

## ANALISIS PERBANDINGAN MODEL GENANGAN TSUNAMI MENGUNAKAN DATA DEM ASTER, SRTM DAN TERRASAR (Studi Kasus: Kabupaten Pangandaran)

Anang Ikhwandito, Yudo Prasetyo, Arief Laila Nugraha<sup>\*)</sup>

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : anang.ikhwandito@gmail.com

### ABSTRAK

Pesisir Kabupaten Pangandaran merupakan wilayah di Indonesia yang pernah mengalami bencana tsunami. Tsunami tersebut terjadi pada tanggal 17 juli 2006 dengan jumlah korban sekitar 700 orang. Secara umum pesisir Kabupaten Pangandaran memiliki karakteristik yang rentan terhadap limpasan gelombang tsunami. Kerentanan yang tinggi tersebut dikarenakan sebagian besar wilayah pesisir Pangandaran merupakan wilayah pariwisata, oleh karena itu diperlukan upaya mitigasi bencana untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan. Salah satu upaya mitigasi bencana tsunami dapat dilakukan dengan pembuatan model genangan tsunami. Pemodelan genangan tsunami menggunakan formulasi yang dikembangkan Berryman (2006) dengan mempertimbangkan tiga parameter utama yaitu topografi, koefisien kekasaran permukaan dan ketinggian tsunami di garis pantai. Parameter topografi menggunakan DEM ASTER 30 meter, SRTM 30 meter dan TerraSAR 9 meter, sedangkan koefisien kekasaran diperoleh dari tutupan lahan yang dihasilkan dengan klasifikasi terbimbing dengan menggunakan Citra Landsat-8 tahun 2016. Penelitian ini menggunakan dua ketinggian tsunami yaitu 8 dan 15 meter sesuai dengan data historis tsunami Kabupaten Pangandaran. Berdasarkan pemodelan yang dibentuk, diperoleh luas terdampak yang dihasilkan model genangan dari DEM ASTER untuk tinggi tsunami 8 dan 15 meter yaitu 1600,98 dan 4279,23 hektar, model genangan dari DEM SRTM untuk tinggi tsunami 8 dan 15 meter yaitu 1703,02 dan 4027,33 hektar dan model genangan dari DEM TerraSAR yaitu 1348,59 dan 2025,35 hektar. Model genangan tsunami terbaik yaitu model yang dihasilkan berdasarkan DEM TerraSAR, dimana model tersebut baik secara visual maupun kemiripan dengan kejadian tsunami di Kabupaten Pangandaran. Tingkat visual pada pemodelan genangan tsunami dipengaruhi oleh resolusi spasial data yang digunakan. Sedangkan pada kemiripan tsunami terdapat pada model genangan tsunami dari DEM TerraSAR dengan tinggi tsunami 15 meter. Model tersebut memiliki selisih kedalaman tsunami terkecil pada titik validasi yakni 0,5 meter.

**Kata Kunci:** DEM, Pangandaran, Tsunami

### ABSTRACT

*Coastal Pangandaran Regency is an area in Indonesia that had experienced a tsunami disaster. The tsunami occurred on 17 July 2006 with a casualty of about 700 people. In general, coastal Pangandaran Regency has characteristics that are vulnerable to runoff of tsunami wave. The high vulnerability due to most of the coastal area of Pangandaran is a tourism area, therefore it takes disaster mitigation efforts to reduce the losses incurred. One of the tsunami disaster mitigation efforts can be done by making tsunami inundation model. Tsunami modeling using developed formulation by Berryman (2006) with considering three main parameters: topography, coefficient of surface roughness and tsunami height at coastline. Topographic parameters using ASTER DEM 30 meters, SRTM 30 meters and TerraSAR 9 meters, while coefficient of surface roughness obtained from land cover produced by supervised classification process using Landsat-8 Image 2016. This study used two tsunami heights of 8 and 15 meters according with historical data of tsunami of Pangandaran Regency. Based on the formed model, the result of impacted area produced by the inundation model from DEM ASTER for tsunami height 8 and 15 meter is 1600,98 and 4279,23 hectare, the inundation model from DEM SRTM for tsunami height 8 and 15 meter is 1703.02 and 4027.33 hectares and the inundation models of DEM TerraSAR are 1348.59 and 2025.35 hectares. The best tsunami inundation model is a model based on TerraSAR DEM, in which the model is both visually and resemblance to the tsunami event in Pangandaran Regency. The visual level on tsunami inundation modeling is influenced by the spatial resolution of the data used. Meanwhile, the tsunami similarity is in the tsunami inundation model from DEM TerraSAR with a tsunami height of 15 meters. Where the model has the smallest tsunami depth difference at the validation point of 0.5 meters.*

**Keywords:** DEM, Pangandaran, Tsunami

<sup>\*)</sup>Penulis, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Negara Indonesia terletak di daerah dengan tingkat kerawanan gempa tektonik yang tinggi, hal tersebut disebabkan bertemunya tiga lempeng tektonik utama dunia yakni Samudra India – Australia, Samudra Pasifik dan Eurasia di sebelah timur (Hertanto, H. B., 2012). Pertemuan lempeng-lempeng (zona subduksi) tersebut sebagian besar terdapat di dasar wilayah perairan di Indonesia, sehingga jika pergerakan lempeng-lempeng tersebut terjadi maka ada kemungkinan dapat terjadi tsunami. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan akan bencana tsunami yaitu pesisir selatan Pulau Jawa.

Pada tanggal 17 Juli 2006, perairan selatan Jawa Barat diguncang gempa dangkal dengan kekuatan 7,7 skala *Magnitude* (SM). Gempa ini menimbulkan tsunami yang menerjang pantai sepanjang pantai selatan Jawa Barat hingga Yogyakarta dan menelan korban jiwa sekitar 700 orang (Firmansyah, 2012). Banyaknya korban terjadi karena wilayah Pesisir Pangandaran memiliki berbagai aktivitas kepesisiran mulai dari permukiman, perdagangan, pariwisata, pengembangan sektor industri dan berbagai sektor lainnya. Dekatnya jarak pantai terhadap zona subduksi serta sejarah gempa dan tsunami menjadi ancaman kawasan ini terhadap bencana tsunami. Maka dari itu wilayah Pesisir Pangandaran perlu melakukan langkah-langkah untuk mengurangi dampak tsunami.

Salah satu langkah sebagai antisipasi dampak bencana tsunami adalah dengan pemodelan genangan tsunami di pesisir Kabupaten Pangandaran. Model genangan tsunami dapat dibuat menggunakan *data run-up* tsunami dan data profil permukaan tanah di pantai. *Run-up* tsunami merupakan jarak vertikal antara ketinggian maksimum yang dicapai oleh gelombang pada pantai dan rata-rata permukaan muka air laut (Pararas-Carayannis, 2000). Untuk mendapatkan data topografi pantai kita dapat memanfaatkan teknologi penginderaan jauh yaitu pengolahan pada data citra satelit. Penelitian ini menggunakan data DEM seperti ASTER GDEM, SRTM dan TerraSAR. Koefisien kekasaran diperoleh dari hasil klasifikasi terbimbing pada citra Landsat-8.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan model genangan tsunami berdasarkan data DEM (ASTER GDEM, SRTM dan terraSAR). Setelah mendapat model genangan terbaik kita dapat menghasilkan peta genangan tsunami untuk Kabupaten Pangandaran dapat digunakan untuk menganalisis seberapa besar dampak yang terjadi dan seberapa luas jangkauan tsunami yang ditimbulkan. Hal ini juga dapat digunakan untuk menganalisis mitigasi bencana di Pesisir Kabupaten Pangandaran.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka diangkat perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana analisis kualitas DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR berdasarkan parameter kualitas DEM?
2. Bagaimana model genangan tsunami yang disimulasikan berdasarkan data DEM (ASTER GDEM dan SRTM) dan TerraSAR pada area penelitian?
3. Bagaimana analisis perbandingan kelas genangan tsunami pada hasil model genangan tsunami berdasarkan DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR?
4. Bagaimana analisis dampak genangan tsunami terhadap kerugian tutupan lahan?

### I.3. Batasan Masalah

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter yang digunakan untuk menguji kualitas DEM yang dihasilkan yaitu resolusi spasial, ketelitian geometrik dan kerapatan titik tinggi.
2. Data tsunami yang digunakan tidak menggunakan parameter-parameter tsunami seperti kuat arus, besar magnitude gempa, lokasi pusat gempa dan kecepatan rayapan.
3. Validasi model genangan tsunami dilakukan mengacu pada data tsunami yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2006.
4. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi tutupan lahan yaitu menggunakan klasifikasi terbimbing terhadap citra Landsat-8.
5. Penentuan garis pantai dilakukan dengan metode BILKO pada citra Landsat-8.
6. Keluaran dari penelitian ini adalah peta perbandingan model genangan tsunami.
7. Pembentukan kelas genangan tsunami pada penelitian ini dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas dangkal, kelas sedang dan kelas dalam.

### I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### A. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kualitas DEM yang dihasilkan dari pengolahan data DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR dengan mengacu pada parameter kualitas DEM.
2. Mengetahui bagaimana analisis pemodelan genangan tsunami yang disimulasikan berdasarkan data ASTER GDEM, SRTM dan TerraSAR.
3. Mengetahui kelas genangan dari tiga model genangan tsunami yang dihasilkan dari data DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR. Pada penelitian ini menggunakan tiga kelas genangan yaitu dangkal, sedang dan dalam.
4. Mengetahui dampak genangan tsunami terhadap tutupan lahan hasil pengolahan citra Landsat tahun 2017.

#### B. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Aspek keilmuan

Manfaat penelitian ini dalam segi keilmuan adalah penggunaan ilmu penginderaan jauh dalam pembuatan model genangan tsunami.

2. Aspek rekayasa

Manfaat penelitian ini dalam segi rekayasa adalah pembuatan model genangan tsunami menggunakan data ASTER GDEM, SRTM dan DEM TerraSAR. Pemodelan tersebut digunakan untuk mengetahui kesesuaian model dengan dampak tsunami yang terjadi di Kabupaten Pangandaran, sehingga peneliti dapat mengetahui data mana yang terbaik untuk digunakan dalam pemodelan genangan tsunami.

**I.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut: area studi penelitian ini terletak pada Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat.

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1. Tsunami**

Tsunami adalah gelombang pelabuhan, berasal dari bahasa Jepang yang terdiri dari suku kata “tsu” (gelombang) dan “nami” (pelabuhan). Istilah tsunami pertama kali diungkapkan oleh para nelayan yang pulang dari melaut dan menemukan daerah di sekitar pelabuhan hancur berantakan (Latief, H., 2013). Timbulnya tsunami secara alamiah disebabkan oleh adanya deformasi dasar laut, perubahan badan air atau permukaan air yang terjadi secara tiba-tiba dan impulsif. Perubahan ini disebabkan oleh gempa bumi, erupsi gunung api dan longsor bawah laut atau akibat terjangan benda angkasa luar ke permukaan laut.

**II.2. Pemodelan Genangan Tsunami**

Pemodelan genangan tsunami dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan numerik sederhana berdasarkan modifikasi metode Berryman (2006). Metode tersebut menggunakan tiga variabel dalam perhitungannya yaitu:

1. Topografi pantai
2. Koefisien kekasaran permukaan

Tabel 1. Koefisien Kekasaran tutupan lahan (Yunus, R., dkk, 2014)

No	Penutup Lahan	Koefisien Kekasaran
1	Badan air	0,007
2	Semak	0,040
3	Hutan	0,070
4	Kebun	0,035
5	Lahan terbuka	0,015
6	Lahan pertanian	0,025
7	Lahan terbangun	0,045
8	Mangrove	0,025

3. Ketinggian gelombang

Dari ketiga parameter diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- H loss = penurunan ketinggian air permeter
- n = koefisien kekasaran permukaan
- H = ketinggian air pada garis pantai
- S = kelerengan

**II.3. DEM (Digital Elevation Model)**

DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991). Pada penelitian ini DEM yang digunakan yaitu:

1. ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*)  
ASTER merupakan instrumen atau sensor yang dipasang pada satelit Terra, yang diluncurkan pada Desember 1999. Kemudian data tersebut dibagi atas petak-petak citra dengan luas 1x1 derajat. Jumlah petak untuk DEM ASTER GDEM versi 1 yaitu 22.600, sedangkan jumlah area untuk DEM ASTER GDEM versi 2 yaitu 22.702.
2. SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)  
SRTM adalah sebuah penelitian internasional yang dipelopori oleh US *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) dan US *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). SRTM dihasilkan dari penyiaran gelombang radar dengan teknik interferometri.
3. TerraSAR  
TerraSAR-X sebuah satelit observasi milik Jerman yang dibuat dari kerjasama antara *German Aerospace Center DLR and EADS Astrium GmbH*. TerraSAR-X diluncurkan pada 15 Juni 2007 dan telah beroperasi secara resmi sejak Januari 2008.

**II.4. Kualitas DEM**

Pada penelitian ini menggunakan tiga parameter untuk menentukan kualitas DEM sebagai berikut:

1. Resolusi Spasial, merupakan ukuran objek terkecil yang masih dapat disajikan, dibedakan dan dikenali pada citra.
2. Ketelitian geometrik, ketelitian yang berkaitan dengan ketepatan posisi peta. Hal tersebut berkaitan dengan sistem referensi, skala kedetilan peta dan objek terkecil yang dipetakan (Peraturan Pemerintah no 8, 2013).
3. Density Sample, merupakan kerapatan dari sebaran titik-titik ketinggian pada DEM.

**II.5. Klasifikasi Terbimbing**

Klasifikasi terbimbing (*supervised*) mempunyai arti berdasarkan suatu referensi penunjang, dimana kategori objek-objek yang terkandung pada citra dapat diidentifikasi. Klasifikasi ini memasukkan setiap piksel citra tersebut kedalam suatu kategori objek yang sudah diketahui dengan memasukkan ROI (*Region of*

*Interest*) sebagai dasar pengklasifikasian yang akan dilakukan.

Klasifikasi terbimbing dengan algoritma *maximum likelihood* diartikan bahwa setiap piksel ditugaskan untuk kelas yang memiliki probabilitas tertinggi (Vyraswana, 2013). Jika probabilitas tertinggi lebih kecil dari ambang batas yang ditentukan, piksel tetap tidak terklasifikasi.

**II.6 Algoritma BILKO**

Algoritma BILKO dikembangkan oleh *Training and Education in Marine Science Programme (TREDMAR) – UNESCO*. Penentuan batas antara daratan dan lautan dilakukan dengan memanfaatkan nilai kecerahan atau *Brightness Value (BV)* dari daratan dan lautan. Rumus umum yang digunakan adalah (Hanifah dkk, 2004):

$$((INPUT1 / ((N * 2) + 1) * (-1) + 1) \dots \dots \dots (II-2)$$

Keterangan:

N = nilai minimum BV daratan Citra Landsat 7 (30) dan Citra Landsat 8 (7000)

INPUT1 = Band 5 atau 6

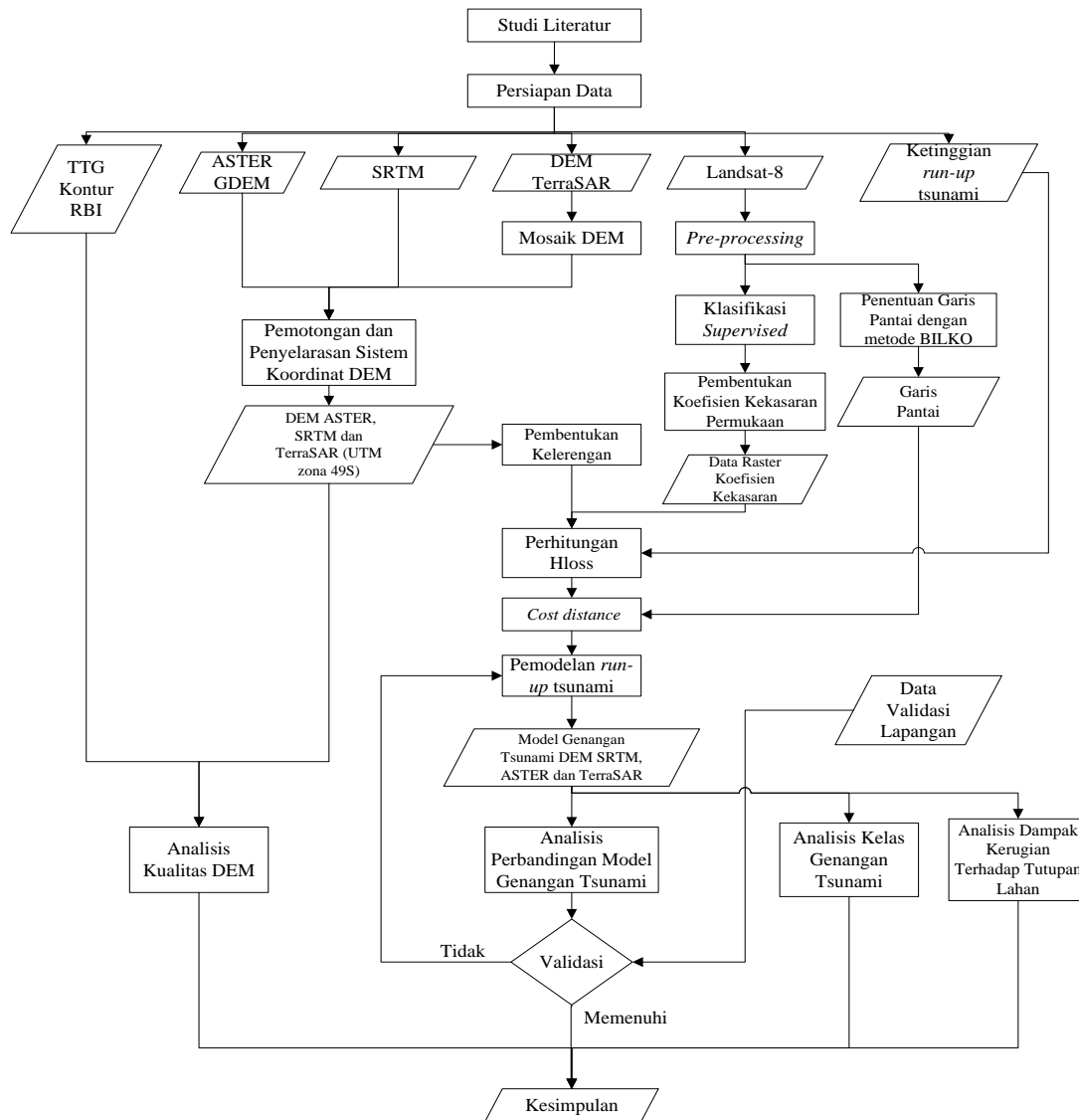
**III. Metodologi Penelitian**

**III.1. Pengolahan Data**

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam Gambar 1.

**III.2. Peralatan dan Bahan Penelitian**

1. Peralatan Penelitian
  - a. Perangkat Komputer
  - b. *Software* ENVI 5.1
  - c. *Software* Arc Map 10.2.2
  - d. Microsoft Office
  - e. *Software* Global Mapper
2. Data Penelitian
  - a. Data ASTER GDEM akuisisi tahun 2011.
  - b. Data DEM TerraSAR akuisisi tahun 2011.
  - c. Data DEM SRTM akuisisi tahun 2014.
  - d. Citra Landsat 8 akuisisi tahun 2016
  - e. Data historis tsunami dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Pangandaran.
  - f. Data vektor Kabupaten Pangandaran dari Badan Informasi Geospasial.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

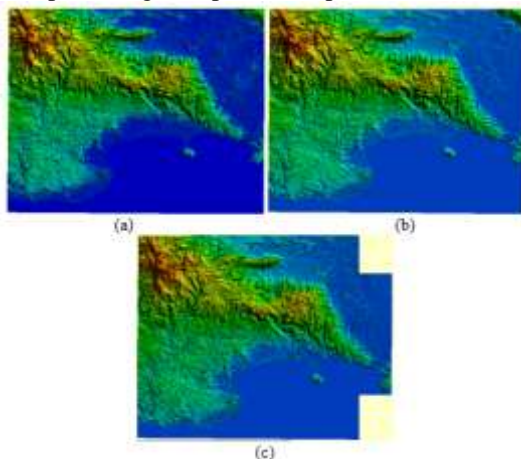
**III.3. Tahapan Penelitian**

Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan berikut:

1. Studi literatur, pengumpulan data dan persiapan survei.
2. Pengolahan dan pembentukan DEM
  - a. Penggabungan DEM
 

Penggabungan DEM pada data DEM TerraSAR dilakukan karena data yang tersedia untuk Kabupaten Pangandaran terbagi menjadi beberapa bagian. Penggabungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Global Mapper 17.
  - b. Pemotongan dan penyesuaian koordinat
 

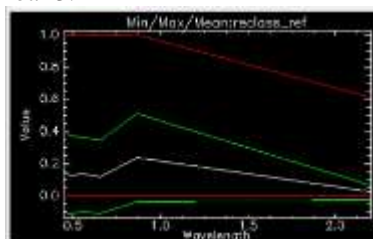
Pemotongan dan penyesuaian koordinat dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Sistem koordinat yang digunakan dalam penelitian ini yakni UTM zona 49S. Untuk sistem tinggi pada setiap DEM menggunakan sistem tinggi orthometrik dengan geoid EGM 1996. Tampilan hasil pemotongan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pemotongan (a) DEM ASTER dan (b) SRTM dan (c) TerraSAR

3. Pembentukan Model Genangan Tsunami
  - a. Koreksi Radiometrik

Tujuan utama dari kalibrasi radiometrik ini adalah untuk mengubah data pada citra yang disimpan dalam bentuk *Digital Number* (DN) menjadi reflektan. Koreksi radiometrik dilakukan menggunakan metode FLAASH untuk menghilangkan pengaruh atmosfer. Nilai reflektan memiliki rentang antara 0 – 1, histogram hasil pengolahan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Histogram nilai reflektan

- b. Algoritma BILKO

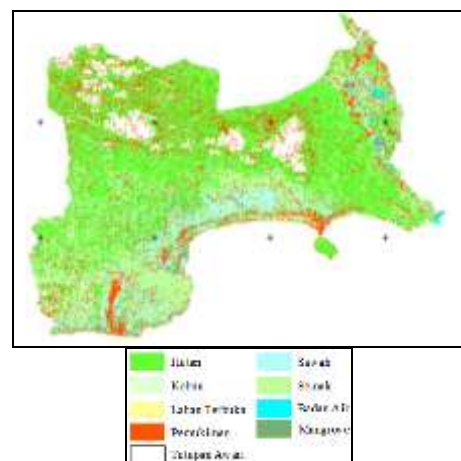
Pada algoritma ini data masukan yang diambil adalah *band 5* (*Near Infra Red*) citra Landsat 8 karena pada *band* tersebut memiliki kekontrasan yang jelas antara darat dan air dibandingkan dengan band lainnya. Dengan menggunakan saluran 5 pada rumus II-2 sehingga menghasilkan tampilan citra yang memisahkan badan air dengan daratan. Hasil pengolahan dan digitasi hasil algoritma BILKO dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengolahan Penentuan Garis Pantai

- c. Klasifikasi Terbimbing

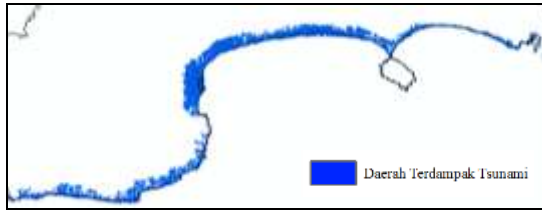
Pada penelitian ini, pengolahan klasifikasi terbimbing dilakukan menggunakan perangkat lunak ENVI 5.1. Algoritma yang digunakan dalam proses klasifikasi adalah *maximum likelihood*. Kelas tutupan lahan yang dibutuhkan diantaranya yaitu badan air, semak, hutan, kebun, lahan terbuka, lahan pertanian, pemukiman dan mangrove. Hasil Klasifikasi Terbimbing dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Klasifikasi Terbimbing

- d. Pembuatan Model Genangan Tsunami

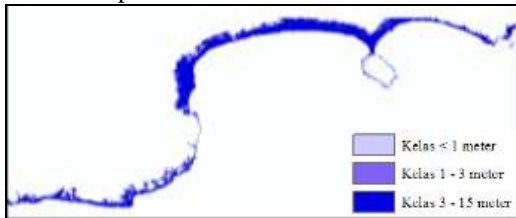
Pembuatan model genangan tsunami dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.22. Pemodelan genangan tsunami dilakukan dengan menggunakan rumus II-1. Rumus tersebut diaplikasikan menggunakan *tool raster calculator* pada perangkat lunak ArcGIS. Hasil pemodelan genangan tsunami dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pembuatan *run-up*

4. Pembentukan Kelas Genangan

Pada penelitian ini genangan tsunami dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan kedalaman terjangan tsunami di daratan. Tiga kelas tersebut yakni kelas dangkal, sedang dan dalam. Pembuatan kelas tersebut dilakukan berdasarkan Perka BNPB yakni kurang dari 1 meter, 1 – 3 meter dan lebih dari 3 meter. Hasil pembuatan kelas genangan tsunami dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pembuatan Kelas genangan Tsunami

5. Perhitungan Luas Dampak terhadap Tutupan Lahan

Perhitungan dilakukan pada tutupan lahan yang terdampak oleh tsunami. Perhitungan dilakukan menggunakan *tool tabulate area* pada ArcGIS. *Tabulate area* berfungsi untuk menghitung luas suatu data yang saling bertampalan atau *overlap* baik raster maupun vektor

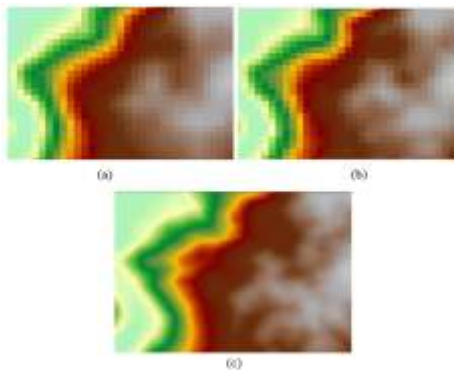
IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil dan Analisis Pengujian Kualitas DEM

Berikut merupakan pengujian DEM berdasarkan tiga parameter yang digunakan pada penelitian ini:

1. Resolusi spasial

Reolusi spasial dapat diketahui dengan melihat pada metadata yang tersedia. Perbandingan visual resolusi spasial DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR dapat dilihat pada Gambar 8.

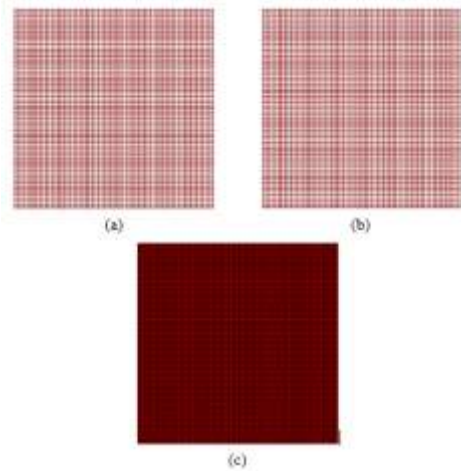


Gambar 8. Tampilan Resolusi Spasial pada DEM (a) ASTER (b) SRTM dan (c) TerraSAR

DEM ASTER yang digunakan merupakan DEM ASTER versi 2 yang memiliki resolusi spasial sebesar 30 x 30 meter dengan luas cakupan satu bagian DEM yaitu 12.285 km<sup>2</sup>. DEM SRTM juga memiliki resolusi spasial sebesar 30 x30 meter dengan luas cakupan satu bagian DEM yaitu 12.285 km<sup>2</sup>. DEM TerraSAR memiliki resolusi spasial sebesar 9 x 9 meter dengan luas cakupan satu bagian DEM yaitu 773 km<sup>2</sup>.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa DEM yang baik memiliki resolusi spasial yang tinggi dan cakupan yang luas. Pada penelitian ini DEM dengan resolusi spasial terbaik adalah DEM TerraSAR dengan resolusi spasial 9 meter namun memiliki cakupan satu bagian DEM yang relatif sempit dibanding DEM ASTER dan SRTM.

2. Kerapatan titik tinggi



Gambar 9. Kerapatan Titik (a) ASTER (b) SRTM dan (c) TerraSAR

Pada Gambar 9 dapat dilihat DEM ASTER dan SRTM memiliki kesamaan dalam kerapatan titik-titiknya. Pada DEM TerraSAR secara visual kerapatan titik-titiknya sangat rapat. Jumlah titik yang diperoleh dari DEM ASTER dan SRTM sama yakni 4.225 titik sedangkan pada DEM TerraSAR memiliki jumlah titik sebanyak 48.842 titik. Pada ketiga DEM tersebut jumlah piksel dengan luasan 400 hektar sama dengan jumlah titik tinggi yang diekstrak dari data DEM. Hal ini disebabkan karena ekstraksi satu titik tinggi diperoleh dari 1 piksel data raster DEM. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tekstur atau kerapatan titik tinggi DEM ditentukan oleh resolusi spasial, dimana DEM dengan resolusi spasial yang tinggi memiliki tekstur yang baik. DEM dengan tekstur atau kehalusan data yang paling baik yakni DEM TerraSAR.

3. Ketelitian geometrik

Pada penelitian ini ketelitian geometrik dilakukan dengan perbandingan titik tinggi pada DEM dan titik tinggi pada kontur RBI skala 1:25000 dan BM di lapangan. Tabel 2 merupakan hasil analisis dari perbandingan ketinggian dari DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR dengan titik tinggi yang dihasilkan dari kontur RBI

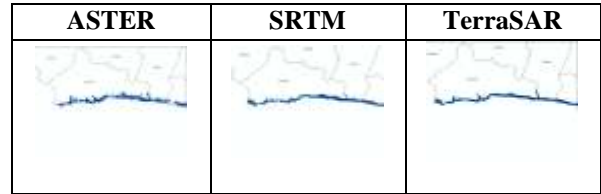
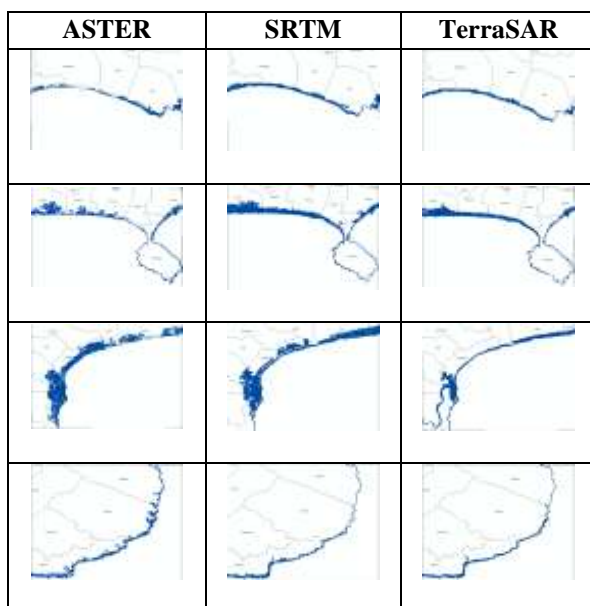
Tabel 2. Selisih Ketinggian DEM dengan Titik Tinggi

No	DEM	Selisih Tinggi dengan Kontur (m)
1	ASTER	8,677
2	SRTM	8,754
3	TerraSAR	8,638

Dari perhitungan selisih tinggi di atas dapat diketahui rata-rata selisih pada masing-masing DEM. Pada DEM ASTER rata-rata selisih sebesar 8,677 meter DEM SRTM memiliki rata-rata selisih ketinggian sebesar 8,754 meter serta pada DEM TerraSAR rata-rata selisih ketinggiannya sebesar 8,638 meter. Ketelitian data DEM (*Linier Error*) dengan tingkat kepercayaan 90 % yaitu DEM ASTER 14,316 meter, DEM SRTM 14,443 meter dan DEM TerraSAR 14,252 meter. Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa ketiga DEM tersebut baik untuk pembuatan peta dengan skala 1:100.000 kelas I dan skala 1:50.000 untuk kelas II dan kelas III.

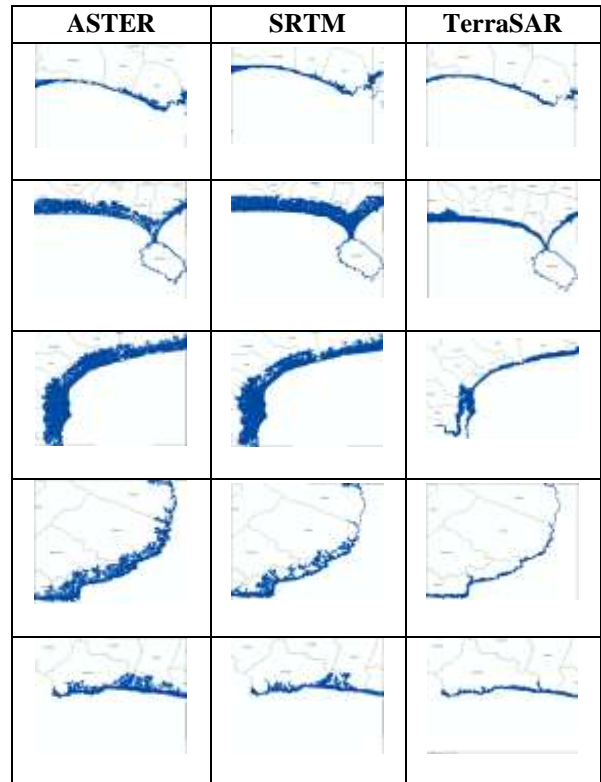
IV.2. Hasil dan Analisis Pembentukan Model Genangan Tsunami

Hasil pembuatan model genangan tsunami 8 meter dapat dilihat pada Gambar 10 dan untuk genangan tsunami 15 meter dengan skala 1:500.000 dapat dilihat pada Gambar 11.



Daerah Terdampak Tsunami

Gambar 10. Hasil Model Genangan Tsunami dengan Ketinggian Tsunami 8 meter



Daerah Terdampak Tsunami

Gambar 11. Hasil Model Genangan Tsunami dengan Ketinggian Tsunami 15 meter

Model genangan tsunami tersebut ditampilkan dari wilayah sebelah timur sampai sebelah barat pantai Pangandaran. Dari masing-masing model tsunami memiliki perbedaan bentuk genangan sehingga mempengaruhi luas dampak dan volume air yang naik ke daratan. Perbedaan bentuk genangan tersebut dipengaruhi oleh bentuk topografi masing-masing DEM yang berbeda. Perhitungan luas dan volume genangan tsunami dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas dan Volume Genangan Tsunami

Model Genangan Tsunami	Luas (Hektar)	Volume (meter <sup>3</sup> )
ASTER 8 meter	1600,98	85.430.700
SRTM 8 meter	1703,02	102.739.500
TerraSAR 8 meter	1348,59	81.788.535
ASTER 15 meter	4279,23	367.331.400
SRTM 15 meter	4027,33	375.849.900
TerraSAR 15 meter	2025,35	205.529.157

Berikut analisis masing-masing model genangan tsunami berdasarkan DEM yang digunakan:

1. DEM ASTER

Secara visual model genangan yang dibentuk menggunakan DEM ASTER cukup baik. Namun terdapat banyak lubang di daerah dekat pantai, hal ini disebabkan karena pada DEM ASTER terdapat banyak bukit yang menyebabkan genangan tsunami tidak dapat mencapainya. Pada model genangan 8 meter dampaknya sebesar 1,42 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan desa yang terkena dampak terluas ada di Desa Karangjaladri yaitu seluas 242,01 hektar. Sedangkan pada model genangan 15 meter dampaknya sebesar 3,8 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan dampak terluas ada di Desa Legokjawa yaitu seluas 622,75 hektar.

2. DEM SRTM

Secara visual model *run-up* model genangan yang dibentuk menggunakan DEM SRTM cukup baik, dimana model tersebut tidak terdapat banyak lubang. Pada model genangan 8 meter dampaknya sebesar 1,51 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan desa yang terkena dampak terluas ada di Desa Sukaresik yaitu seluas 218 hektar. Sedangkan pada model genangan 15 meter dampaknya sebesar 3,58 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan dampak terluas ada di Desa Legokjawa yaitu seluas 473,29 hektar.

3. DEM TerraSAR

Secara visual model genangan yang dibentuk menggunakan DEM TerraSAR merupakan model yang baik, karena model ini memiliki visual yang halus. Pada model genangan 8 meter dampaknya sebesar 1,19 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan desa yang terkena dampak terluas ada di Desa Sukaresik yaitu seluas 158,65 hektar. Sedangkan pada model genangan 15 meter dampaknya sebesar 1,8 % dari luas wilayah Kabupaten Pangandaran dan dampak terluas ada di Desa Sukaresik yaitu seluas 213,92 hektar.

Desa yang memiliki genangan tsunami yang luas terjadi karena memiliki kelandaian permukaan tanahnya dan tutupan lahan dengan koefisien kekasaran yang rendah. Khusus pada Desa Sukaresik luasnya genangan juga disebabkan karena terdapat sungai yang cukup lebar di wilayahnya.

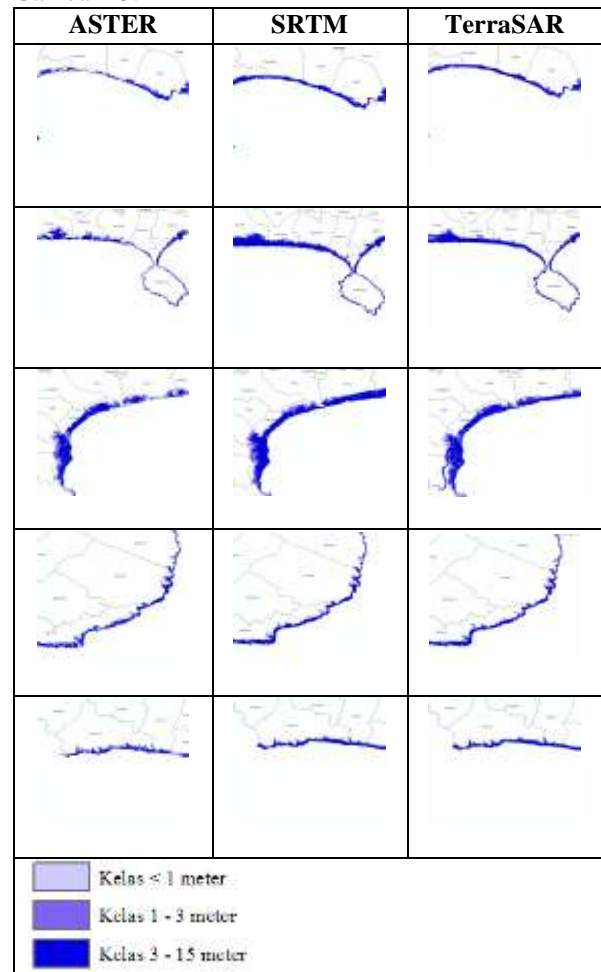
Dari Tabel IV-7 dapat dilihat bahwa volume genangan pada model 8 meter untuk semua DEM berbanding lurus dengan luas genangan yang artinya semakin luas genangan maka volumenya semakin tinggi. Pada model genangan 15 meter volume genangan tidak berbanding lurus terutama pada model DEM ASTER dengan SRTM. Luas genangan tsunami DEM ASTER lebih luas dibandingkan model genangan tsunami SRTM namun volumenya lebih rendah. Hal ini terjadi karena DEM ASTER memiliki

profil yang lebih landai sehingga terdapat lebih banyak genangan yang dangkal, dimana genangan dangkal memiliki volume yang rendah.

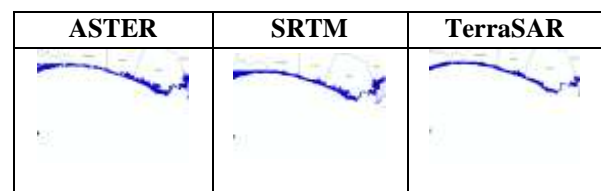
Pembentukan model genangan tsunami sangat dipengaruhi oleh resolusi pada setiap data. Semakin baik resolusi pada data yang digunakan maka semakin halus hasil pembentukan model genangan tsunaminya. Sehingga secara visual model genangan tsunami yang dibentuk dari DEM TerraSAR merupakan model genangan terbaik.

IV.3. Hasil dan Analisis Pembentukan Kelas Genangan Tsunami

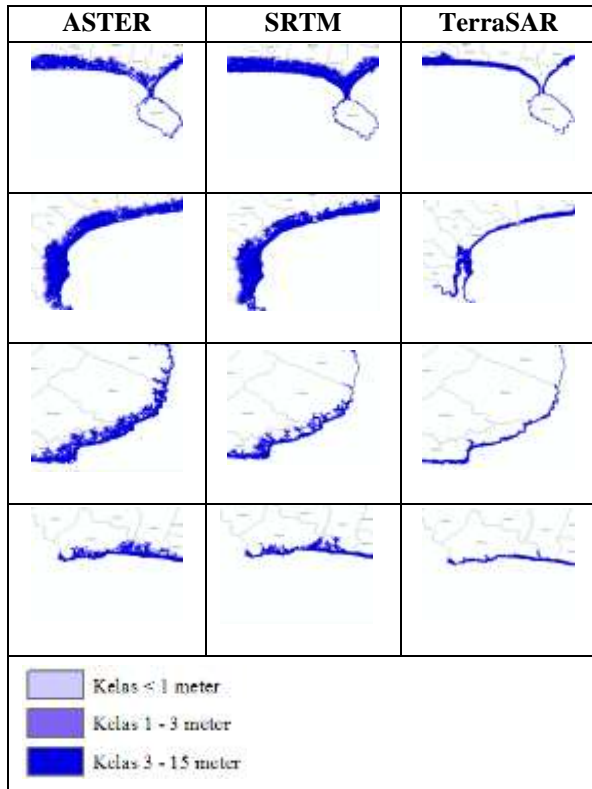
Hasil pembentukan kelas genangan dengan *run-up* 8 meter dapat dilihat pada Gambar 12 dan *run-up* 15 meter dengan skala 1:500.000 dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Hasil Pembagian Kelas Genangan Tsunami dengan Ketinggian Tsunami 8 meter







Gambar 13. Hasil Pembagian Kelas Genangan Tsunami dengan Ketinggian Tsunami 15 meter

Pada pembentukan kelas genangan tsunami pada *run-up* 8 dan 15 meter didominasi oleh kelas dalam yakni lebih dari 3 meter. Persentase kelas genangan tsunami berdasarkan data DEM dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase Kelas Genangan

Model Genangan Tsunami	Kelas Genangan Tsunami (%)		
	Dangkal	Sedang	Dalam
ASTER 8 meter	5,12	13,91	80,96
SRTM 8 meter	2,14	7,54	90,32
TerraSAR 8 meter	3,24	7,77	88,99
ASTER 15 meter	3,98	8,42	87,61
SRTM 15 meter	3,54	7,46	89,00
TerraSAR 15 meter	3,81	7,93	88,26

#### IV.4. Hasil dan Analisis Kerugian Genangan Tsunami terhadap Tutupan Lahan

Perhitungan luas dampak tsunami terhadap tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 5 untuk *run-up* 8 meter dan Tabel 6 untuk *run-up* 15 meter.

Tabel 5. Kerugian Tsunami terhadap Tutupan Lahan *run-up* Tsunami 8 meter

Tutupan Lahan	ASTER (Ha)	SRTM (Ha)	TerraSAR (Ha)
Badan Air	150,18	180,81	186,55
Hutan	36,23	38,72	7,93
Kebun	201,19	193,88	73,64
Lahan Terbuka	469,61	658,30	686,18
Mangrove	107,46	83,54	9,3

Tabel 5. Kerugian Tsunami terhadap Tutupan Lahan *run-up* Tsunami 8 meter (Lanjutan)

Tutupan Lahan	ASTER (Ha)	SRTM (Ha)	TerraSAR (Ha)
Lahan Terbangun	401,72	394,52	366,18
Lahan Pertanian	139,88	110,05	13,45
Semak	94,69	43,01	5,35
Total	1600,98	1702,83	1348,59

Luas maksimum dampak genangan tsunami terhadap tutupan lahan untuk ketinggian tsunami 8 meter pada ketiga DEM yaitu terdapat pada lahan terbuka. Hal ini disebabkan karena wilayah Pantai Pangandaran merupakan lahan terbuka berpasir yang biasanya digunakan untuk wisata pantai di Kabupaten Pangandaran. Dari ketiga model tersebut yang memiliki dampak terhadap lahan terbuka terluas yaitu DEM TerraSAR. Hal ini disebabkan model genangan yang dibentuk berdasarkan DEM TerraSAR tidak terdapat lubang pada model genangan tsunami di daerah pantainya. Luas minimum tutupan lahan pada model genangan tsunami DEM ASTER dan SRTM yaitu hutan, dimana kelas tersebut terdapat di dekat pantai namun memiliki elevasi yang tinggi sehingga hutan yang terkena dampak tsunami sedikit. Untuk DEM TerraSAR tutupan lahan yang terkena dampak minimum yakni semak, dimana pada DEM TerraSAR semak yang banyak terdapat di bagian pesisir Kabupaten Pangandaran memiliki elevasi yang melebihi tinggi tsunami.

Tabel 6. Kerugian Tsunami terhadap Tutupan Lahan *run-up* Tsunami 15 meter

Tutupan Lahan	ASTER (Ha)	SRTM (Ha)	TerraSAR (Ha)
Badan Air	194,33	206,18	197,51
Hutan	184,03	182,62	29,65
Kebun	545,13	557,02	230,28
Lahan Terbuka	655,94	709,13	707,86
Mangrove	594,34	468,53	116,28
Lahan Terbangun	984,26	1053,30	592,69
Lahan Pertanian	463,61	414,74	101,14
Semak	657,75	435,43	49,95
Total	4279,36	4026,95	2025,35

Luas maksimum dampak tutupan lahan untuk ketinggian tsunami 15 meter pada DEM ASTER dan SRTM terdapat pada lahan terbangun. Pada model genangan tsunami 15 meter berdasarkan kedua DEM tersebut terlihat sangat jauh dari garis pantai. Terjangkan tsunami dengan tinggi 15 meter tersebut mencapai daerah lahan terbangun yang terdiri dari pemukiman, hotel, pertokoan dan kantor pemerintahan, dimana lahan terbangun merupakan tutupan lahan yang mendominasi disekitar wilayah Pantai Pangandaran. Luas maksimum pada DEM TerraSAR terdapat pada lahan terbuka, dapat dilihat pada Gambar IV-15 bahwa model genangan tsunami

berdasarkan DEM TerraSAR merupakan model yang paling sempit. Sehingga pada model genangan tersebut air yang mencapai daerah lahan terbangun tidak banyak tidak seperti model yang dibentuk berdasarkan DEM ASTER dan SRTM. Untuk luas dampak genangan tsunami minimum ketiga DEM terdapat pada hutan.

## V. Kesimpulan dan Saran

### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis ketelitian DEM terhadap tiga parameter yang digunakan, dapat disimpulkan sebagai berikut:
  - a. Resolusi spasial  
Hasil analisis spasial dari data DEM menyatakan bahwa DEM TerraSAR merupakan yang terbaik dengan resolusi 9 meter, kemudian DEM ASTER dan SRTM dengan resolusi 30 meter.
  - b. Kerapatan titik tinggi  
Hasil analisis kerapatan titik tinggi pada luas 400 hektar menyatakan bahwa DEM TerraSAR merupakan DEM dengan kerapatan titik yang sangat rapat yaitu 48.842 titik sedangkan pada DEM SRTM dan ASTER memiliki 4.225 titik.
  - c. Ketelitian geometrik (elevasi)  
Hasil analisis elevasi DEM terhadap elevasi BM dan kontur menyatakan bahwa DEM TerraSAR merupakan DEM terbaik dengan rata-rata selisih ketinggian sebesar 8,638 meter, kemudian DEM ASTER 8,677 meter dan yang terakhir DEM SRTM yang memiliki rata-rata selisih ketinggian sebesar 8,754 meter.
2. Hasil model genangan tsunami yang disimulasikan berdasarkan DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR memiliki banyak perbedaan baik dari kedalaman tsunami maupun luas dampak. Berdasarkan pemodelan yang dibentuk, diperoleh luas terdampak yang dihasilkan model genangan dari DEM ASTER untuk tinggi tsunami 8 dan 15 meter yaitu 1600,98 dan 4279,23 hektar, model genangan dari DEM SRTM untuk tinggi tsunami 8 dan 15 meter yaitu 1703,02 dan 4027,33 hektar serta model genangan dari DEM TerraSAR yaitu 1348,59 dan 2025,35 hektar. Pada model genangan 8 meter besarnya volume dan luas berbanding lurus, namun pada model genangan 15 meter besarnya volume dan luas tidak berbanding lurus pada DEM ASTER dan SRTM. Dari hasil perbandingan tersebut menyatakan bahwa model tsunami dari DEM TerraSAR yang terbaik baik secara visual maupun kemiripan genangan di lapangan. Kehalusan model secara visual disebabkan karena pembentukan model genangan tsunami

sangat dipengaruhi oleh resolusi spasial yang digunakan. Kemiripan model ditunjukkan pada model genangan dengan *run-up* 15 meter yaitu kedalaman genangan tsunami model mendekati nilai kedalaman pada titik validasi. Pada model memiliki kedalaman 1,5 meter sedangkan pada titik validasi memiliki kedalaman 3 meter.

3. Kelas genangan dibentuk menjadi tiga kelas yakni kelas dangkal kurang dari 1 meter, kelas sedang 1 – 3 meter dan kelas dalam lebih dari 3 meter. Dari semua model yang dibentuk berdasarkan DEM ASTER, SRTM dan TerraSAR memiliki dominasi pada kelas lebih dari 3 meter yakni lebih dari 80 % dari daerah yang terdampak tsunami.
4. Dampak bencana tsunami terhadap tutupan lahan dibagi menjadi dua yaitu model *run-up* 8 dan 15 meter. Untuk model tsunami dengan *run-up* 8 meter yang paling luas terkena dampak yakni lahan terbuka seluas 469,61 hektar untuk DEM ASTER, 658,30 hektar untuk DEM SRTM dan 686,18 hektar untuk DEM TerraSAR. Untuk model tsunami dengan *run-up* 15 meter yang paling luas terkena dampak yakni lahan terbangun untuk DEM ASTER dan SRTM dengan luas 984,26 dan 1053,30 hektar sedangkan DEM TerraSAR yang paling luas terkena dampak adalah lahan terbuka dengan luas 707,86 hektar. Hal ini disebabkan karena model dari DEM TerraSAR penetrasi terhadap daratan tidak sejauh kedua DEM lainnya pada model *run-up* 15 meter.

### V.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mulai tahap persiapan hingga analisis hasil dapat diambil beberapa saran. Saran yang diberikan peneliti terkait pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

1. Pembuatan model tsunami sebaiknya dibuat dengan lebih lengkap seperti parameter kecepatan dan data batimetri sehingga menghasilkan model tsunami yang baik.
2. Pembuatan model tsunami sebaiknya dibuat menggunakan perangkat lunak pemodelan tsunami seperti TURMINA dan TUNAMI, kedua perangkat lunak tersebut dapat mensimulasikan genangan tsunami secara 3D yang bergerak dari arah laut menuju daratan sehingga dapat lebih baik secara visual dan akan memudahkan dalam tahap analisis.
3. Hasil pemodelan genangan tsunami dapat dikembangkan analisisnya terhadap berbagai aspek seperti mitigasi bencana (pembuatan rute evakuasi dan peta kerentanan bencana tsunami), parameter kesesuaian lahan untuk pembangunan daerah pantai, simulasi kerugian bencana tsunami dan aspek lainnya.
4. Sebaiknya menggunakan metode validasi model genangan tsunami yang lebih baik seperti menggunakan data sekunder, namun sebelum melakukan penelitian sebaiknya

mengecek ketersediaan kelengkapan data terlebih dahulu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hertanto, H. B. 2012. *Lempeng Tektonik di Indonesia*. <http://geoenviron.blogspot.co.id/2012/09/lempeng-tektonikindonesia.html>. Diakses pada tanggal 11 Agustus 2017.
- Badan Informasi Geospasial. 2013. *Peraturan Pemerintah no. 8 Tahun 2013 tentang Ketelitian Peta Rencana Tata Ruang*. Bogor: Badan Informasi Geospasial.
- Berryman, K. 2006. *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*. New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Science. Lower Hutt.
- Firmansyah, S. 2012. *Indeks Kerentanan Pantai Pangandaran Akibat Bencana Tsunami*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hanifah, N.R.; E. Djunarsjah; K. Wikantika. 2004. *Reconstruction of Maritim Boundary Between Indonesia and Singapore Using Landsat-ETM Satellite Image*. Jakarta: 3rd FIG Regional Conference.
- Latief, H. 2013. *Pedoman Teknik Pembuatan Peta Bahaya Rendaman Tsunami*. Bandung: Pusat Penelitian Mitigasi Bencana Institut Teknologi Bandung.
- Tempfli, K. 1991. *DTM and differential modeling*. Dalam Suharyadi, R., Sapta, B., Purwanto, T.H., Rosyadi. R.I., Farda, N.M., Wijaya, M.S., 2012. *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Geografis: Pemodelan Spatial*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Vyraswana. 2013. *Klasifikasi Citra Digital*. <http://vyraswana.blogspot.co.id/2013/03/klasifikasi-citra-digital-envi-45.html>. Diakses pada tanggal 11 April 2017.