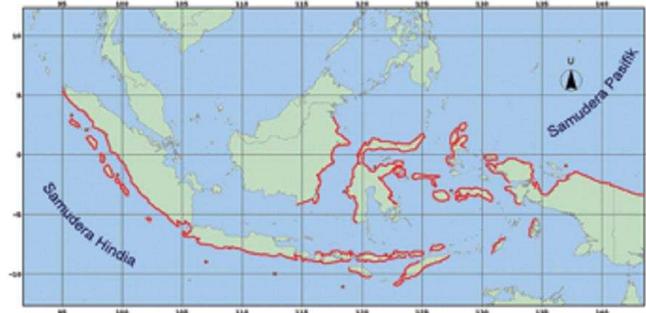
Keywords : Kebumen, , Run-Up, Tsunami, Vulnerability, risks

I.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan secara geologis rentan terhadap bencana alam pesisir. Tsunami adalah salah satu bencana alam yang senantiasa mengancam penduduk pesisir. Walaupun jarang terjadi, namun daya hancurnya yang besar membuatnya harus diperhitungkan. Menurut Arnold (1986) in Diposaptono dan Budiman (2005), Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan tinggi di dunia. Dibandingkan dengan gempa di Amerika Serikat maka Indonesia memiliki frekuensi gempa 10 kali lipatnya. Gempa-gempa tersebut sebagian besar berpusat di dasar Samudra Hindia dan beberapa di antaranya mengakibatkan gelombang laut besar (tsunami) Pulau Jawa,

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Salah satu bencana tsunami yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2006 di Pantai Pangandaran melanda wilayah pesisir Kebumen menyebabkan kerugian baik secara material maupun non material yang besar.



Gambar 1. Wilayah Indonesia yang Berpotensi Tsunami (BMG 2009)

Penelitian mengenai daerah rawan tsunami yang berbasis penginderaan jauh saat ini sudah banyak dilakukan. Namun penelitian mengenai daerah rawan tsunami dengan menggunakan integrasi pemodelan dan data penginderaan jauh, saat ini sedang dikembangkan secara aktif oleh para peneliti, lembaga penelitian, dan perguruan tinggi di dunia. Salah satu citra satelit yang mendukung adalah *Advanced Land Observing Satellite* atau disebut ALOS. Satelit pemantau lingkungan yang bisa dimanfaatkan untuk kepentingan pemantauan bencana alam dan memiliki resolusi spasial yang menengah.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang muncul dalam penelitian Skripsi ini adalah bagaimana menentukan area tingkat resiko dan kerawanan bencana alam tsunami di kawasan pesisir Kebumen.

I.3. Ruang Lingkup Penelitian

Model matematika yang digunakan dalam rektifikasi citra adalah polinomial derajat satu (affine). Klasifikasi penggunaan lahan yang dilakukan pada daerah penelitian menggunakan metode *supervised*. Metode yang digunakan dalam pembuatan kelerengan permukaan (*slope*) daerah penelitian menggunakan aplikasi ekstensi 3D *analyst* pada *software* ArcGIS. Pemodelan genangan tsunami di daratan disimulasikan dengan menggunakan fungsi *cost distance* pada *software* ArcGIS dan tanpa menggunakan faktor waktu. Skenario variasi ketinggian *run-up* yang menjadi tolak ukur berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009. Tingkat resiko yang dimaksud adalah tingkat bahaya tsunami (tingkat kelas genangan tsunami)

terhadap tingkat keselamatan jiwa (kelas kerentanan kepadatan penduduk, jarak dari pantai, dan kemiringan permukaan). Studi kasus penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Kebumen.

I.4 Tujuan

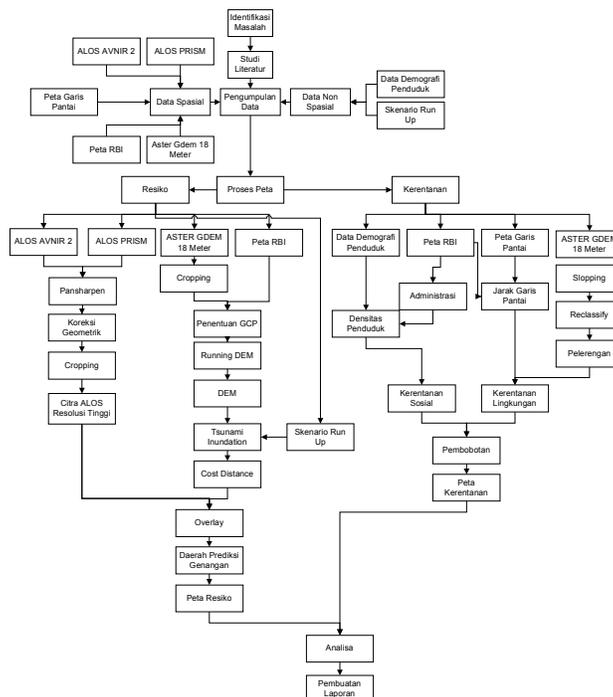
1. Menganalisa resiko dari tsunami yang menjalar ke Kebumen
2. Menganalisa kerentanan yang ada di Kebumen berkaitan dengan tsunami

I.5 Manfaat

Memahami prinsip kerja dari pembuatan model genangan (inundasi) tsunami berdasarkan skenario variasi ketinggian run-up di garis pantai dengan menggunakan software ArcGIS 9.3. Mengetahui tingkat resiko bencana tsunami terhadap keselamatan jiwa didaerah penelitian. Sebagai bagian dalam membantu kebijakan pemerintah dalam meminimalisir korban jiwa di daerah penelitian.

I.6 Metodologi Penelitian

Secara umum metodologi penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 1.2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

II. STUDI PUSTAKA

II.1 Intensitas dan Magnitudo Tsunami Untuk Penentuan Resiko

Dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009, ada banyak Skala intensitas yang sering digunakan adalah skala intensitas *Imamura, Abe* dan *Sokoliev* (1993). Namun yang dipakai untuk acuan adalah *Sokoliev*.

Sokoliev (1978) membagi intensitas tsunami dalam 6 skala yang ditandai oleh tinggi gelombang rayapan (*run-up*), dan deskripsi secara lengkap disajikan dalam Tabel 2.3 yang diperoleh dengan pengukuran tinggi rayapan di lapangan pada daerah yang terkena bencana tsunami.

Tabel 1. Klasifikasi *Sokoliev* (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009)

Intensitas	Tinggi Run-up	Deskripsi Tsunami	Frekuensi Kejadian di Laut Pasifik
I	0,5 m	Amat kecil. Gelombang sangat lemah dan hanya terdeteksi pada catatan pasang-surut.	1 kali tiap 4 bulan
II	1 m	Kecil. Gelombang terlihat oleh orang yang tinggal di sekitar pantai dan mengenal keadaan laut. Pada pantai yang datar gelombang tersebut mudah terlihat.	1 kali tiap 4 bulan
III	2 m	Agak besar. Umumnya terlihat. Pada pantai yang landai terjadi banjir. Perahu kecil terdorong ke Pantai. Kerusakan ringan dialami oleh bangunan dekat pantai. Pada daerah muara arus sungai berbalik hingga beberapa jauh kearah daratan.	1 kali tiap 8 bulan
IV	4 m	Besar. Terjadi banjir di daerah pantai. Pengrusakan ringan pada tanah. Tanggul rusak. Bangunan ringan dekat pantai rusak, atau terowong ke laut, rumah terkuuni oleh debris yang mengapung.	1 kali per tahun
V	8 m	Amat besar. Seluruh pantai tergenang. Dermaga dan struktur berat dekat laut rusak. Bangunan ringan ancur. Pengrusakan dasyat pada tanaman di darat. Pantai dikotori oleh pengrusakan berat, manusia tenggelam dan gelombang disertai suara gemuruh.	1 kali per 3 tahun
VI	16 m	Menghancurkan. Semua struktur bangunan mengalami kerusakan total atau sebagian untuk jarak beberapa jauh dari daratan. Banjir di pantai cukup dalam. Kapal-kapal besar mengalami kerusakan. Pohon-pohon tercabut atau hancur oleh gelombang. Jumlah kematian pada penduduk pantai luar biasa banyak.	1 kali per 10 tahun

II.3 Pembobotan *Pairwise Comparison Methode* untuk Penentuan Kerentanan

Tujuan dari pembobotan kriteria adalah untuk menyatakan tingkat kepentingan berdasarkan penilaian yang diberikan oleh pemberi keputusan. Pemberian bobot kepentingan untuk menghitung kriteria bergantung kepada:

Metode ini dikembangkan oleh Saaty (1980) dalam konteks pengerjaan *analytical hierarchy process (AHP)*. Metode ini melibatkan perbandingan *pairwise* untuk menciptakan suatu matriks rasio (Malczewski, 1999). Berikut prinsip dasarnya menggunakan dekomposisi, perbandingan komparatif, sintesis prioritas, logika konsistensi.

Indikator terhadap konsistensi diukur melalui *Consistency Index (CI)*.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1} \dots\dots\dots (2.13)$$

AHP mengukur seluruh konsistensi penilaian dengan menggunakan *Consistency Ratio (CR)* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$CR = CI \dots\dots\dots (2.14)$$

keterangan : CR = *Consistency Ratio*

CI = *Consistency Index*

RI = *Random Consistency Index*

Bila harga CR lebih kecil atau sama dengan 10 % (0,10) maka nilai tersebut akan menunjukan tingkat konsistensi yang lebih baik dan dapat dipertanggung jawabkan, atau dapat dikatakan *eigen value* maksimum atau α maks diperoleh dari hasil pembobotan yang konsisten. Tetapi jika CR lebih besar dari 10 % (0,10) maka penilaian yang telah dibuat secara random perlu direvisi. Berikut ini akan diperlihatkan angka *Random Consistency Index* (RI) pada .

Tabel 2. Indeks Konsistensi Acak (Saaty, 1989)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Selanjutnya mencari Kerentanan (*Vulnerability*) dapat artikan sebagai suatu kondisi yang menentukan bilamana bahaya alam (*Natural hazard*) yang terjadi dapat menimbulkan bencana alam (*Natural Disaster*). Komponen kerentanan wilayah dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu kelompok kerentanan fisis, sosial demografi, ekonomi dan lingkungan.

Salah satu metode perumusan kerentanan dapat menggunakan metode *Simple Additive Weight* dengan formulasi sebagai berikut :

$$V = a(A) + b(B) + c(C) + d(D) + \dots (2.15)$$

keterangan:

V = Tingkat kerentanan (Diambil dari *Pairwise Comparison*)

a,b,c,d = Bobot masing-masing kriteria

A,B,C,D = Kriteria kerentanan

III. PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1 Data Penelitian

1. Citra ALOS AVNIR-2 daerah Kebumen tahun 2010
2. Citra ALOS PRISM daerah Kebumen tahun 2010
3. ASTER GDEM 18 M m daerah Kabupaten Kebumen tahun 2013.
4. Peta RBI Kebumen

III.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perangkat lunak sebagai berikut.

1. *ER Mapper v7.1*
2. *ArcGIS v9.3*
3. *Global Mapper v11.0*
4. *Microsoft Word 2010*
5. *Microsoft Exel 2010*

III.3 Menentukan Kerentanan

III.3.1 Menentukan Kepadatan Penduduk

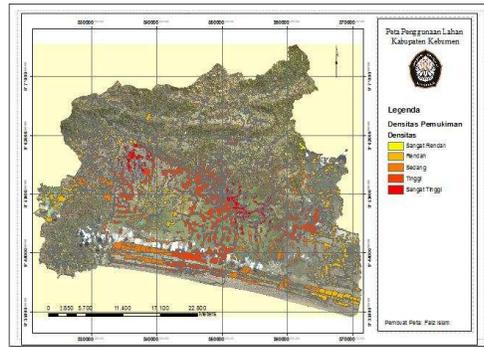
Untuk pengklasifikasian komponen kerentanan kepadatan penduduk kelompok masyarakat rentan dilakukan dengan penjumlahan total penduduk yang terdiri dari anak-anak, lansia (lanjut usia), wanita dewasa, dan laki-laki dewasa per luas area masing-masing wilayah.

Hasil nilai dari kerentanan komponen kepadatan penduduk kelompok masyarakat rentan diberikan nilai indeks dengan pembagian 5 klas. Pembagian klas tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Densitas Penduduk Kebumen (Hasil Penelitian)

No	Densitas (orang/km ²)	Kerentanan terhadap Tsunami	Kelas
1	0-643	Sangat Rendah	1
2	644 - 1286	Rendah	2
3	1287 - 1930	Sedang	3
4	1931 – 2573	Tinggi	4
5	2574 – 3216	Sangat Tinggi	5

Berdasarkan tabel di atas semakin tinggi nilai kepadatan penduduk kelompok masyarakat rentan semakin tinggi juga peluang untuk kehilangan jiwa (korban jiwa) dalam suatu wilayah tersebut, begitu juga sebaliknya. Selanjutnya dimasukkan datanya berdasarkan area pemukiman dari RBI.



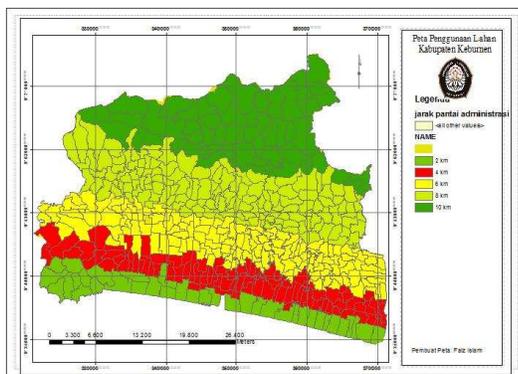
Gambar 3.. Peta Densitas Penduduk Kebumen

III.3.2 Jarak dari Garis Pantai

Tabel 4. Densitas Penduduk Kebumen (Hasil Penelitian)

No	Jarak Dari Garis Pantai	Kerentanan Terhadap Tsunami	Kelas Kerentanan
1	0-2 km	Sangat Tinggi	5
2	2-4 km	Tinggi	4
3	4-6 km	Sedang	3
4	6-8 km	Rendah	2
5	8-10 km	Sangat Rendah	1

Akhir-akhir ini masyarakat yang tinggal atau membangun bangunan fisik mendekati ke arah pantai semakin pesat, karena lokasi ini memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi, misalnya lokasi kawasan wisata. Disisi lain wilayah ini memiliki tingkat kerentanan yang tinggi, terutama untuk ancaman bencana tsunami, terutama untuk kawasan di dekat area pantai. Klasifikasi kerentanan sempadan pantai dapat dilihat pada Tabel 4 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.



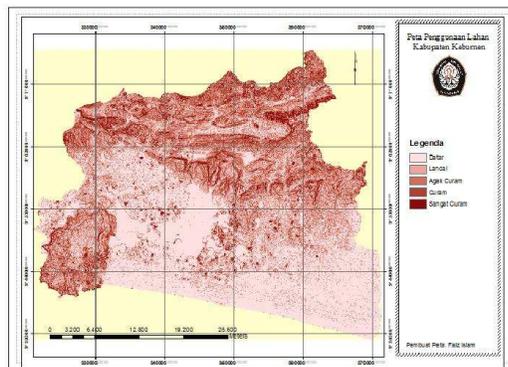
Gambar 4. Peta Jarak dari Pantai Kebumen

III.3.3 Peta Kemiringan Lahan (*Slope*) Daerah Penelitian

Tabel 5. Tabel Persentase *Slope* (hasil Penelitian)

Kelas	Besaran	Kelas	Luas (ha)	Persen
5	0-3 %	Datar	20488,85309	14,33223865
4	3-8 %	Landai	54566,73044	38,17018941
3	8-15 %	Agak Curam	38581,24077	26,98811631
3	15-40 %	Curam	22790,51611	15,94228405
1	>40 %	sangat Curam	6529,06429	4,567171582
Total			142956,4047	100

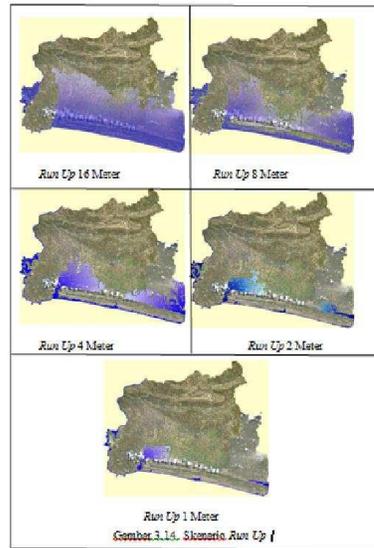
Kemiringan lahan ini menggambarkan kondisi topografi daerah yang dikaji, apakah daerah tersebut landai atau curam. Berdasarkan tabel terlihat bahwa sebagian besar kemiringan lahan (*slope*) pada daerah penelitian sangat landai yaitu Datar (0% – 3%) dengan persentase 14,33% dan landai (3% – 8%) dengan persentase terbesar 38,17%. Sedangkan sisanya adalah agak curam, agak curam, dan sangat curam.



Gambar 5.. Peta Kemiringan Lahan

III.4. Pemodelan Daerah Genangan (Inundasi) Tsunami Untuk Resiko

Estimasi pemodelan daerah genangan tsunami di dataran disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS yaitu fungsi *cost distance*. Fungsi tersebut menggunakan harga permukaan dan mengkalkulasi koridor optimum di permukaan (ESRI, 2002).



Gambar 6 Inundasi tsunami daerah kebumen

Dari persentase luas wilayah yang terkena genangan tsunami untuk ketinggian *run-up* 16 m di area penelitian adalah sebesar 44,16%, sehingga area yang aman dari genangan tsunami adalah sebesar 56,484%.

Tabel 7. Luas Ketinggian *Run-up* (Hasil Penelitian)

No	Run Up	Luas (Ha)	Persentase Luas Keseluruhan
1	1m	5907	4,43
2	2m	9460	7,09
3	4m	16716	12,54
4	8m	35478	26,61
5	16m	58874	44,16

IV PEMBAHASAN

IV.1 Pembobotan Kriteria Kerentanan dan *Overlay* Resiko

Tahapan pertama adalah membangun matrik perbandingan antar suku kriteria dari elemen kerentanan (matrik perbandingan pairwise), hal ini dimaksudkan untuk menentukan tingkat kepentingan antar suku kriteria elemen kerentanan tersebut dengan memberikan penilaian berdasarkan indeks penilaian yang telah disusun oleh *Saaty* seperti terlihat pada Tabel 3 pada bagian sebelumnya.

Tabel 8. Matrik *Pairwise* Elemen Ancaman Kerentanan Keselamatan Jiwa (Hasil Penelitian)

	Kepadatan Penduduk Kel. Masyarakat Rentan	Kemiringan Permukaan	Sempadan Pantai
Kepadatan Penduduk Kel. Masyarakat Rentan	1,000	0,500	0,333
Kemiringan Permukaan	2,000	1,000	0,500
Sempadan Pantai	3,000	2,000	1,000

Tahap selanjutnya adalah melakukan normalisasi dari matrik *pairwise* tadi dengan membagi masing-masing nilai dengan jumlah total dari masing-masing kolom. Matrik normalisasi *pairwise* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9. Matrik Normalisasi dan Bobot Kriteria Ancaman Kerentanan (Hasil Penelitian)

Normalisasi	Kepadatan Penduduk Kel. Masyarakat Rentan	Kemiringan Permukaan	Sempadan Pantai	Bobot Kriteria
Kepadatan Penduduk Kel. Masyarakat Rentan	0,167	0,143	0,182	0,164
Kemiringan Permukaan	0,333	0,286	0,273	0,297
Sempadan Pantai	0,500	0,571	0,545	0,539

Setelah mendapatkan nilai bobot untuk masing-masing kriteria elemen kerentanan, selanjutnya adalah menilai konsistensi dari penilaian yang dilakukan ada penyusunan matrik *pairwise*. Untuk mendapatkan nilai tersebut, sebelumnya harus menghitung nilai lamda (λ) yaitu dengan merata-ratakan nilai faktor konsistensi dari matrik *pairwise*. Adapun penilaian faktor konsistensi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 10. Tahap Perhitungan Faktor Konsistensi (Hasil Penelitian)

Kriteria	Tahap 1	Tahap 2
Kepadatan Penduduk Kel. Masyarakat Rentan	$(0,164 \times 1) + (0,297 \times 0,5) + (0,539 \times 0,333) = 0,492$	$0,492 / 0,164 = 3,004$
Kemiringan Permukaan	$(0,164 \times 2) + (0,297 \times 1) + (0,539 \times 0,5) = 0,894$	$0,894 / 0,297 = 3,015$
Sempadan Pantai	$(0,164 \times 3) + (0,297 \times 2) + (0,539 \times 1) = 1,625$	$1,625 / 0,539 = 3,008$

Dari nilai yang diperoleh hasil perhitungan pada Tabel 10 kemudian dihitung nilai λ dengan merata-ratakan nilai pada faktor konsistensi diatas, diperoleh nilai $\lambda = 3,009$. Selanjutnya dihitung nilai indeks konsistensi (*consistency index*) seperti berikut ini:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{3,009 - 3}{3 - 1} = 0,005$$

Setelah mendapatkan nilai dari indeks konsistensi, kemudian dihitung nilai dari rasio konsistensi (*Consistency Ratio*), yaitu dengan membandingkan nilai konsistensi indeks dengan

indeks acak (*Random Index / RI*) seperti tertulis pada Tabel 3 dimana nilai indeks acak dengan jumlah kriteria sebanyak 3 adalah 0,58, maka nilai rasio konsistensi (*CR*) adalah:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,005}{0,58} = 0,008$$

Pada perhitungan diatas diperoleh nilai $CR = 0,008$ dimana nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan 0,10, oleh karena itu bisa ditarik kesimpulan bahwa penilaian yang dilakukan pada matrik *pairwise* sudah konsisten dan dapat dipergunakan untuk kepentingan pengolahan data selanjutnya. Adapun bobot kriteria kelompok masyarakat rentan, perhitungan matrik *pairwise* dan bobot untuk masing-masing kriteria dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 11. Bobot Kriteria Komponen Kelompok Masyarakat Rentan (Hasil Penelitian)

	Anak-anak	Lansia	wanita Dewasa	Laki-laki Dewasa	Bobot Relatif
Anak-anak	1,000	2,000	3,000	5,000	0,456
Lansia	0,500	1,000	3,000	5,000	0,324
wanita Dewasa	0,333	0,333	1,000	3,000	0,152
Laki-laki Dewasa	0,200	0,200	0,333	1,000	0,068
				λ	4,104
				CI	0,035
				CR	0,039

Berdasarkan hasil pengolahan data untuk masing-masing komponen kerentanan di atas, selanjutnya dilakukan penilaian tingkat kerentanan komponen kepadatan penduduk kelompok masyarakat rentan, kemiringan permukaan, dan sempadan pantai terhadap tsunami di daerah penelitian. Parameter pembobotan kerentanan masing-masing komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.

Rumus tingkat kerentanan dari masing-masing komponen dilakukan dengan menggunakan metode *simple additive weight* seperti yang tertulis pada persamaan 2.15.

Tabel 12. Penilaian Komponen Ancaman Kerentanan (Hasil Penelitian)

No	Komponen Kerentanan	Nilai pada Komponen Kerentanan				
		= 1	= 2	= 3	= 4	= 5
1	MR	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
2	SP	5000-7500 m	1500-5000m	1000-1500m	500-1000m	0-500m
3	KP	>40%	15-40%	8-15%	3-8%	0-3%

$$V = 0,164(MR) + 0,297(KP) + 0,539(SP)$$

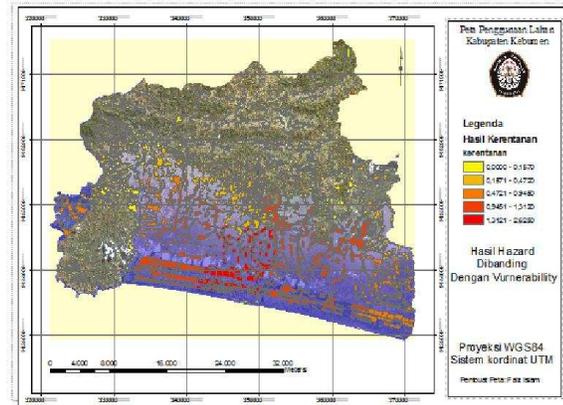
- keterangan : V = tingkat kerentanan;
 MR = klas kepadatan penduduk kelompok masyarakat rentan;
 SP = klas kelompok sempadan pantai;
 KP = klas kemiringan permukaan;

Berikut ini klas dan hasil nilai total ancaman kerentanan (*vulnerability*) keselamatan jiwa dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Kelas Ancaman Kerentanan Keselamatan Jiwa (Hasil Penelitian)

No	Indeks Kerentanan	Derajat Kerentanan
1	0,000-0,1570	Sangat Rendah
2	0,157-0,472	Rendah
3	0,472-0,945	Sedang
4	0,945-1,312	Tinggi
5	1,312-2,625	Sangat Tinggi

Selesai mendapat hasil dari kerentanan. Selanjutnya adalah di *overlay* dengan peta resiko hingga menghasilkan gambar 7.



Gambar 7. Gambar Hasil Resiko dan Kerentanan

V.PENUTUP

V.1 Kesimpulan

1. Pemodelan estimasi genangan tsunami berdasarkan variasi ketinggian run-up pada garis pantai dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi cost distance pada software ArcGIS. Pemodelan daerah genangan tsunami menggunakan parameter koefisien kekasaran permukaan, kemiringan (slope) permukaan, variasi ketinggian gelombang tsunami dan vektor garis pantai.
2. Berdasarkan hasil analisis estimasi resiko tsunami terhadap tingkat keselamatan jiwa dalam bentuk informasi spasial, terlihat bahwa pemukiman kecamatan dengan resiko sangat tinggi adalah pemukiman Kecamatan dengan akumulasi ancaman kerentanan pemukiman yang sangat tinggi dan berada pada ancaman bahaya yang sangat tinggi. yaitu terdapat pada

Kecamatan Mirit, Ambal, Buluspesantren, klirong, Petanahan, Puring. Sedangkan yang terendah Sadang, Karanganyar, dan Sempor.

V.2. Saran

Dari hasil penelitian ini maka dapat disarankan beberapa hal antara lain :

1. Parameter kecepatan gelombang tsunami pada saat di garis pantai sebaiknya dimasukkan ke dalam model genangan tsunami agar hasil permodelan dapat lebih mendekati dengan kenyataan.
2. Untuk kajian resiko tsunami yang lebih detil sebaiknya digunakan citra penginderaan jauh yang memiliki resolusi spasial lebih besar.
3. Melakukan pemetaan kontur yang lebih detil untuk mendapatkan kemiringan permukaan yang lebih baik.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Budi Santoso, Toto. 2010. *pembuatan peta estimasi resiko dan rancangan jalur evakuasi tsunami di kawasan pesisir yogyakarta dengan menggunakan sistem informasi geografis*. Semarang : Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- ESDM. 2012. *Buku Pedoman Analisa Resiko Bahaya Alam: Studi Kasus Jawa Tengah*. Jakarta : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Irjan, dkk. 2010. *Pemodelan Tsunami Sebagai Bahan Mitigasi Bencana Studi Sumenep dan Kepulauannya*. Malang : Program Studi Fisika UIN Maulana.
- Julzarika, Atriyon. 2010. *Peranan Citra Satelit ALOS untuk Berbagai Aplikasi Teknik Geodesi dan Geomatika Indonesia*. Jakarta : Lembaga Antariksa dan Penerbangan.
- Maemunah, Imun. 2011. *Identifikasi Potensi Kerawanan Tsunami di Wilayah Kaabupaten Jember, Jawa Timur*. Jakarta : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Nuraini Sukarsih, Fitria. 2008. *Kajian Bahaya Tsunami pada Variasi Ketinggian Run-Up dan Arah Tsunami*. Yogyakarta : Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.

- Sengaji, Ernawati. 2009. Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Supiyanto, Agus. 2008. Kajian Daerah Rawan Bencana Tsunami Berdasarkan Citra Satelit ALOS di Cilacap, Jawa Tengah. Bogor : Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor .
- Triadimaja, Radiana. 2010. Tsunami: Kejadian, Penjalaran, Daya Rusak, dan Mitigasi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Undang-undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana
- Undang-undang Republik Indonesia No. 4 Tahun 2011 Tentang Geospasial
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009 Tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Tsunami.