

# KAJIAN GENANGAN BAHAYA TSUNAMI DI KAWASAN PANTAI PALABUHANRATU, GEOPARK CILETUH

## *INUNDATION STUDY OF TSUNAMI HAZARDS IN THE PALABUHANRATU COASTAL AREA, CILETUH GEOPARK*

Ferdian Budi Ar-rouf<sup>1</sup>, Mega Fatimah Rosana<sup>2</sup>, dan Cipta Endyana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung - Sumedang KM  
21, Jatinangor, Jawa Barat 45363

ferdian20001@mail.unpad.ac.id, mega.fatimah.rosana@unpad.ac.id, cipta.endyana@unpad.ac.id,

Diterima : 19-03-2022, Disetujui : 01-07-2022

### ABSTRAK

Daerah Selat Sunda masuk dalam segmentasi Sumatera dan Jawa dari Busur Sunda, yang memiliki karakteristik sangat aktif dalam aktivitas vulkanik, kegempaan, dan pergerakan tektonik. Patahan naik busur Sunda menimbulkan gempa bumi yang kuat hingga 8.8Mw yang dapat memicu tsunami. Kawasan Palabuhanratu masuk dalam kategori yang terdampak dalam bahaya tsunami dari Busur Sunda. Kajian pembuatan peta zona bahaya *genangan* tsunami model ketinggian 5 meter, 10 meter, dan 30 meter berdasarkan periode ulang tsunami dikawasan Selat Sunda. Metode penelitian dengan menggunakan data sekunder dari NASA yaitu ASTER GDEM untuk menunjukkan elevasi dan Sentinel 2B untuk menunjukkan penggunaan lahan. *Tools* Pengolahan data citra satelit dengan Software QGIS. Hasil kajian menunjukkan bahwa bahaya *genangan* tsunami dengan ketinggian 5 meter memiliki luasan keterpaparan 113,65 ha, 10 meter keterpaparan 720,27 ha, dan 30 meter sebesar 1531.78 ha. Dengan cakupan desa yang terdampak Citepus, Palabuhanratu, Jayanti, Citarik dan Tonjong.

**Kata kunci:** Geopark Ciletuh, bahaya tsunami, zona *run-up*, pembangunan berkelanjutan

### ABSTRACT

*The Sunda Strait belongs to the Sumatra and Java segmentation of the Sunda Arc. It has very active volcanic activities, earthquakes, and tectonic movement. The Sunda arc fault causes strong earthquakes up to 8.8 Mw, triggering tsunami occurrence. Pelabuhan Ratu becomes a too-affected area of tsunami hazard from Sunda Arc. This review analyzed the mapping for tsunami run-up hazard zone with height models of 5 meters, 10 meters, and 30 meters based on the return period of the tsunami in Sunda Strait. This research used ASTER GDEM and Sentinel 2B as secondary data from NASA to show elevation and land use, respectively. Satellite image processing has been done using QGIS software. Study results show that tsunami run-up hazard with a height of 5, 10, and 30 meters has affected 113,65 ha, 720,27 ha, and 1531,78 ha, respectively. Affected area of that hazard are Citepus, Palabuhanratu, Jayanti, Citarik and Tonjong.*

**Keyword:** Ciletuh Geopark, tsunami hazard, run-up zone, sustainable development.

## PENDAHULUAN

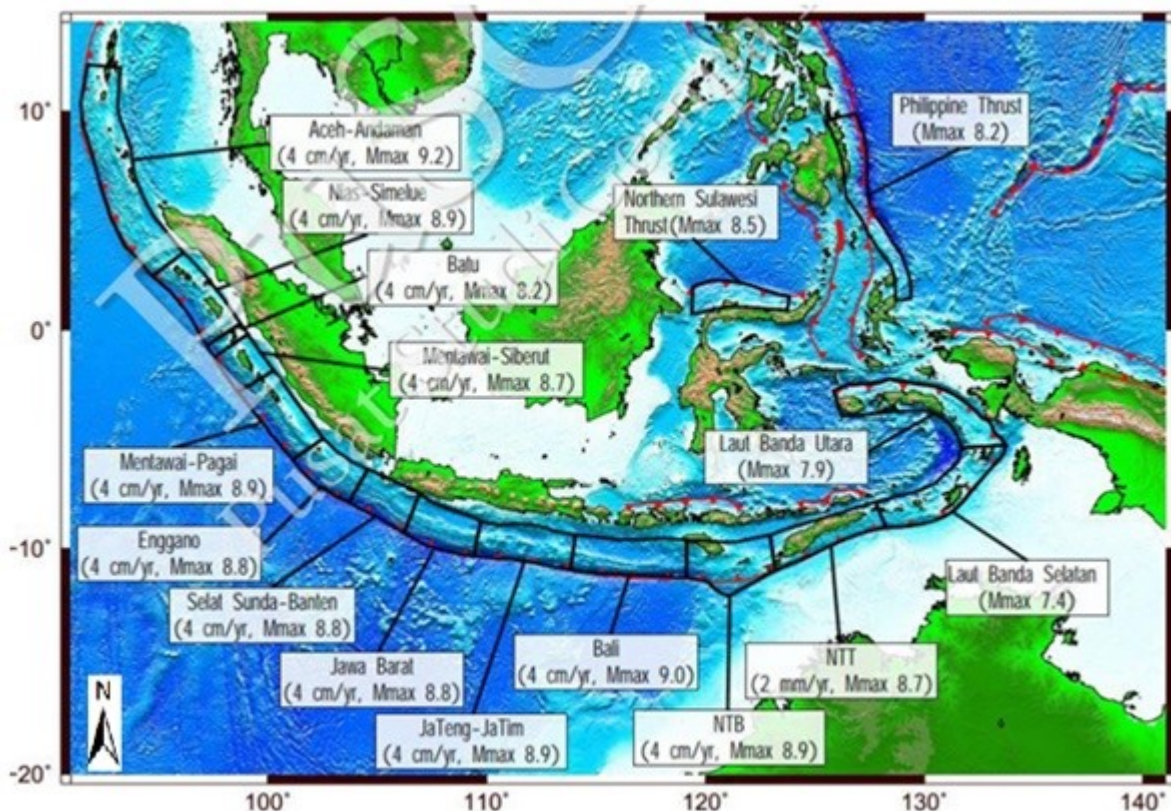
Kawasan Selat Sunda terletak pada kawasan transisi antara segmen Sumatera dan Jawa dari Busur Sunda, yang diindikasikan masuk dalam daerah sangat aktif dalam aktivitas vulkanik, kegempaan dan pergerakan tektonik secara vertikal. Tahun 1883 terjadi letusan Gunung Krakatau yang memicu tsunami di pesisir Lampung bagian selatan dan dua pertiga bagian bagian utara Gunung hancur. Secara historis telah terjadi tiga gempa bumi besar pada zona ini, Pada tahun 1840, 1867 dan 1875 (RIPB,2018).

*Megathrust* Busur Sunda yang berpeluang tinggi menimbulkan gempabumi kuat dan tsunami adalah *megathrust* Busur Sunda segmen Enggano-Selat Sunda dan *megathrust* Busur Sunda segmen Selatan Bali. Kota – kota yang terletak di pesisir pantai seperti Singkil, Tapaktuan, Meulaboh, Pariaman, Padang, Painan, Bengkulu, Manna, Bintuhan, Krui, Ujungkulon, Palabuhanratu, Sindangbarang, Garut Selatan, Tasikmalaya Selatan dan Pangandaran, Cilacap, Kebumen Selatan, Yogyakarta, Pacitan, Tulungagung Selatan, Malang Selatan, Lumajang Selatan, Banyuwangi Selatan, Bali – Lombok dan Sumbawa Selatan dianjurkan memiliki peta mikrozonasi potensi bencana gempa bumi dan peta potensi bahaya tsunami (Memed, dkk 2019). *Megathrust* Busur Sunda mengakibatkan skala kegempaan yang cukup besar dapat dilihat pada gambar 1.

Kecamatan Palabuhanratu merupakan salah satu tempat tujuan wisata pantai yang ramai dikunjungi turis dan masuk dalam kategori wisata andalan Geopark Ciletuh Palabuhanratu, Kawasan ini mampu menunjang perekonomian daerah tersebut. Namun di sisi lain Kabupaten Sukabumi masuk dalam potensi bahaya tsunami dalam kawasan selat Sunda. Tabel 1., menunjukkan bahwa dalam potensi keterpaparan bahaya Tsunami *Megathrust* Selat Sunda, Kabupaten Sukabumi masuk dalam potensi yang memiliki kerugian bersama dengan sepuluh kaupaten atau kota yang lainnya.

Busur sunda dibagi menjadi dua yaitu busur Sunda Tunjaman asimetri miring antara Lempeng Tektonik Aktif Samudra Indo-Australia dengan Lempeng Tektonik Aktif Benua Eropa-Asia di lepas pantai sebelah barat Pulau Sumatera dan Busur Sunda Tunjaman asimetri tegak di sebelah selatan Pulau Jawa dan Kepulauan Busa Tenggara. Berdasarkan bentuk geometri dan dimensi zona tunjaman, sebaran *episenter* dan *hiposenter* menunjukkan bahwa pada kawasan segmen Palabuhanratu – Pangandaran gempa bumi kuat pernah terjadi tahun 1903 dengan kekuatan 8.8 Mw, dengan kedalaman dangkal dengan mekanisme patahan naik.

Bahaya tsunami akibat pergerakan sesar dibawah laut dapat dibuatkan peta bahaya tsunaminya atau *tsunami-hazard map*. Peta ini diperlukan untuk kepentingan jalur evakuasi dalam sistem peringatan dini dan juga untuk mitigasi tsunami pada penataan ruang dan



Gambar 1 Segmentasi Megathrust Peta Gempa Nasional 2017 (Pusat Studi Gempa Nasional Indonesia PUSGEN, 2017)

Tabel 1. Potensi kerugian dan keterpaparan Fisik, Ekonomi, Jiwa, dan Lingkungan di Pulau Jawa Bali tahun 2015, 2030, dan 2045 (RIPB,2018).

No.	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Jiwa Terpapar (X1000 Jiwa)			Kerugian Fisik (Rp Miliar)			Kerugian Ekonomi (Rp Miliar)			Kerusakan Lingkungan (X1000 Ha)		
			2015	2030	2045	2015	2030	2045	2015	2030	2045	2015	2030	2045
1	Bali	Kota Denpasar	26.67	30.61	33.55	2,515.63	2,886.72	3,164.34	2.08	2.38	2.61	0.10	0.11	0.12
2	Jawa Tengah	Cilacap	86.15	93.74	100.95	2,664.11	2,898.98	3,121.92	352.14	383.18	412.65	0.98	1.07	1.15
3	Jawa Timur	Banyuwangi	97.74	103.35	110.03	2,669.64	2,822.87	3,005.44	273.45	289.15	307.85	0.94	0.99	1.06
4	DKI Jakarta	Kepulauan Seribu	15.21	16.90	18.21	839.30	932.66	1,004.88	591.82	657.65	708.58	0.06	0.07	0.07
5	Banten	Pandeglang	107.37	136.52	153.11	524.46	666.88	747.92	181.01	230.16	258.13	1.00	1.27	1.42
6	Bali	Buleleng	56.87	65.25	71.53	419.46	481.33	527.62	91.41	104.89	114.98	0.16	0.18	0.19
7	Jawa Barat	Sukabumi	43.34	51.21	56.38	352.23	416.20	458.16	98.93	116.89	128.68	0.03	0.04	0.04
8	Banten	Kota Cilegon	13.31	16.93	18.99	272.64	346.68	388.80	0.76	0.97	1.08	0.01	0.01	0.02
9	Jawa Timur	Pacitan	9.97	10.54	11.22	280.75	296.86	316.06	42.43	44.86	47.76	0.00	0.00	0.00
10	Jawa Barat	Pangandaran	20.72	24.48	26.95	186.99	220.95	243.23	31.71	37.46	41.24	0.08	0.10	0.11

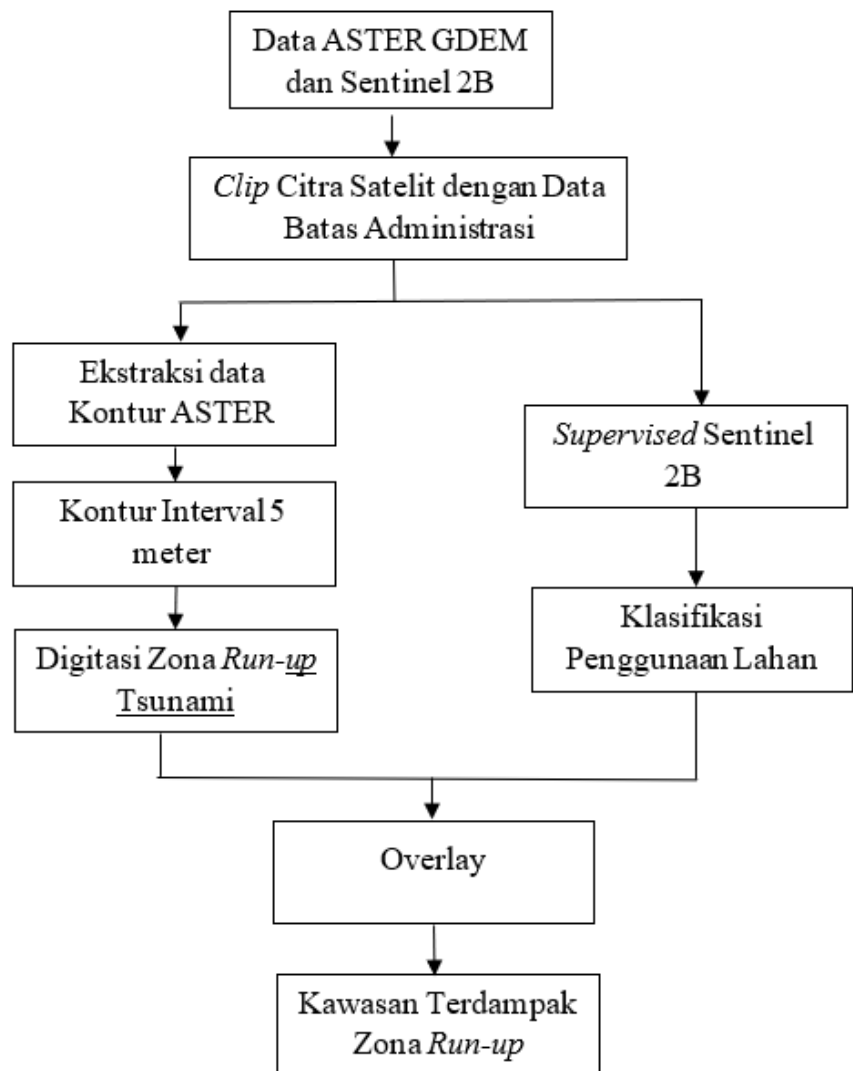
desain konstruksi tahan tsunami (Indonesian Institute of Sciences and Natawidjaja, 2021). Oleh karenanya diperlukan pembuatan peta *run-up* genangan tsunami di kawasan pantai Palabuhanratu sebagai acuan dalam perencanaan pembanugnan, serta pengurangan risiko bencana tsunami yang lebih efektif, efisien, dan terpadu agar dapat menekan dampak kerugian yang mungkin terjadi.

Tujuan dalam pembuatan peta zona bahaya *run-up* tsunami adalah untuk menjadi acuan dalam proses perencanaan pembangunan di Kecamatan Palabuhanratu dalam menanggulangi dan menghitung dampak resiko kerugian yang mungkin terjadi.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari data Citra Satelit Sentinel 2B dan ASTER GDEM . Dua data citra satelit ini diunduh melalui web <https://search.earthdata.nasa.gov/> dengan kategori data ASTGTMV003\_S7E106 untuk citra satelit ASTER GDEM, dan S2B\_MSIL1C\_20191116T025959\_N0208\_R032\_T48MXT\_20191116T063140 untuk Sentinel 2B.

Pemrosesan data penelitian ini seluruhnya menggunakan software



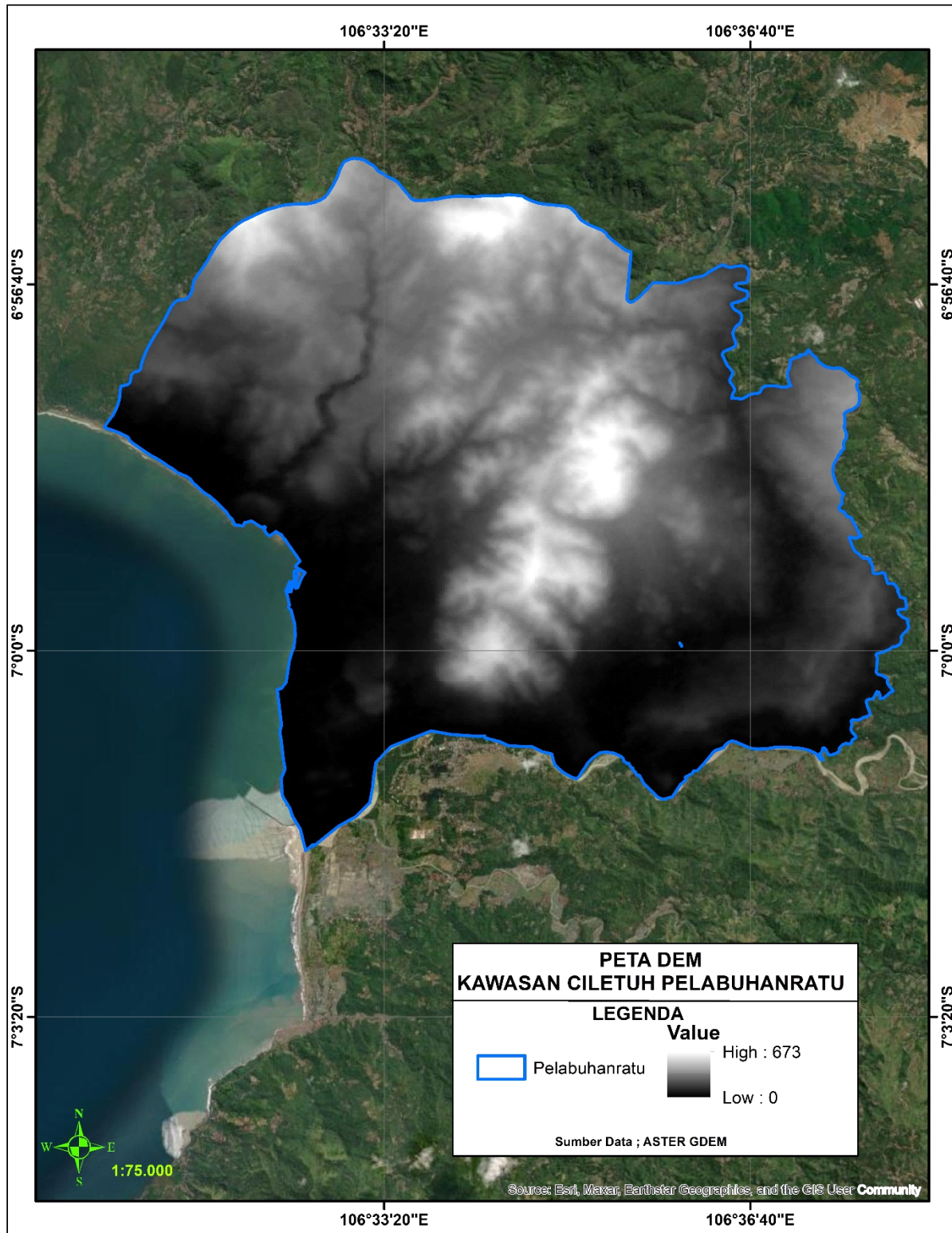
Gambar 2. Skema alur metode penelitian.



QGIS. Dimulai dari melakukan *clip* data citra satelit dengan batas wilayah administrasi, ekstraksi data DEM menjadi kontur, klasifikasi *Supervised* sentinel 2B hingga menentukan kawasan terdampak zona *run-up* tsunami. Skema alur pengolahan data dapat dilihat pada gambar 2.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif dan kuantitatif. Metode analisis

kualitatif diterapkan untuk menganalisis informasi data non numerik dengan menggunakan analisis deskripsi berdasarkan pengolahan Overlay data sekunder dan hasil dari peta Digitasi. Sedangkan untuk metode analisis kuantitatif diterapkan untuk menganalisis data yang tersaji dalam bentuk angka dalam informasi bentuk peta spasial. Untuk mencapai tujuan tersebut, Teknik



Gambar 3 Peta *Digital Elevation Model* (DEM) Kawasan Palabuhanratu.



Pengindraan jauh dan Sistem Informasi Geografi sangat efektif dan efisien dalam komponen analisis bencana (Purbani *et al.*, 2012).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tsunami terjadi akibat gempa tektonik yang besar didalam laut yang mengakibatkan patahan vertical memanjang, sehingga permukaan air laut surut secara cepat. Kemudian air laut dikeluarkan kembali setelah patahan mencapai keseimbangan. (Ilyas, 2006). Penelitian tentang kajian genangan tsunami di wilayah pesisir Indonesia bahwa periode ulang ketinggian tsunami pada interval 100 tahun, 500 tahun dan 2500 tahun. Untuk wilayah Sukabumi khususnya *Pelabuhanratu* Jawa Barat, potensi ketinggian genangan periode ulang 100 tahun setinggi 3,47 meter, periode ulang 500 tahun 9,66 meter, dan periode ulang 2500 tahun 29,51 meter (Horspool *et al.*, 2013). Maka dibutuhkan analisis *genangan* bahaya tsunami kawasan *Pelabuhanratu* dengan ketinggian 5 meter, 10 meter, dan 30 meter.

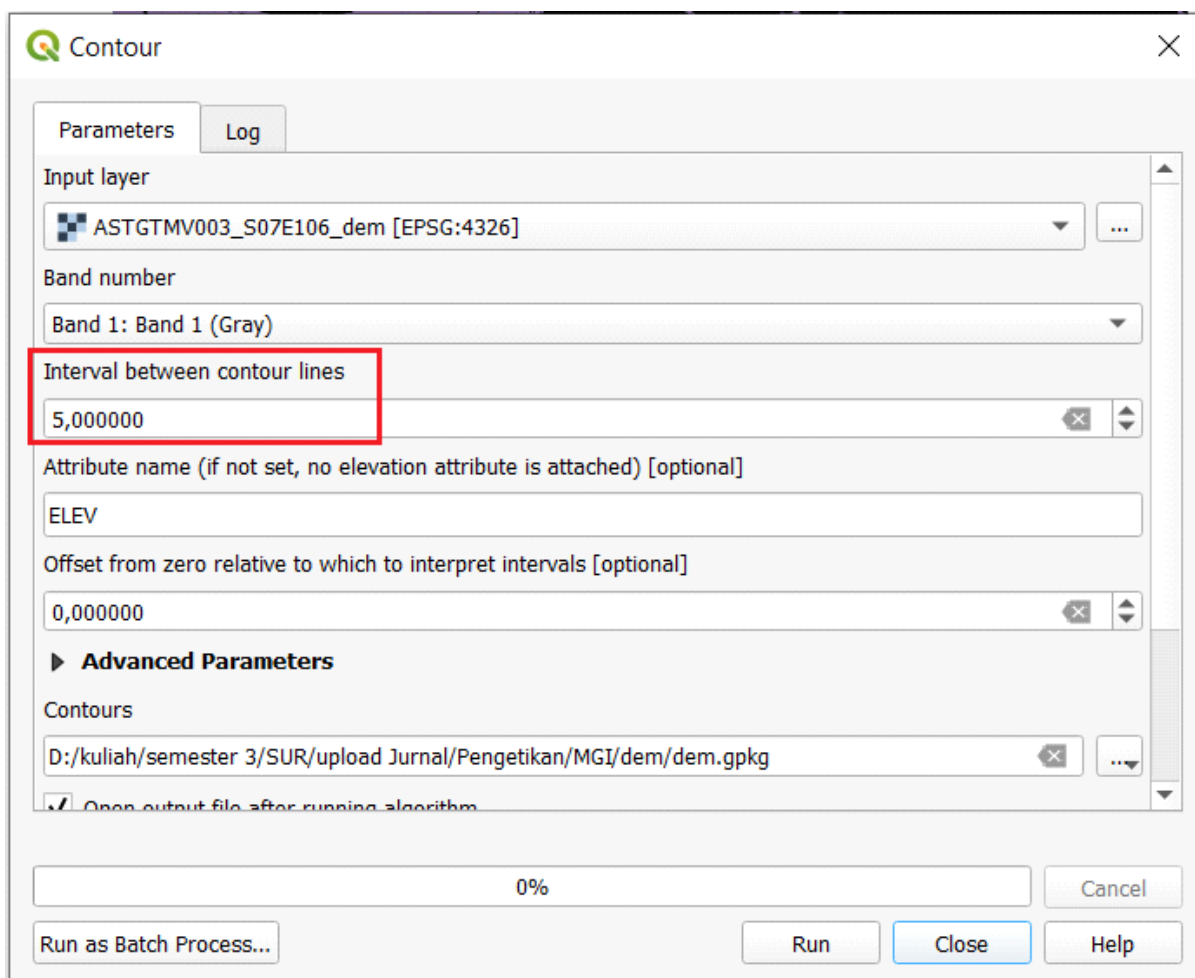
Kawasan Palabuhanratu memiliki keanekaragaman topografi, dari dataran rendah hingga dataran perbukitan dengan kerapatan penduduk yang relatif tinggi. Dataran rendah yang berada di sepanjang pantai menjadi faktor

yang menyebabkan kerawanan bencana tsunami (Pramana, 2015).

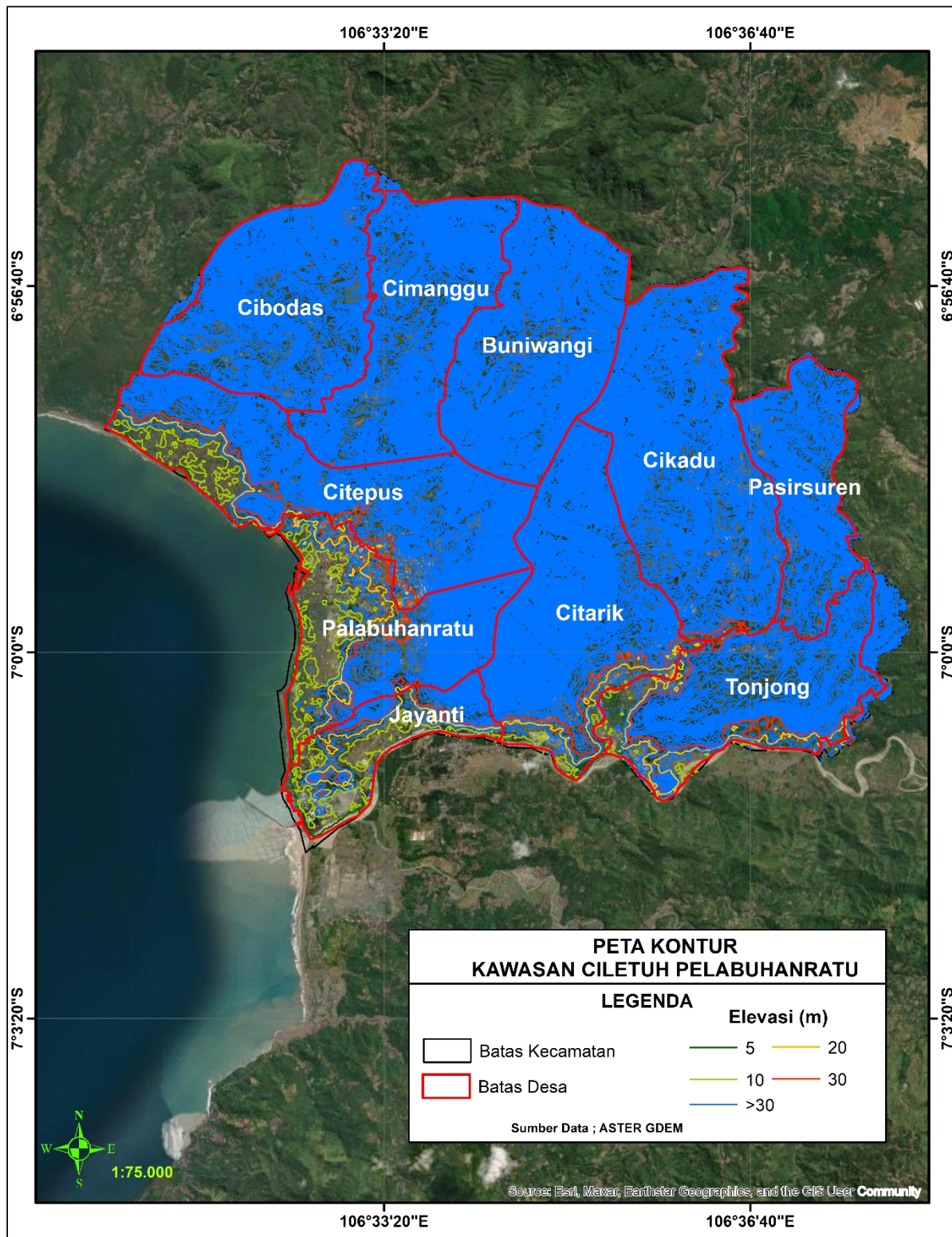
Pengelolaan pertama data ASTER GDEM diambil dari Earth Data Open Acces For Open Science milik NASA. Data yang dihasilkan seperti pada gambar 3.

Dari data DEM dapat dilihat secara visual bahwa Kawasan Palabuhanratu memiliki topografi yang beragam. Daerah ketinggian dapat dilihat semakin putih, dan daerah yang rendah memiliki warna yang semakin gelap. Data ketinggian diperoleh dari ekstraksi data DEM menjadi data kontur. Pengelolaan dalam ekstraksi data DEM menjadi kontur menggunakan software QGIS. Tahap pengelolaan data di QGIS dimulai dari memasukkan data DEM ke layer. Dilanjutkan dengan klik Raster – Extraction – Contour dan mengubah menjadi angka 5 pada *Interval Countour*, Seperti pada gambar 4, dan hasil dari pemrosesan dapat dilihat pada gambar 5.

Data peta kontur menunjukkan daerah dengan elevasi 5 meter dengan garis hijau tua. Untuk ketinggian 10 meter berwarna hijau muda, serta bahaya *run-up* 30 meter ditunjukkan dengan garis kontur warna merah. Sedangkan untuk elevasi yang lebih dari 30 meter ditunjukkan pada garis warna biru. Tahapan dalam pengelolaan data



Gambar 4. Pengaturan kontur interval.



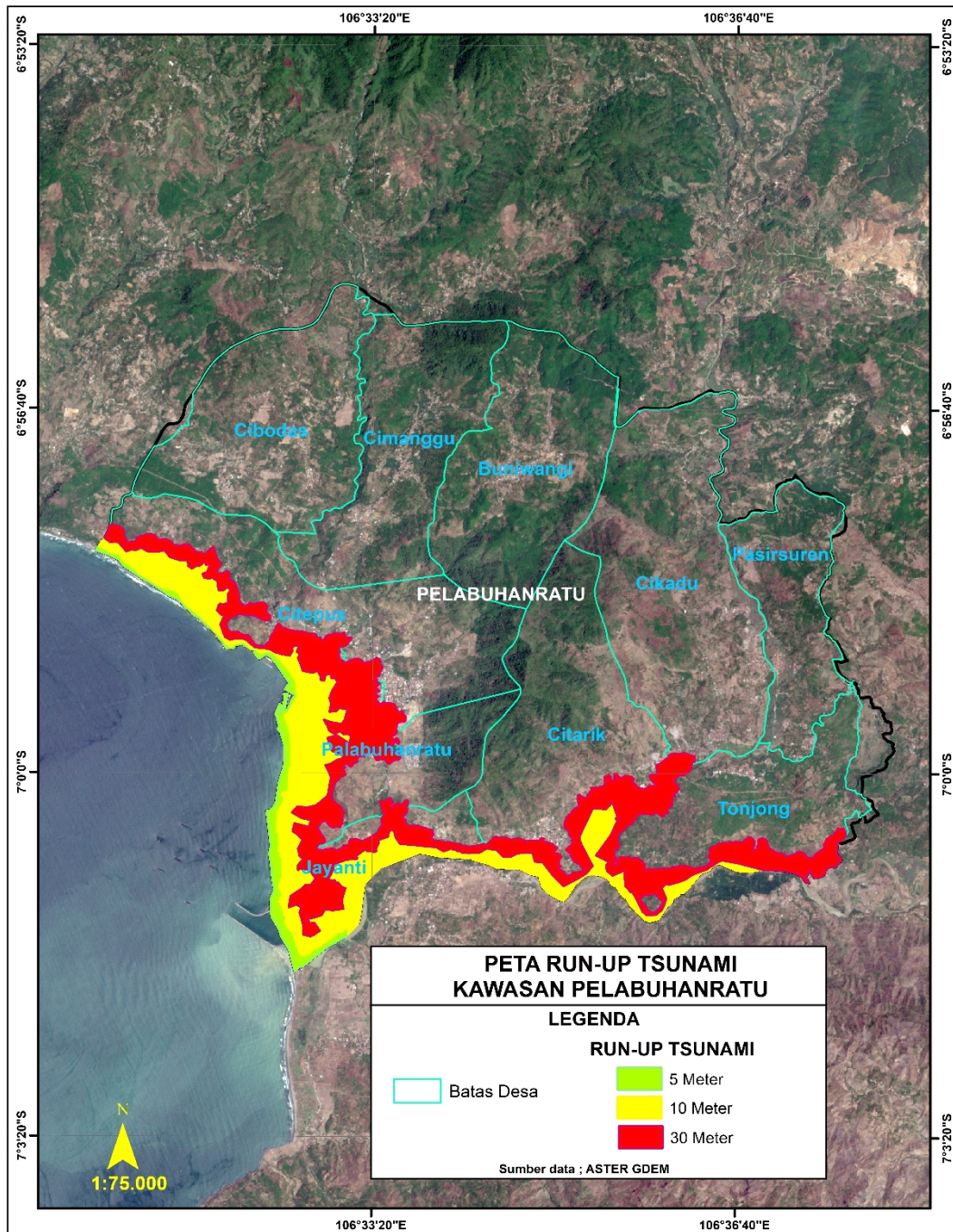
Gambar 5 Peta kontur kawasan *Palabuhanratu*

kontur menjadi data polygon, pemrosesannya dengan melakukan digitasi secara manual berdasarkan garis informasi dari elevasi. Hasil digitasi dan klasifikasi dari peta kontur dapat dilihat pada gambar 6.

Pengelolaan data genangan menunjukkan bahwa di kawasan Palabuhanratu ada beberapa desa yang rawan

dan perlu dilakukan mitigasi dalam bahaya tsunami. Gambar 6 menunjukkan bahwa Desa Citepus, Palabuhanratu dan Jayanti masuk dalam kategori bahaya *genangan* tsunami, dari tingkat bahaya ketinggian 5 meter hingga 30 meter. Sedangkan untuk bahaya *genangan* 10 meter dan 30 meter bisa bergerak hingga ke Desa Tonjong yang dipengaruhi adanya morfologi sungai





Gambar 6 Peta *run-up* Tsunami di kawasan Geopark Ciletuh Palabuhanratu.

yang dapat menjadi lajur dalam aliran *genangan* tsunami. Dari attribute di software QGIS menunjukkan bahwa bahaya tsunami ketinggian 5 meter memberikan dampak keterpaparan sebesar 113,65 ha. Sedangkan untuk bahaya tsunami dengan ketinggian 10 meter mencakup dampak keterpaparan sebesar 720,27 ha. Dan yang terakhir keterpaparan bahaya tsunami untuk tinggi 30 meter sebesar 1.531,78 ha.

Data citra satelit Sentinel 2B dipilih karena kemudahan pengunduhan citra satelit dan resolusi citra satelit yang termasuk tinggi dalam hal klasifikasi penggunaan lahan. Spesifikasi yang dimiliki tiap pixel mewakili luasan sebesar 15 meter. Dibandingkan dengan

citra satelit yang umum digunakan dalam klasifikasi penggunaan lahan yaitu Landsat 8 yang hanya memiliki resolusi 30 m tiap pixelnya.

Sentinel 2 adalah satelit yang diluncurkan dari program *European Space Agency* (ESA) dengan memiliki 13 *Band* spectral. Karakteristik band dapat dilihat pada Tabel 2.

Data Sentinel 2B dari Earth Data Open Acces For Open Science milik NASA, agar data menunjukkan *natural* color dilakukan komposit band yang terdiri dari gabungan band 4,3,2 yang dapat dilihat pada gambar 7, pada wilayah Palabuhanratu.



Tabel 2. Karakteristik Citra Sentinel 2 (Delwart,2015)

Band	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Resolusi Spasial (m)
Band 1 – <i>Coastal Aerosol</i>	0.443	60
Band 2 – <i>Bule</i>	0.490	10
Band 3 – <i>Green</i>	0.560	10
Band 4 – <i>Red</i>	0.665	10
Band 5 – <i>Vegetation Red Edge</i>	0.705	20
Band 6 – <i>Vegetation Red Edge</i>	0.740	20
Band 7 – <i>Vegetation Red Edge</i>	0.783	20
Band 8 – <i>NIR</i>	0.842	10
Band 8A – <i>Vegetation Edge</i>	0.865	20
Band 9 – <i>Water Vapour</i>	0.945	60
Band 10 – <i>SWIR – Cirrus</i>	1.375	60
Band 11 – <i>SWIR</i>	1.610	20
Band 12 – <i>SWIR</i>	2.190	20



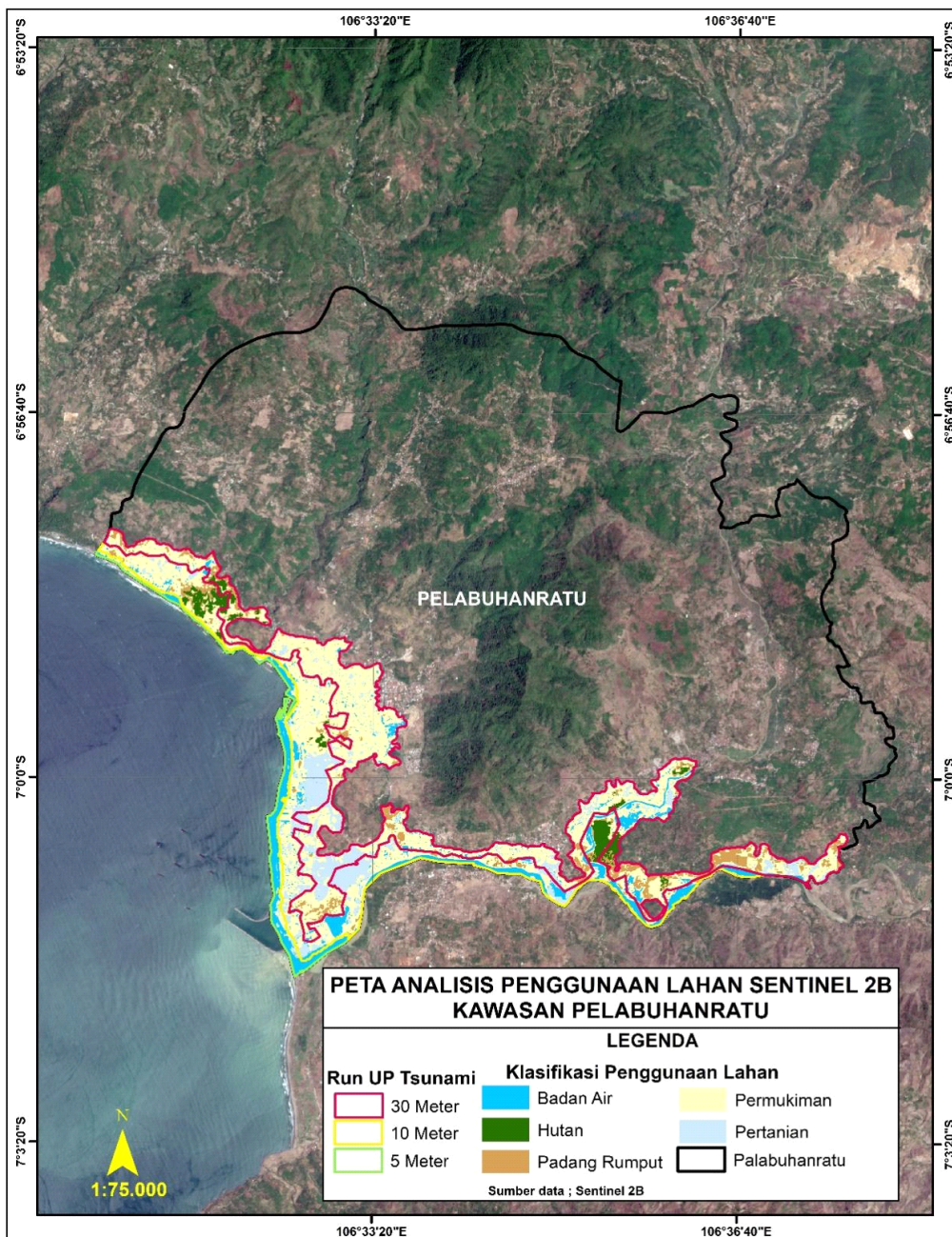
Gambar 7 Citra Satelit Sentinel 2B Kawasan Palabuhanratu.



Pengelolaan data citra satelit dalam identifikasi dan klasifikasi penggunaan lahan ada dua metode. Pertama dengan klasifikasi *supervised* dan klasifikasi *unsupervised*. Pengelolaan *supervised* adalah dengan memberikan arahan identifikasi klasifikasi dengan bantuan *user*. *Tools* yang digunakan pada QGIS adalah *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. Sedangkan klasifikasi *unsupervised* mengklasifikasi citra satelit dengan program *otomatic computer*. Dalam penelitian ini menggunakan metode *supervised*, karena diharapkan eror klasifikasi penggunaan lahan dalam citra satelit dapat diminimalisir dengan baik. Klasifikasi penggunaan lahan dikelompokkan menjadi lima jenis yaitu permukiman, badan air, hutan, padang rumput, dan pertanian. Hasil klasifikasi *supervised* dapat dilihat pada gambar 8.

Peta analisis penggunaan lahan pada zona *genangan* didapatkan dengan metode *supervised* klasifikasi dari citra satelit dan di *overlay* dengan batas zona *genangan* tsunami. Data menghasilkan seperti pada tabel 3. Pada *genangan* bahaya tsunami ketinggian 5 meter yang terdampak terbesar adalah badan air. Hal ini dikarenakan masih terdampak pada zonasi sepanjang bibir pantai, aliran sungai, dan adanya tambak yang dekat dengan bibir pantai. Bangunan yang terdampak masih bangunan yang berada disepanjang pantai.

Zona bahaya *genangan* 5 meter mengancam kawasan permukiman. Data menunjukkan area terdampak permukiman sebesar 349,35 ha, dan pertanian 127,47 ha. Dari bahaya *genangan* 5 meter ke 10 meter terjadi kenaikan zona yang terdampak dari total 112,88 ha,



Gambar 8 Klasifikasi penggunaan lahan pada zona *genangan* Kawasan Palabuhanratu.

menjadi 660,63 ha. Data zona terdampak *genangan* tsunami naik 537% atau naik 5 kalipat dari zona terdampak awal.

Tabel 3. Luasan dampak zona *genangan* tsunami Kawasan Palabuhanratu

No	GENANGAN	Penggunaan Lahan	Luas (ha)
1	5 Meter	Badan Air	81,63
		Hutan	0
		Padang Rumput	0,1
		Permukiman	25,39
		Pertanian	5,76
2	10 Meter	Badan Air	174,66
		Hutan	38,29
		Padang Rumput	29,74
		Permukiman	349,35
		Pertanian	127,47
3	30 Meter	Badan Air	216,18
		Hutan	60,76
		Padang Rumput	137,9
		Permukiman	862,39
		Pertanian	235,61

Bahaya *genangan* tsunami pada ketinggian 30 meter total area cakupannya menjadi 1512,84 ha, yang naik sebesar 110,25% dari zona *genangan* 10 meter. Tabel 3 menunjukkan bahwa area permukiman yang terdampak semakin besar, begitupula area pertanian. Tabel 3 dapat menginformasikan bahwa semakin besar bahaya *genangan* tsunami maka area terdampak semakin luas, yang berimplikasi terhadap tingginya angka kerugian.

Program dalam mengurangi kerentanan zona bahaya *genangan* tsunami dapat dilakukan dengan Menyusun kembali rencana tata ruang pada Kawasan pesisir yang berbasis tingkat kerentanan tsunami, disamping dilakukan program *greenbelt* yang dapat meredam 50 persen energi *genangan* tsunami. (Mardiyanto, dkk 2013). *Greenbelt* dapat meredam ketinggian *genangan* tsunami hingga 9 meter (Nugroho, dkk 2016). Maka dengan dibangunnya *greenbelt* periode ulang limpasan tsunami 100 dan 500 tahun dapat diredam dengan baik.

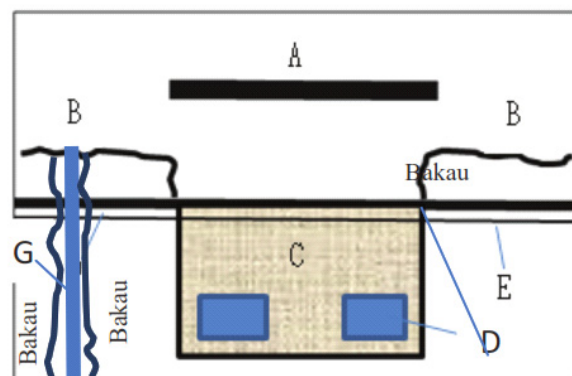
Langkah untuk mengurangi dampak dari tsunami dapat dilakukan dengan mitigasi struktur dengan memperkuat bangunan dan infrastruktur yang berpotensi terdampak dengan membuat kode bangunan, desain rekayasa, konstruksi bangunan, membangun penahan dinding pantai dan sebagainya (Edyanto, 2016).

Dalam mereduksi bahaya tsunami maka perlu model penataan dalam pertahanan mereduksi bahaya tsunami. Gambar 9 menunjukkan bahwa ada model kombinasi dalam mitigasi bahaya tsunami. Gambar menunjukkan adanya pemecahan *genangan*, hutan bakau, tanggul pantai yang saling melindungi area perkotaan (Edyanto, 2019).

## KESIMPULAN

Secara obyektif penelitian deliniasi dampak zona *genangan* tsunami dan dengan model mitigasinya belum dilakukan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa bahaya tsunami yang mengancam dikawasan Palabuhanratu berdasarkan periode dimulai dari 3.49 meter, 9,66 meter, dan 29,51 meter. Daerah yang terkena dampak dari zona *genangan* tsunami berada di desa Citepus, Palabuhanratu, Jayanti, Citarik dan Tonjong. Cakupan kerugian dari klasifikasi zona *genangan* setinggi 5 meter memberikan dampak seluas 112,88 ha, 10 meter seluas 660,63 ha, dan 30 meter seluas 1512,84 ha. Dalam mereduksi bahaya tsunami dapat dilakukan dengan pembuatan *greenbelt*, tanggul pemecah gelombang, tanggul pantai, dan hutan bakau.

Hasil peta *genangan* tsunami kawasan Palabuhanratu dapat digunakan sebagai bahan kajian dalam mengevaluasi dan menentukan dimana letak jalur serta tempat evakuasi yang tepat. Sedangkan untuk hasil klasifikasi penggunaan lahan yang terkena dampak zona *genangan* dapat digunakan untuk menghitung dampak kerugian ekonomi jika sewaktu-waktu terjadi bahaya tsunami sesuai yang diprediksikan.



- A = Pemecah Gelombang
- B = Hutan Bakau
- C = Area Perkotaan
- D = Tanggul Pantai
- E = Jalan Inspeksi
- F = Sistem Tata Letak Permukiman Pantai
- G = Sungai

Gambar 9 Konsep Pertahanan Pantai Kombinasi Vegetasi dan Mitigasi terhadap Bahaya Tsunami (Edyanto, 2019).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak akademis dan penyedia data citra satelit yang membantu dalam penulisan makalah ilmiah ini. Penulis



juga menyampaikan terimakasih kepada ibu dan kedua kakak kandung yang selalu mendukung dan yang membantu dalam penyusunan jurnal ini.

## DAFTAR ACUAN

- Delwart, S. (2015) 'ESA Standard Document,' (1), p. 64.
- Edyanto, CB.H. (2019) 'Sistem Pertahanan Kombinasi Untuk Melindungi Kota Pantai Dari Bahaya Tsunami', *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 17(2). doi:10.29122/jsti.v17i2.3426.
- Edyanto, C.H. (2016) Analisis Kebijakan Penataan Ruang Untuk Kawasan Rawan Tsunami di Wilayah Pesisir, *Jurnal Teknologi Lingkungan* 12(3), p. 319. doi:10.29122/jtl.v12i3.1240.
- Horspool, N. *et al.* (2013) 'Kajian Nasional Bahaya Tsunami untuk Indonesia', p. 34.
- Ilyas, T. (2006) 'Mitigasi Gempa dan Tsunami didaerah perkotaan', p. 23.
- Indonesian Institute Of Sciences and Natawidjaja, D.H. (2021) *Riset Sesar Aktif Indonesia dan Peranannya dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Tsunami*. LIPI Press. doi:10.14203/press.400.
- Mardiyanto, B., Rochaddi, B. and Helmi, M. (2013) 'Kajian Kerentanan Tsunami Menggunakan Metode Sistem Informasi Geografi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta', p. 9.
- Nugroho, R.A., Pamungkas, A., Plg, M.D., 2016. Konsep Manajemen Risiko Bencana Tsunami Berbasis Masyarakat (Studi Kasus:RW.08. Kelurahan Ploso. Kabupaten Pacitan) 626.
- Pramana, B.S. (2015) 'Pemetaan Kerawanan Tsunami di Kecamatan Palabuhanratu Kabupaten Sukabumi, Sosio Didaktika: Social Science Education Journal 2(1), pp. 76–91. doi:10.15408/sd.v2i1.1383.
- Purbani, D. *et al.* 2012 'Pemetaan Kerawanan Tsunami di Kecamatan Palabuhanratu Kabupaten Sukabumi, Sosio Didaktika: Social Science Education Journal
- Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia) (PUSGEN)(ed.) (2017) *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Cetakan pertama. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- RIPB. 2018. Rencana Induk Penanggulangan Bencana, Jakarta. Kementrian Bappenas dan BNPB

