

**ANALISIS BAHAYA TSUNAMI DAN PENENTUAN JALUR
EVAKUASI MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI
WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS: KECAMATAN PACITAN
KABUPATEN PACITAN)**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Geografi Fakultas Geografi**

Oleh:

MUHAMMAD BADRUL HUDA

E100180257

**PROGRAM STUDI GEOGRAFI
FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS BAHAYA TSUNAMI DAN PENENTUAN JALUR EVAKUASI
MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI WILAYAH
PESISIR (STUDI KASUS: KECAMATAN PACITAN KABUPATEN
PACITAN)**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

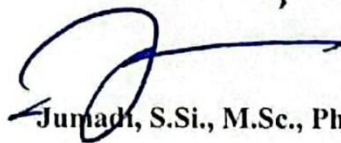
Muhammad Badrul Huda

E100180257

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen

Pembimbing



Jumadi, S.Si., M.Sc., Ph.D.

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS BAHAYA TSUNAMI DAN PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS: KECAMATAN PACITAN KABUPATEN PACITAN)

Oleh:

MUHAMMAD BADRUL HUDA

E100180257

Telah di pertahankan di depan Dewan Penguji Fakultas
Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari sabtu, 11 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Jumadi, S.Si., M.Sc, Ph.D
(Ketuda Dewan Penguji)
2. Danardono , S.Si., M.Sc.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Drs. Munawar Cholil, M.Si
(Anggota II Dewan Penguji)



Mengetahui,
Dekan Fakultas Geografi



Jumadi, S.Si., M.Sc, Ph.D
NIDN. 0626088003

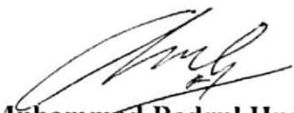
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 11 Februari 2023

Penulis



Muhammad Badrul Huda

E100180257

**ANALISIS BAHAYA TSUNAMI DAN PENENTUAN JALUR EVAKUASI MENGGUNAKAN
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS:
KECAMATAN PACITAN KABUPATEN PACITAN)**

Abstrak

Wilayah Jawa bagian selatan merupakan daerah yang rawan tsunami. Kecamatan Pacitan adalah wilayah pesisir di selatan Jawa yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Letaknya yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia menjadi salah satu wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis persebaran spasial bahaya tsunami di Pesisir Kecamatan Pacitan skenario gempa 8.0 Mw, dan Memodelkan jalur evakuasi yang optimal untuk penanganan bencana tsunami di Kecamatan Pacitan. Pemodelan gelombang tsunami menggunakan software Delft3D-Flow yang didasarkan pada persamaan air dangkal (*Shallow Water Equations*) dan perhitungan Hloss untuk mengetahui luas genangan. Untuk mengetahui jalur optimal evakuasi tsunami dapat menggunakan SIG dengan metode Least-Cost Path. Hasil penelitian didapatkan tinggi gelombang tsunami di garis pantai setinggi 5 meter. Luas total 571,79 hektar area yang terkena dampak tsunami. Luas genangan tiap daerah yang terdampak adalah 239,70 ha di Kelurahan Sidoharjo, 190,87 hektar di Kelurahan Ploso, dan 141,22 hektar di Desa Kembang. Penentuan jalur evakuasi didapatkan 5 jalur evakuasi. Waktu tempuh proses evakuasi dengan berjalan kaki membutuhkan waktu lebih dari 30 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor kurang dari 10 menit.

Kata kunci: Pacitan, Tsunami, Jalur Evakuasi, Delft3D, Least Cost Path.

Abstract

The south of Java is a vulnerable to tsunami disaster. Pacitan District is a coastal area in the south of Java which is directly adjacent to the Indian Ocean. Its location which is directly adjacent to the Indian Ocean is one of the areas that is prone to tsunami disasters. The purpose of this study were to analyze the spatial distribution of the tsunami hazard in the Pacitan District Coastal area under the 8.0 Mw earthquake scenario, and to model the optimal evacuation route for handling the tsunami disaster in Pacitan District. Tsunami wave modeling uses Delft3D-Flow software which is based on the Shallow Water Equations and Hloss calculations to determine the inundation area. To find out the optimal path for tsunami evacuation, using GIS with the Least-Cost Path method. The results showed that the tsunami wave height on the coastline was 5 meters high. Total area of 571.79 hectares of tsunami affected area. The area of inundation for each affected area is 239.70 ha in Sidoharjo Sub-District, 190.87 ha in Ploso Sub-District, and 141.22 ha in Kembang Village. Determination of evacuation routes obtained 5 evacuation routes. The travel time for the evacuation process with walking takes more than 30 minutes, whereas using a motorized vehicle is less than 10 minutes.

Keywords: Pacitan, Tsunami, Evacuation Route, Delft3D, Least Cost Path.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir menjadi wilayah yang paling terancam terhadap bencana tsunami. Tsunami merupakan bencana yang dapat merusak infrastruktur dan mengakibatkan korban jiwa. Tsunami terjadi karena adanya gangguan yang ada di laut. Gangguan tersebut disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik, gunung berapi meletus di dasar laut, dan juga tanah longsor di dasar laut. Namun, pada umumnya tsunami disebabkan oleh gempa bumi di dasar laut. Lempeng samudera yang menunjam ke bawah lempeng benua, akan mengakibatkan gesekan dan mengalami perlambatan gerak yang dapat menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi (Pratama dkk., 2013). Apabila gesekan antar lempeng tersebut mengalami situasi dimana bidang temu antar lempeng terkunci, maka terjadi akumulasi energi tekanan atau tarikan. Pada saat melewati batas elastisitas lempeng, mengakibatkan terlepasnya energi sehingga menimbulkan getaran yang disebut gempa bumi (Andriyani dkk., 2012).

Subduksi Jawa adalah zona konvergensi yang tegak lurus palung antara Lempeng Australia dan Asia Tenggara di selatan Jawa. Hal ini ditandai dengan palung berarah hampir barat–timur dengan peningkatan kecepatan konvergensi ke arah timur (Patria, 2020). Intensitas kegempaan yang terjadi di jalur subduksi Selatan Jawa memiliki seismisitas yang tinggi. Gempa megathrust adalah sebuah gempabumi di dasar laut yang terjadi pada kedalaman dangkal. Di Selatan Jawa diperkirakan terdapat seismic gap, yang berarti kemungkinan di masa depan berpotensi akan terjadi gempa besar yang dapat menyebabkan getaran kuat dan tsunami besar di wilayah pesisir (Widiyantoro, 2020). Berdasarkan sejarah kejadian tsunami, wilayah pesisir selatan pulau Jawa pernah terjadi tsunami pada tahun 1994 di Banyuwangi (Mw 7.2) dan 2006 di Pangandaran (Mw 7.7) yang menyebabkan korban jiwa hampir seribu orang. Dalam penelitian ini besarnya ancaman tsunami menggunakan skenario diperkirakan gempabumi maksimum berkekuatan Mw 8.0.

Kecamatan Pacitan merupakan wilayah pesisir di Selatan Jawa. Letaknya yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia menjadi salah satu wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami. Jika tsunami melanda Kecamatan Pacitan, dapat mengakibatkan kerusakan dan kerugian yang besar karena Kecamatan Pacitan merupakan ibukota dari Kabupaten Pacitan, sehingga menjadi pusat kegiatan pemerintahan dan juga menjadi pusat aktivitas ekonomi. Dampak dari bencana tsunami sangat merugikan bagi masyarakat, baik dari aspek material, sosial, maupun ekonomi. Gelombang tsunami yang mencapai daratan dapat merusak bangunan, jaringan listrik, jaringan komunikasi, pencemaran air asin terhadap lahan pertanian, perkebunan, dan dapat menyebabkan korban jiwa.

Sebagai upaya dalam mengurangi kerugian akibat tsunami maka perlu dilakukan mitigasi bencana dengan membuat pemodelan tsunami dan jalur evakuasi. Mitigasi merupakan upaya sebelum terjadinya suatu bencana untuk mengurangi kerugian harta benda atau korban jiwa (Suwarno, 2007). Pemodelan gelombang tsunami menggunakan software Delft3D-Flow yang didasarkan pada persamaan air dangkal (*Shallow Water Equations*). Pemodelan numerik gelombang tsunami tersebut digunakan untuk menghitung tinggi run-up kemudian dilakukan perhitungan H_{loss} untuk mengetahui luas genangan. Kemiringan Lereng dan penggunaan lahan mempengaruhi rambatan gelombang tsunami dan genangan yang mencapai daratan (Lestari, 2021). Untuk mengetahui jalur optimal evakuasi tsunami dapat menggunakan SIG dengan metode *Least-Cost Path*. Analisis *Least-Cost Path* untuk pencarian jalur optimal berdasarkan data raster dengan memilih nilai akumulasi piksel paling rendah dari parameter kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan parameter jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis persebaran spasial bahaya tsunami di Pesisir Kecamatan Pacitan skenario gempa 8.0 Mw, dan Memodelkan jalur evakuasi yang optimal untuk penanganan bencana tsunami di Kecamatan Pacitan.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei. Metode survei dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk mengumpulkan data-data parameter jaringan jalan. Teknik analisis dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif untuk pemodelan tsunami berdasarkan pemodelan numerik dan analisis least-cost path pada software ArcGIS untuk menemukan jalur evakuasi tsunami yang optimal.

Metode pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Random Sampling. Subjek yang digunakan oleh peneliti sebagai sampel yaitu jalan yang berpotensi menjadi jalur evakuasi di wilayah pesisir. Sampel yang akan diambil adalah parameter jalan, yang mana dimaksudkan untuk mengetahui data lebar jalan, kondisi jalan, arah jalan, dan bahan jalan.

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa tahapan-tahapan yang dijelaskan pada dibawah ini:

a. Pemodelan Tsunami

1. Digitasi Garis Pantai

Land boundary merupakan batas yang memisahkan laut dan daratan. Daerah yang didigitasi sepanjang 593 km sejajar garis pantai dengan menggunakan Arcgis. Output yang telah didigitasi dari Arcgis yang berformat *.shp dirubah

menjadi dalam bentuk koordinat X dan Y dengan format *.ldb dengan menggunakan Delft3D-QUICKPLOT.

2. Menentukan Domain Grid

Grid yang ada dalam software Delft3D adalah grid dalam bentuk koordinat kartesian. Pembuatan grid menggunakan program Delft Dashboard kemudian divisualisasikan menggunakan Delft3D-RGFGRID. Ukuran grid yang digunakan adalah 602 x 636. Adapun bentuk grid adalah rectangular dengan ukuran 1 piksel grid yaitu 500 meter x 500 meter.

3. Input Data Kedalaman

Memasukkan file batimetri yang berformat *.xyz ke dalam Delft3D-QUICKIN. Kemudian dilakukan interpolasi data batimetri ke domain grid penelitian.

4. Time Frame

Time frame merupakan toolbar yang berfungsi untuk menginformasikan awal mulai simulasi yang merekam setiap bangkitan yang terjadi dalam interval menit. Waktu simulasi dilakukan selama 6 jam dengan time step 0,1 menit.

5. Boundaries

Boundaries dilakukan untuk memberikan Batasan-batasan dalam domain grid penelitian. Pembuatan Boundaries ada pada daerah selatan, barat, dan timur dari grid. Tipe Boundaries yang digunakan adalah Riemann

6. Menentukan Parameter Fisik

Data parameter fisik terkait kondisi yang ada di area pemodelan tsunami sebagai berikut:

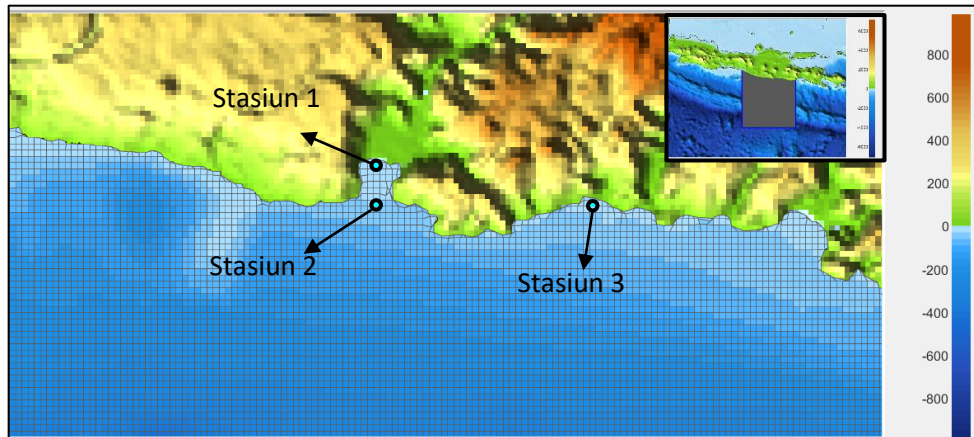
Tabel 1. Parameter Fisik

Jenis Data	Nilai
Konstanta:	
Gravitasi	9.81 m/s ²
Densitas Air	1025 kg/m ³
Densitas Udara	1 kg/m ³
Kekasaran:	
Koefisien Manning (uniform)	0.024
Viskositas:	
Viskositas Horizontal Eddy	1 m ² /s

Sumber: Penulis, 2022.

7. Monitoring

Monitoring/observation untuk meninjau amplitudo gelombang setiap waktu pemodelan ditentukan 3 titik. Yaitu Stasiun 1 di garis pantai Pacitan, Stasiun 2 di luar Teluk Pacitan, dan Stasiun 3 di Pantai Soge.



Gambar 1. Domain Grid dan Titik Obervasi.

8. Parameter Sesar

Pemodelan propagasi tsunami menggunakan Delft3D-Flow. Input data parameter sesar sebagai pembangkit tsunami sebagai berikut:

Magnitude	: 8,0 Mw
Latitude	: -10.3843
Longitude	: 110.8519
Kedalaman	: 15 km
Lebar	: 30 km
Panjang	: 190 km
Strike (°)	: 270
Dip (°)	: 16
Slip/Rake (°)	: 90
Dislokasi/Slip (m)	: 10

Sumber: Widiyantoro, (2020), Parameter Sesar Global CMT.

9. Menentukan Koefisien Kekasaran

Koefisien kekasaran merupakan faktor yang berpengaruh terhadap seberapa jauh tsunami menggenangi daratan. Koefisien kekasaran permukaan menggunakan dari Berryman (2006).

Tabel 2. Koefisien Kekasaran Permukaan (Berryman, 2006)

Jenis Tutupan Lahan/Penggunaan Lahan	Nilai Koefisien Kekasaran (n)
Badan Air	0.007
Semak/Belukar	0.040
Hutan	0.070
Perkebunan/Kebun	0.035
Lahan Kosong Terbuka	0.015
Lahan Pertanian	0.025
Permukiman/Lahan Terbangun	0.045
Mangrove	0.025
Tambak/Empang	0.010

Sumber: Berryman. 2006.

10. Perhitungna *Hloss*

Pemodelan sebaran genangan tsunami di daratan berdasarkan perhitungan *Hloss*. Perhitungan *Hloss* merupakan persamaan matematika yang dikembangkan oleh Berryman (2006) berdasarkan perhitungan kehilangan ketinggian tsunami per 1 meter jarak inudasi (ketinggian genangan) berdasarkan harga jarak terhadap lereng dan kekasaran permukaan.

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

Keterangan:

Hloss : kehilangan ketinggian tsunami per 1 meter jarak inudasi

n : koefisien kekasaran permukaan

Ho : ketinggian gelombang tsunami digaris pantai (m)

S : besarnya lereng permukaan (derajat)

b. Penentuan Jalur Evakuasi

Metode *Least-Cost Path* merupakan jenis analisis spasial yang berguna untuk untuk mencari jalur optimal. Metode Least-Cost Path adalah menemukan jalur berdasarkan data raster dengan memilih nilai akumulasi piksel terendah. Skor dengan nilai rendah memiliki potensi untuk menjadi jalur evakuasi, sedangkan skor dengan nilai tinggi tidak akan dipilih sebagai jalur evakuasi. Metode Least-Cost Path dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu cost surface, cost distance/cost backlink, dan cost path. Pemberian skor pada tiap parameter sebagai berikut:

Tabel 3. Skor Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng (%)	Skor
0-2	5
2-7	10
7-12	15
12-18	25
18-24	2000
>25	2500

Sumber: Setiawan, 2017.

Tabel 4. Skor Parameter Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	Skor
Rumput/tanah kosong	5
Permukiman/bangunan lainnya	10
Pasir darat	15
Ladang/tegalan	20
Sawah tadah hujan	25
Sawah irigasi	30
Semak belukar	35
Kebun/perkebunan	40
Tanah berbatu	45
Hutan	5000
Tubuh air	5500

Sumber: Wiharja (2011) dalam Pamungkas (2019)

Tabel 5. Skor Lebar Jalan

Lebar Jalan (meter)	Skor
≥ 11	25
$\geq 9 - < 11$	40
$\geq 7,5 - < 9$	65
$> 6,5 - < 7,5$	70
$< 6,5$	100
Bukan Jalan	10000

Sumber: Ardana (2013) dalam Pamungkas (2019)

Tabel 6. Skor Bahan Jalan

Bahan Jalan	Skor
Aspal	20
Konblok	30
Semen	40
Batu	60
Tanah	80
Bukan Jalan	10000

Sumber: Ardana (2013) dalam Pamungkas (2019)

Tabel 7. Skor Kondisi Jalan

Kondisi Jalan	Skor
Baik	25
Sedang	50
Buruk	75
Bukan Jalan	10000

Sumber: Ardana (2013) dalam Pamungkas (2019)

Tabel 8. Skor Arah Jalan

Arah Jalan	Skor
Dua Arah	10
Satu Arah	50
Bukan Jalan	10000

Sumber: Ardana (2013) dalam Pamungkas (2019)

Tabel 9. Bobot Parameter

Parameter	Bobot (%)
Kemiringan Lereng	25
Penggunaan Lahan	24
Bahan Jalan	22
Lebar Jalan	17
Kondisi Jalan	7
Arah Jalan	5
Total	100

Sumber: Ardana (2013) dalam Pamungkas (2019)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

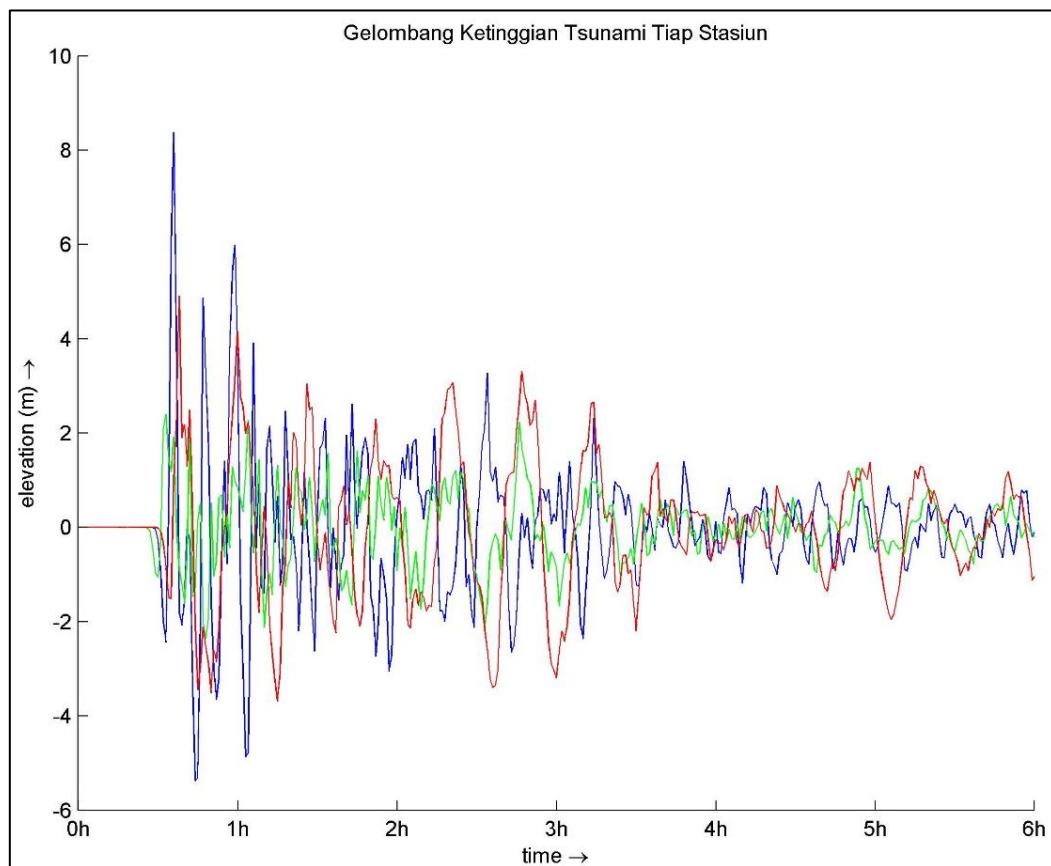
3.1 Pemodelan Propagasi Tsunami

Pemodelan penjalaran gelombang tsunami pada penelitian ini merupakan model hidrodinamika menggunakan software Delft3D yang berdasarkan atas persamaan numerik air dangkal (*Shallow Water Equations*). Model Hidrodinamika yang digunakan dalam pemodelan ini adalah model dengan menggunakan Single Grid. Grid yang dibuat sebagai domain pemodelan tsunami memiliki luas 98.718 km².

Titik observasi sebanyak 3 stasiun untuk memonitor penjalaran gelombang tsunami dari laut lepas menuju ke garis pantai di Pesisir Pacitan. Stasiun 1 terletak di garis pantai Teleng Ria Kecamatan Pacitan, Stasiun 2 berada di luar Teluk Pacitan, dan Stasiun 3 berada di pantai Soge Kecamatan Ngadirojo. Titik observasi 2 ditempatkan di luar teluk bertujuan untuk mengetahui tinggi gelombang sebelum masuk teluk dan pengaruh tebing yang mengelilingi teluk pacitan terhadap rambatan gelombang tsunami. Sedangkan stasiun 3 ditempatkan di

pantai Soge yang merupakan daerah pantai terbuka bertujuan untuk membandingkan tinggi run-up tsunami pada pantai yang berbentuk teluk.

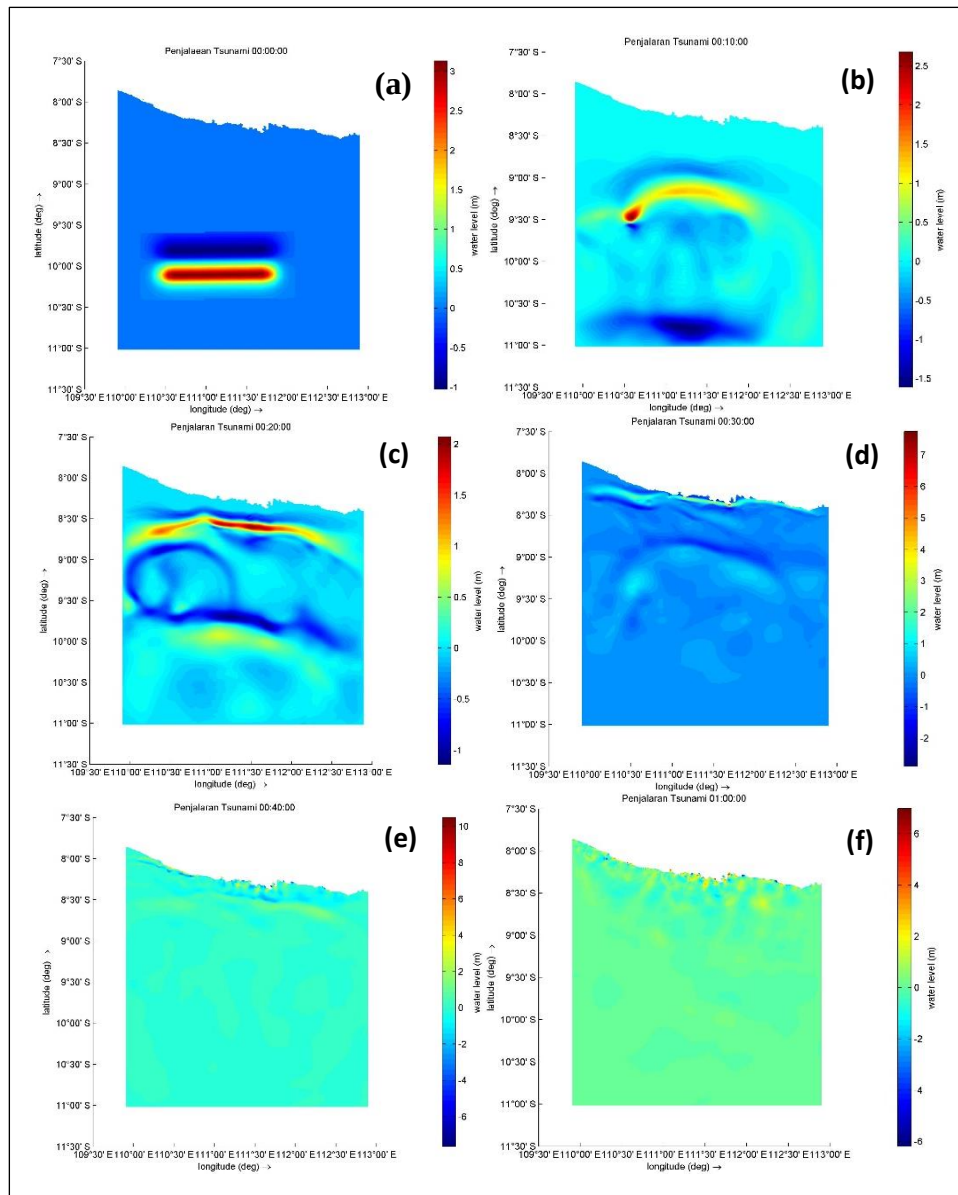
Berdasarkan rekaman gelombang tsunami di tiap titik observasi pada Gambar 2, hasil pemodelan didapatkan run up tertinggi gelombang tsunami sebesar 5 meter di Stasiun 1, kemudian di Stasiun 2 sebesar 2,1 meter, lalu di Stasiun 3 sebesar 8,78 meter. Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dari episentrum gempa hingga ke garis pantai pesisir Pacitan adalah 38 menit dengan jarak yaitu 242 km. Kemudian pada Stasiun 2 waktu tempuh gelombang awal tiba dari sumber gempa hingga ke titik observasi adalah 33 menit. Sedangkan untuk di Stasiun 3 waktu tempuhnya adalah 36 menit dengan jarak antara titik sumber gempa dengan titik observasi sejauh 241 km. Rata-rata tinggi gelombang tsunami di Teluk Pacutan adalah 2-3 meter.



Gambar 2. Gelombang Ketinggian Tsunami Stasiun 1 = Merah, Stasiun 2 = Hijau, Stasiun 3 = Biru.

Hasil dari pemodelan simulasi tsunami menunjukkan penjalaran gelombang tsunami dari sumber ke segala arah. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 Bahwa daerah terancam tsunami tidak hanya pesisir Pacitan namun juga sampai di daerah Kulon Progo, Trenggalek, Tulungagung, Blitar, dan Malang. Fokus pada penelitian ini adalah bahaya tsunami di daerah Pesisir Kecamatan Pacitan.

Gelombang tsunami pada kedalaman dasar laut atau kondisi batimetri yang bermacam mengalami perubahan bentuk baik panjang gelombang maupun tingginya karena sifat gelombang tsunami yang tidak linier. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 bahwa adanya gunung bawah laut mempengaruhi rambatan gelombang. Pada menit ke-30 terdapat gelombang yang mengalami perubahan arah menuju ke daerah Kulon Progo.



Gambar 3. Snapshot dari penjalaran tsunami pada menit ke 0 (a), menit ke 10 (b), menit ke 20 (c), menit ke 30 (d), menit ke 40 (e), dan menit ke 60 (f).

Pantai Soge yang berada di Kecamatan Ngadirojo merupakan pantai yang terbuka atau langsung berhadapan dengan samudera, sedangkan pantai di pesisir Kecamatan Pacitan berbentuk teluk dengan dikelilingi tebing, yang mana gelombang mengalami difraksi dan refleksi sehingga mempengaruhi perambatan gelombang menjadi 5 meter, sedangkan di pantai

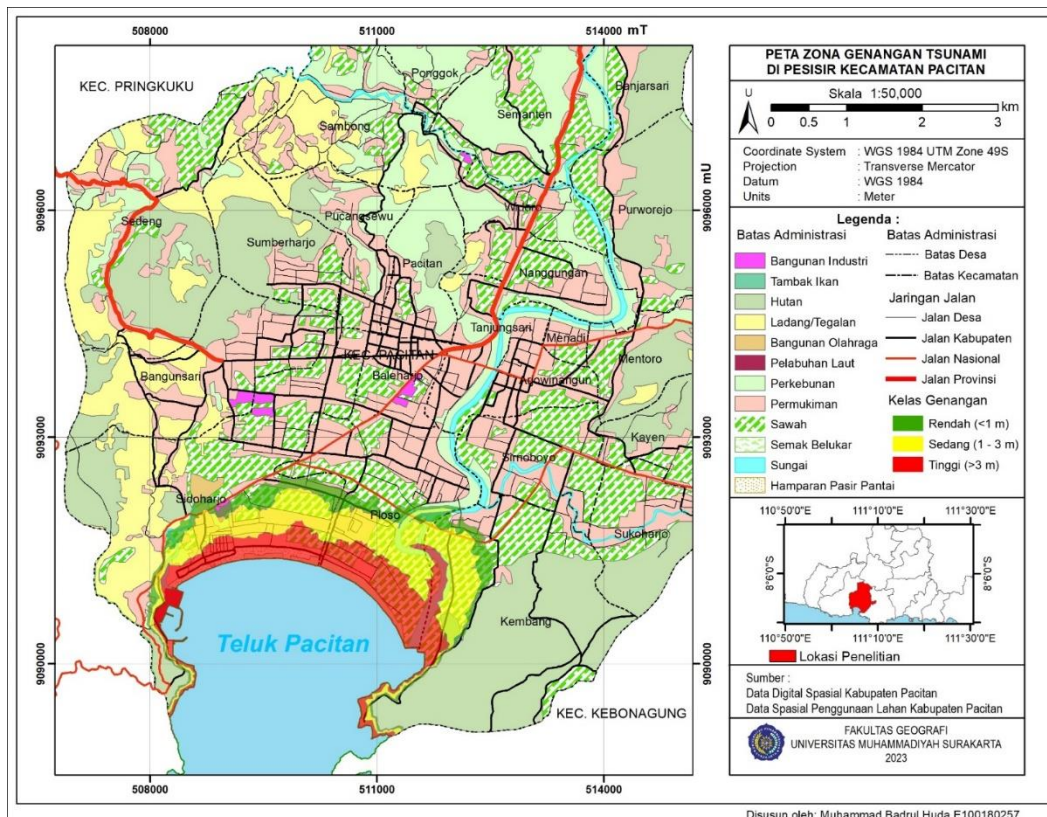
Soge setinggi 8,78 meter, selisih 3,78 meter lebih tinggi terhadap run-up gelombang di pantai Teleng/Teluk Pacitan. Refleksi gelombang, kondisi batimetri, transformasi gelombang, gelombang infragravitas, porositas, dan lain-lainnya merupakan hal yang sulit ketika memodelkan gelombang penjalaran run-up tsunami (Setyonegoro, 2012). Perambatan gelombang tsunami dan ketinggian tsunami dapat dipengaruhi oleh kontur dasar laut. Ketinggian gelombang tsunami secara signifikan lebih tinggi saat mencapai pantai daripada saat berada di pusat gempa. Massa air mengalami peningkatan saat tsunami mendekati pantai dikarenakan kesempatan penjalaran terhambat oleh daratan dan kedalaman dasar laut yang ikut berkurang.

3.2 Zona Genangan Tsunami

Ketinggian gelombang tsunami yang mencapai garis pantai dan rambatan gelombang penyebarannya hingga daratan disebut sebagai bahaya tsunami. Bahaya tsunami dihasilkan dari perhitungan rumus Berryman (Hloss) dengan menggunakan parameter kemiringan lereng, ketinggian tsunami di garis pantai, dan koefisien kekasaran permukaan. Nilai koefisien kekasaran permukaan didapatkan dari konversi jenis penggunaan lahan di Kecamatan Pacitan. Tinggi gelombang tsunami di garis pantai menggunakan run-up tsunami dari Stasiun 1 di garis pantai Teleng Ria setinggi 5 meter berdasarkan skenario gempabumi 8,0 Mw.

Hasil pemodelan genangan tsunami, daerah di pesisir Kecamatan Pacitan yang terkena dampak genangan tsunami terdiri dari Kelurahan Sidoharjo, Kelurahan Ploso dan Desa Kembang. Area timur pesisir merupakan daerah yang perambatan genangannya cukup jauh. Hal itu dikarenakan penggunaan lahan lebih banyak berupa sawah, sehingga koefisien kekasaran permukaan yang rendah membuat rambatan genangan bisa lebih jauh. Selain itu terdapatnya sungai ikut meningkatkan laju rambatan gelombang.

Sungai dianggap sebagai media penyebaran genangan gelombang tsunami. Di daerah penelitian terdapat sungai Grindulu yang merupakan sungai terbesar di Kabupaten Pacitan. Ketika daya tampung sungai tidak mampu menampung volume air, maka daerah sekitar sungai akan tergenang. Meningkatnya debit air akan memperbesar kemungkinan terjadinya luapan di sekitar bantaran sungai. Sungai dapat dikatakan sebagai jalur tol tsunami karena air akan lebih mudah menjalar dengan cepat dan lebih jauh.



Gambar 4. Peta Genangan Tsunami di Pesisir Kecamatan Pacitan

Tabel 10. Luas Area Terdampak Genangan Tsunami di Pesisir Kecamatan Pacitan

Desa/Kelurahan	Luas Area Terdampak Genangan (ha)			Total	%
	Rendah	Sedang	Tinggi		
Sidoharjo	52.48	100.38	86.84	239.70	41.92
Ploso	23.34	79.48	88.05	190.87	33.38
Kembang	27.07	74.91	39.24	141.22	24.70
Jumlah	102.89	254.77	214.13	571.79	100

Sumber: Penulis, 2023.

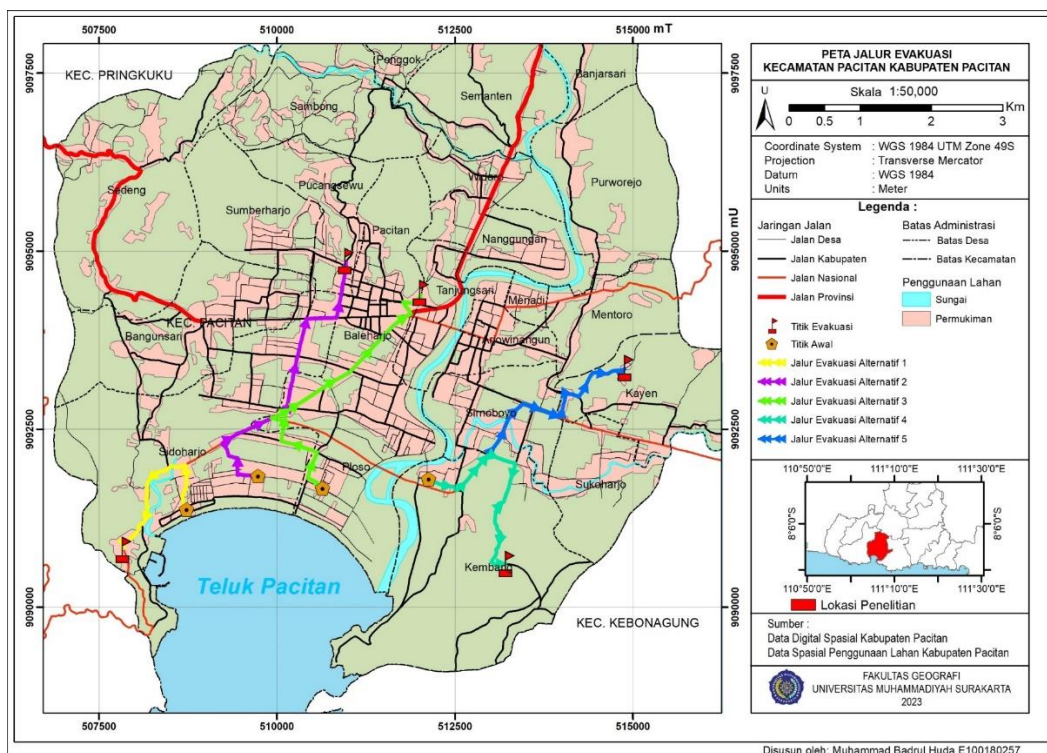
Berdasarkan Tabel 10 menunjukkan bahwa total 571,79 hektar area yang terkena dampak tsunami di pesisir Kecamatan Pacitan. Area yang terkena dampak dibagi menjadi tiga kelas bahaya yaitu tingkat rendah yang meliputi area seluas 102,89 hektar, tingkat bahaya sedang yang meliputi area seluas 254,77 hektar, dan tingkat bahaya tinggi yang meliputi area seluas 214,13 hektar. Masing-masing wilayah tergenang yaitu di Kelurahan Sidoharjo sebesar 239,70 hektar, kemudian di Kelurahan Ploso sebesar 190,87 hektar, dan di Desa Kembang sebesar 141,22 hektar. Kelurahan Sidoharjo yang memiliki luas area terdampak 239,70 hektar atau sebesar 41,92% yang mana merupakan daerah yang mengalami genangan paling parah. Terdiri dari kelas bahaya rendah wilayah yang terdampak sebesar 52,48 hektar, kemudian kelas

bahaya sedang sebesar 100,38 hektar, dan kelas bahaya tsunami tinggi wilayah yang terdampak sebesar 86,84 hektar.

3.3 Penentuan Jalur Evakuasi

Wilayah pesisir merupakan zona paling terancam oleh gelombang tsunami yang dapat menggenangi daerah dataran rendah hanya beberapa menit setelah gempa bumi. Evakuasi spontan dengan berjalan kaki atau menggunakan kendaraan bermotor mungkin merupakan satu-satunya cara yang efektif untuk mengurangi korban jiwa karena singkatnya waktu yang tersedia sebelum kedatangan gelombang. Solusi untuk mengurangi dampak terparah tsunami di wilayah tersebut adalah dengan menentukan jalur evakuasi dengan mempertimbangkan jarak titik awal hingga titik akhir.

Berdasarkan proses penentuan jalur evakuasi yang dilakukan menggunakan *Least Cost Path*, didapatkan beberapa jalur evakuasi. Titik awal terdiri dari 4 titik dan titik akhir sebagai tempat evakuasi ditentukan sejumlah 5 titik. Yang terdiri dari 2 titik awal di Kelurahan Sidoharjo, 1 titik awal di Kelurahan Ploso, dan 1 titik awal di Desa Kembang.



Gambar 5. Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Kecamatan Pacitan Kabupaten Pacitan

Kecepatan berjalan kaki didasarkan pada panduan rencana evakuasi tsunami yang diberikan oleh Fire and Disaster Management Agency, Jepang (1987, dalam Amin, 2006). Kecepatan rata-rata proses evakuasi dengan berjalan kaki diasumsikan adalah 1 m/detik atau

3,6 km/jam. Sedangkan proses evakuasi menggunakan kendaraan bermotor diasumsikan kecepatannya adalah 40 km/jam.

Tabel 11. Jarak Tempuh Tiap Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Pesisir Kecamatan Pacitan

Jalur Evakuasi	Titik Awal	Titik Akhir	Jarak (km)	Tinggi (mdpl)	Waktu Tempuh (menit)	
					Berjalan Kaki	Kendaraan Motor
1	Kelurahan Sidoharjo	Tamperan	2,37	46	40	4
2	Kelurahan Sidoharjo	Gerdon, Desa Pucangsewu	4,54	12	76	7
3	Kelurahan Ploso	Perpustakaan Kebonredi, Desa Tanjungsari	4,71	30	79	7
4	Desa Kembang	Kepnagrono, Desa Kembang	3,36	76	56	5
5	Desa Kembang	Gunung Pegat	3,97	35	66	6

Sumber: Penulis, 2023.

Jalur evakuasi ke-1, waktu yang dibutuhkan untuk menuju ke tempat evakuasi dengan berjalan kaki maka waktu yang dibutuhkan adalah 40 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor waktu yang dibutuhkan lebih sedikit yaitu hanya 4 menit. Jalan yang digunakan memiliki lebar 4-5 meter dengan kondisi baik dan beraspal. Selanjutnya untuk jalur evakuasi ke-2, waktu yang dibutuhkan menuju ke tempat evakuasi jika berjalan kaki adalah 76 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor adalah 7 menit. Jalan yang dilalui merupakan jalan provinsi dengan lebar 7-9 meter. Kemudian untuk jalur evakuasi ke-3, waktu tempuh yang dibutuhkan menuju ke tempat evakuasi jika berjalan kaki adalah 79 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor adalah 7 menit. Jalan yang dilalui pada jalur evakuasi ke-3 ini juga merupakan jalan provinsi dengan lebar 7-9 meter. Sehingga proses evakuasi menggunakan kendaraan bermotor bisa muat banyak dan para pengungsi dapat mencapai ke tempat evakuasi dengan cepat. Selanjutnya untuk jalur evakuasi ke-4, waktu tempuh yang dibutuhkan menuju ke tempat evakuasi jika berjalan kaki adalah 56 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor adalah 5 menit. kondisi jalan yang dilalui sebagian jalur evakuasi ke-4 memiliki kondisi baik hingga sedang, dengna bahan jalan yaitu aspal dan lebar jalan antara 6 sampai 3 meter. Kemudian untuk jalur evakuasi ke-5, waktu tempuh yang dibutuhkan untuk sampai tempatk evakuasi jika berjalan kaki adalah 66 menit,

sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor adalah 6 menit. Walaupun jaraknya lebih jauh dibanding jalur evakuasi ke-4, jalur evakuasi ke-5 ini jalan yang dilewati merupakan jalan nasional dengan lebar 6 hingga 8 meter sehingga akan muat banyak kendaraan bermotor.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Hasil pemodelan bahaya tsunami dengan skenario gempa bumi 8,0 Mw di Pesisir Kecamatan Pacitan ketinggian run-up maksimal di garis pantai adalah 5 meter. Kelas bahaya tsunami dibagi menjadi 3 kelas yaitu rendah, sedang, dan tinggi dengan masing-masing tingkat meliputi area seluas 102,98 hektar, kemudian 254,77 hektar, dan 214,13 hektar. Sebaran spasial zona genangan tsunami didapatkan daerah yang terdampak adalah Kelurahan Sidoharjo, Kelurahan Ploso, dan Desa Kembang. Luas genangan tiap daerah yang terdampak adalah 239,70 ha di Kelurahan Sidoharjo, 190,87 hektar di Kelurahan Ploso, dan 141,22 hektar di Desa Kembang.
2. Penentuan jalur evakuasi untuk mitigasi bencana tsunami didapatkan 5 jalur evakuasi. Waktu tempuh proses evakuasi dari kelima jalur evakuasi jika berjalan kaki membutuhkan waktu lebih dari 30 menit, sedangkan jika menggunakan kendaraan bermotor waktu tempuh yang dibutuhkan kurang dari 10 menit.

4.2 Saran

1. Bangunan-bangunan yang ada di Pesisir Kecamatan Pacitan disarankan untuk dirancang tahan gempa bumi dan tsunami karena sangat rentan terhadap bencana alam tersebut.
2. Studi ini dalam penentuan jalur evakuasi menggunakan pendekatan statis, perlu dilakukan studi jalur evakuasi dengan pendekatan dinamis yaitu simulasi secara bottom-up dengan menganalisis suatu agen yang berinteraksi satu sama lain. Dalam hal ini masyarakat yang menentukan jalur mana yang akan digunakan untuk evakuasi.

Daftar Pustaka

- Amin, B. (2006). Evacuation Shelter Building Planning for Tsunami-prone Area; a Case Study of Meulaboh City, Indonesia. (Master), ITC, The Netherlands.
- Andriyani, G. dkk. (2012). Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data Gns Kkontinu Tahun 2009-2011. *Jurnal Geodesi UNDIP*. Vol. 1, No. 1.
- Lestari, D. A. dkk. (2021). Spatial Analysis on Tsunami Predictions in Pandeglang Regency. *Forum Geografi*. Vol. 35, No. 1.

- Patria, A.(2020). Structural And Earthquake Evaluations Along Java Subduction Zone, Indonesia. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Vol. 30, No. 1.
- Pratama, A. (2013). Pengolahan Data Gps Kontinyu Jaringan Sugar (Sumatran Gps Array) Untuk Mengamati Deformasi Akibat Gempa Cekungan Wharton Sumatera. *DIPA IPTEKS*, I, (1), 35.
- Setyonegoro, W. (2012). Analisis Sumber Gempa bumi dengan Potensi Tsunami pada Segmen Mentawai. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(2), 139-138.
- Suwarno. (2007). Metode Mitigasi Longsorlahan di Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah. *Forum Geografi*. Vol. 21, No. 1.