

Pemodelan spasial inundasi daerah rawan bencana tsunami pada kawasan terbangun pesisir Kota Manado

Spatial inundation modeling of tsunami prone areas in coastal developed area of Manado City

Muhammad Ziqri Hardila^{1*}, Dwight Moody Rondonuwu¹, dan Ingerid Lidia Moniaga¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

Corresponding author's email: ziqriyes@gmail.com

Abstrak. Kota Manado merupakan pusat perekonomian di Provinsi Sulawesi Utara yang terletak pada wilayah pesisir. Namun, dengan letak geografis tersebut, Kota Manado tidak lepas dari ancaman bencana tsunami. Maka dari itu, diperlukan penataan ruang dengan pendekatan mitigasi bencana sesuai dengan UU No. 26/2007 tentang Penataan Ruang dan UU No. 24/2007 tentang Penanggulangan Bencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya dari ancaman bencana tsunami di Kota Manado melalui pendekatan matematis. Dengan metode spasial model inundasi tsunami Berryman, interpretasi citra resolusi sangat tinggi dianalisis dan menunjukkan luasan dan jarak inundasi. Untuk inundasi 10 m, jarak inundasi terjauh adalah 1.078 m, sementara untuk inundasi 18 m jarak terjauh adalah 1.200 m. Area paling terdampak umumnya berada di daerah aliran sungai dan area reklamasi. Melalui analisis indeks bahaya, area dengan bahaya tinggi mendominasi sebesar 175.81 ha (47%), bahaya sedang sebesar 65.43 ha (18%), dan bahaya rendah dengan luas 131.35 ha (35%). Penggunaan lahan yang paling terdampak adalah Permukiman dengan luas 156.26 ha. Temuan penelitian ini dapat menjadi basis data untuk perencanaan mitigasi bencana tsunami di Kota Manado.

Kata Kunci: Inundasi tsunami; Pemodelan spasial; Pesisir

Abstract. Manado City is the economic center of North Sulawesi Province which is located in the coastal area. However, with its geographical location, Manado City is prone to the threat of tsunami disasters. Therefore, spatial planning with a disaster mitigation approach is needed in accordance with Law no. 26/2007 concerning Spatial Planning and Law no. 24/2007 concerning Disaster Management. This research aimed to identify the hazard of the tsunami in Manado City through a mathematical approach. Using the spatial method of the Berryman tsunami inundation model, very high resolution image interpretation was analyzed and showed the extent and distance of inundation. For 10 m inundation, the furthest inundation distance is 1,078 m, while for 18 m inundation the furthest distance is 1,200 m. The most affected areas are river watersheds and reclamation areas. Through the analysis of the hazard index, high hazard dominated with an area of 175.81 ha (47%), medium hazard with an area of 65.43 ha (18%), and low hazard with an area of 131.35 ha (35%). The most affected land use was residential areas of 156.26 ha. The findings of this research may be utilized as part of the database for tsunami disaster mitigation planning in Manado City.

Keywords: Coastal area; Spatial modeling; Tsunami inundation

1. Pendahuluan

Kota yang berada di pesisir menyajikan berbagai daya tarik baik dari masyarakat dan aktivitas di seluruh dunia [1,2]. Secara global, wilayah pesisir mewakili 20% dari total permukaan bumi, dan rata-rata total populasi penduduk tinggal di kota-kota yang berada di pesisir [3]. Awal mula pelabuhan sebagai penyaluran ekonomi seperti perdagangan dan pelayaran sebagai transportasi yang pada jaman sekarang beralih ke sumber daya komersial, pariwisata dan kegiatan lainnya yang mengandalkan pesisir sebagai atraksi bagi masyarakat kota [4]. Hal tersebut menawarkan kawasan pesisir banyak sekali keuntungan dari segi ekonomi, ekologi dan estetika kota [5,6].

Kota Manado adalah ibukota provinsi yang menjadi sentral perdagangan dan bisnis sebagai tombak ekonomi Sulawesi Utara dengan letak geografis strategis yang berada pada wilayah pesisir dengan lanskap daerah pantai alami menjadi daya tarik untuk pengembangan dan wisatawan [7]. Sama seperti kota-kota pesisir di Indonesia, perkembangan Kota Manado yang awalnya dikenal sebagai labuhan Wenang (tumpahan Wenang) yang kemudian pada abad XVII beralih menjadi pelabuhan, baik untuk pelancong domestik maupun internasional [8], di mana hal tersebut menciptakan urbanisasi yang besar dan peralihan menjadi area permukiman dan komersil. Namun, dengan letak geografis tersebut Kota Manado tidak lepas dari ancaman berbagai macam bencana seperti gelombang pasang ekstrim, *sea level rise* dan salah satunya adalah tsunami. Kota Manado berpapasan langsung dengan zona subduksi Sulawesi Utara, oleh karena itu kota ini rawan terhadap bencana tsunami [9].

Provinsi Sulawesi Utara menjadi salah satu daerah dengan aktivitas seismik/kegempaan yang tinggi [10,11], hal tersebut diakibatkan oleh pertemuan lempengan Eurasia, lempengan Pasifik, dan lempengan Phillipine yang merupakan tiga bagian utama lempengan kerak bumi.

Pertemuan lempengan Pasifik dan Philipine membentuk zona subduksi Sulawesi Utara yang berada di sebelah utara dan timur semenanjung Minahasa. Berdasarkan data dan Informasi Stasiun Geofisika BMKG Manado, terjadi lebih dari 2000 gempa bumi setiap tahun khususnya di Sulawesi Utara dan sekitarnya [12]. Umumnya, sebaran gempa berada di tengah laut Maluku dan di struktur subduksi laut Sulawesi. Pada zona tersebut gempa bumi yang diikuti tsunami dalam kurun waktu tahun 1845 - 2018 terjadi 19 kejadian tsunami [13]. Dalam 2 dekade terakhir terjadi dua gempa bumi yang menimbulkan bencana tsunami, yaitu pada tanggal 1 Januari 1996 dengan *magnitude* 7,9 di sebelah utara Kabupaten Toli-toli dan 16 November 2008 dengan *magnitude* 7,3 di sebelah utara Provinsi Gorontalo [9].

Peristiwa tsunami pernah terjadi di Kota Manado, Kusmayanto Kadiman (Menteri Ristek ke-9) dalam kegiatan tsunami drill pada tanggal 27 Desember 2008 di Kota Manado, mengatakan pernah terjadi bencana tsunami pada tahun 1837 sebesar 8.0 Skala Richter di teluk Manado pada kedalaman 11 km dan berjarak 150 km dari pesisir Kota Manado [14]. Oleh karena itu, penataan ruang sebagaimana diamanatkan dalam UU No.26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang dan juga UU No.24 tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana menjadi acuan dalam upaya mitigasi bencana non struktural. Salah satu elemen penting dalam kegiatan mitigasi bencana adalah penyiapan Rencana Tata Ruang Kabupaten/Kota berdimensi mitigasi bencana [15]. Dalam UU Penataan Ruang telah mengatur bahwa RTRW Kabupaten/Kota harus memperhatikan unsur rencana penyediaan dan pemanfaatan ruang khusus untuk evakuasi bencana [16]. Umumnya, implementasi penanggulangan bencana dalam perencanaan dimulai dengan perkiraan besarnya dari bahaya yang terkait dengan bencana. Pendekatan matematis biasanya digunakan dalam menentukan besarnya bahaya bencana, terutama dalam konteks bencana tsunami [17].

Penelitian mengenai inundasi tsunami pernah dilakukan di Kabupaten Pandeglang, dengan perhitungan prediksi tsunami menggunakan metode inundasi Berryman melalui data DEM, *surface roughness index* menggunakan basis data citra *Spot-15* dengan resolusi piksel 2.5- 5 meter. Berdasarkan hasil penelitian melalui pemodelan skenario gelombang 7.5, 15 dan 20 meter, area inundasi terjauh adalah 1.7 km, 3,3 km dan 5.5 km di mana area paling terdampak adalah wilayah pesisir dengan kemiringan lereng rendah dan koefisien kekerasan lahan yang rendah [18]. Terdapat juga penelitian pemodelan inundasi Berryman di NYIA dengan data DEM ALOS dan citra satelit *Sentinel* dengan resolusi piksel 10 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan koefisien kekerasan lahan lebih rendah mempengaruhi cakupan area inundansi lebih besar [19]. Kemudian terdapat penelitian sebelumnya mengenai inundansi tsunami di Kota Manado melalui metode numerik TUNAMI-N3 dengan skenario gempa bumi *magnitude* Mw 8.5 yang menghasilkan ketinggian gelombang tsunami maksimal di pesisir Kota Manado adalah 18 meter dengan jarak *run-up* inundasi terjauh adalah 1.2 km pada wilayah utara Kota Manado. Sedangkan pusat Kota Manado dengan daerah aliran sungai hanya memiliki jarak inundasi 500 m, penelitian inundasi yang dilakukan sebelumnya di kota Mando masih memiliki kendala diakibatkan oleh resolusi spasial yang belum memadai [9].

Melalui latar belakang diatas, diperlukan penelitian mengenai inundasi tsunami pada daerah terbangun pesisir Kota Manado untuk melihat sejauh mana dampak bila terjadi bencana tsunami di pesisir Kota Manado. Meliat penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan dengan metode numerik TUNAMI-N3 masih memiliki kendala dalam menampilkan area terdampak inundasi tsunami diakibatkan oleh data yang masih terbatas dengan resolusi menengah [9]. Dalam penelitian ini, dilakukan pendekatan yang berbeda, yaitu menggunakan pendekatan spasial dengan intepretasi citra satelit resolusi sangat tinggi Google Earth melalui metode inundansi Berryman (2006). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui wilayah terdampak bahaya bencana tsunami pada daerah terbangun pesisir Kota Manado melalui pemodelan spasial inundasi tsunami Berryman (2006). Dimana data terkait area terdampak tsunami dapat digunakan untuk mendukung kajian proses mitigasi bencana wilayah pesisir sehingga diharapkan dapat mengurangi dampak negatif yang diakibatkan bencana tsunami.

2. Metode

Lokasi penelitian ini berada di wilayah kawasan terbangun pesisir Kota Manado dengan posisi $1^{\circ} 27' 40''$ - $1^{\circ} 31' 27''$ LU dan $124^{\circ} 47' 2''$ - $124^{\circ} 50' 34''$ BT. Wilayah ini berbatasan langsung dengan Kecamatan Bunaken di sebelah utara dan Kabupaten Minahasa di sebelah selatan barat daya. Bagian wilayah kawasan terbangun pesisir Kota Manado meliputi kecamatan yang terletak sepanjang pantai wilayah pesisir Kota Manado di 4 kecamatan yang terdiri dari Kecamatan Tuminting, Kecamatan Wenang, Kecamatan Sario, dan Kecamatan Malalayang yang dapat dilihat pada Gambar 1. Secara administratif kawasan terbangun pesisir Kota Manado yang terbagi dalam 4 kecamatan dan terdiri dari 37 kelurahan memiliki luas sebesar 2916.81 ha. Wilayah kawasan terbangun pesisir Kota Manado terletak di daerah pesisir Kota Manado dengan dominasi dataran rendah, wilayah ini juga terdapat area dengan area berbukit dengan titik ketinggian tertinggi 312 mdpl yang terletak di Kecamatan Malalayang. Wilayah administrasi kecamatan tidak hanya mencakupi wilayah pesisir namun juga perbukitan yang umumnya berlokasi pada Kecamatan Malalayang, Wenang dan Tuminting.

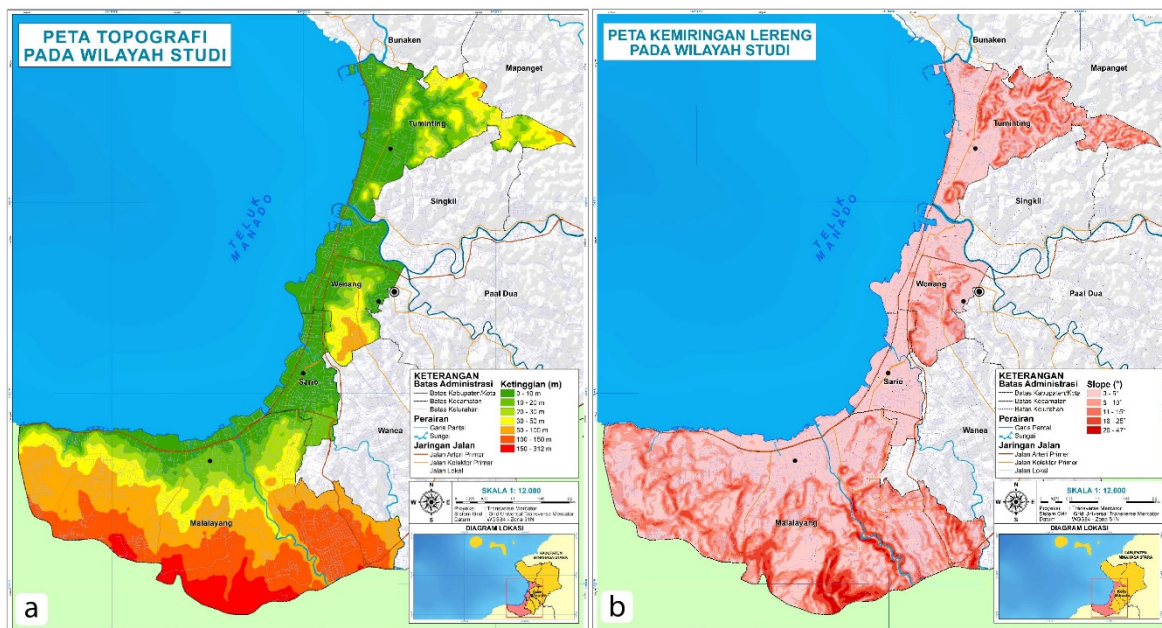


Gambar 1. Peta delineasi wilayah studi [20].

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode analisis spasial, yang dilanjutkan dengan pemodelan inundasi tsunami yang dirumuskan oleh Berryman (2006) dengan persamaan di bawah, di mana n adalah koefisien kekerasan lahan, H_0 adalah ketinggian gelombang tsunami di garis pantai, S adalah kemiringan lereng (*Slope*).

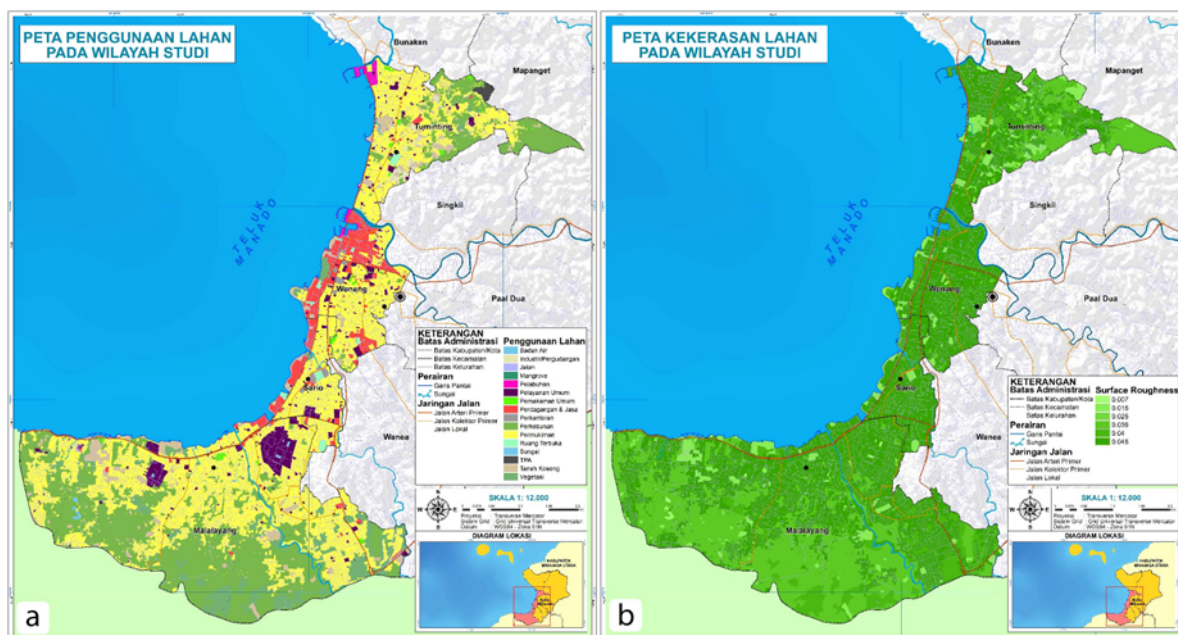
$$H_{Loss} = \frac{167 n^2}{H_0^{1/3}} + 5 \sin S$$

Tahapan pertama dilakukan dengan pengunduhan citra satelit Google Earth (GE) Tahun 2022 dalam format JPEG pada wilayah penelitian. Citra kemudian digabungkan dengan metode *mosaic/merge* melalui aplikasi ArcMap, citra yang sudah dikoreksikan kemudian di *overlay* dengan data-data spasial seperti batas administrasi, topografi, lereng, sungai dan jalan yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta topografi (a), kemiringan lereng (b) [21].

Identifikasi garis pantai dan penggunaan lahan pada wilayah studi dilakukan melalui metode *visual interpretation* [22], yang melihat kenampakan bumi sesuai dengan bentuk yang ditampilkan pada citra, setelah dilakukan digitasi garis pantai dan penggunaan lahan selanjutnya dilakukan pengamatan langsung di lapangan untuk menyesuaikan, memvalidasi dan mengkoreksi hasil tampilan citra dengan kondisi aslinya di lapangan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Penggunaan lahan (a), kekerasan lahan (b).

Untuk mengetahui nilai *run-up* gelombang tsunami di garis pantai dapat dilakukan dengan melihat data historis gempa bumi yang menyebabkan tsunami di Kota Manado. Berdasarkan penelitian sebelumnya dan informasi yang didapatkan, Kota Manado pernah dilanda tsunami pada tahun 1837 sebesar 8.0 Skala Richter di teluk Manado.

Selain melihat dari data historis, data terkait bencana tsunami juga didapatkan dari dokumen peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017 [23]. Berdasarkan peta segmentasi *megathrust* peta gempa nasional tahun 2017, zona subduksi Sulawesi Utara memiliki nilai *magnitude maximum* sebesar 8.5 M_{max} (*Magnitude Maximum*). Nilai *run-up* gelombang tsunami di garis pantai dilakukan melalui persamaan *magnitude* tsunami Abe (1993) yang dimuat dalam Permen PU No.06 Tahun 2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami [24], persamaan *magnitude* tsunami Abe (1993) adalah sebagai berikut:

$$\text{Log}(H_r) = 0,5M_w - 3,3 + C$$

Dimana, H_r adalah Batas tinggi tsunami, M_w adalah *magnitude* gempa dan C adalah konstanta ($C = 0$ untuk cekungan busur muka). Selanjutnya, tinggi *run up* maksimum dapat dinyatakan dengan persamaan

$$H_m = 2H_r$$

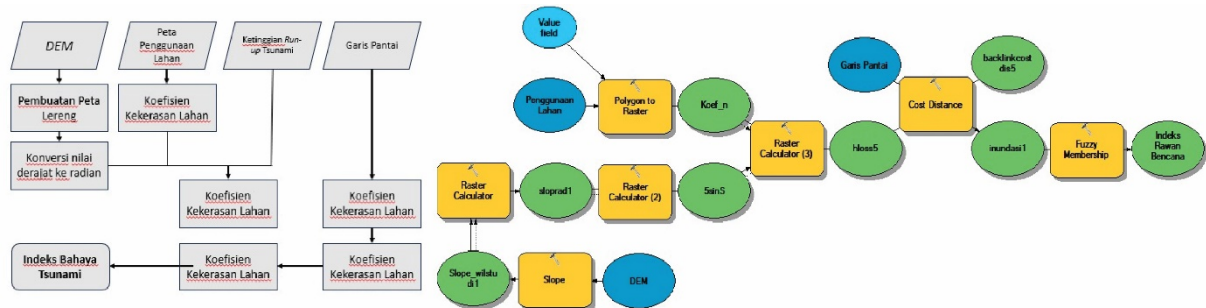
Dimana H_m adalah tinggi *run-up* maksimum, dan H_r adalah batas tinggi tsunami. Melalui persamaan di atas, didapatkan nilai dari *run-up* gelombang tsunami di garis pantai untuk skenario gempa bumi di laut dengan kekuatan 8.0 Mw dan 8.5 Mw yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *run-up* gelombang tsunami.

Magnitude Gempa (Mw)	Run Up Gelombang Tsunami (m)
8.0	10
8.5	18

Tahap selanjutnya adalah memodelkan model inundasi tsunami, Berdasarkan buku Indeks Risiko Bencana Indonesia [25], terdapat beberapa tahapan untuk pembuatan peta inundasi tsunami yang dapat dilihat pada Gambar 4. Proses pembuatan peta inundasi tsunami umumnya terdiri dari perhitungan *5sin slope*, perhitungan nilai koefisien kekerasan lahan, perhitungan H_{Loss} , perhitungan *cost distance* dan *fuzzy membership* ketinggian inundasi yang

dibuat dalam ArcGis dengan *tool modelbuilder*. Selanjutnya, hasil daerah terdampak inundasi dihitung luasannya menggunakan perhitungan secara planimetris.



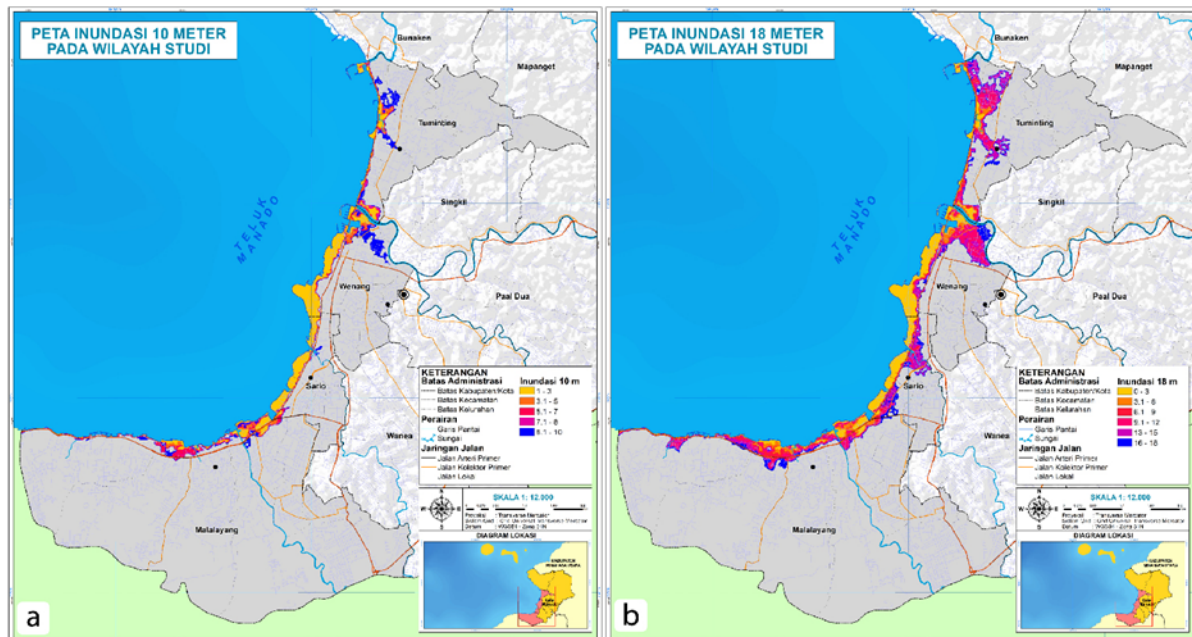
Gambar 4. Alur model indeks bahaya tsunami (a), *workflow* model inundasi Berryman (b).

Selain perhitungan area terdampak, dilakukan juga perhitungan jarak inundasi untuk mengetahui jarak inundasi paling dekat dan paling jauh ke area darat, untuk menghitung jarak inundasi dilakukan melalui analisis transek yang dapat menghitung jarak dari titik a ke titik b melalui potongan garis transek yang dihasilkan dari *baseline* yang dibuat pada area lepas pantai (*Offshore*) dengan jarak antara transek 80 meter.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Model inundasi tsunami 10 meter dan 18 meter

Berdasarkan hasil model dengan skenario gelombang tsunami 10 m dengan kekuatan gempa 8.0 Mw dan skenario gelombang tsunami 18 m dengan kekuatan gempa 8.5 Mw di pesisir Kota Manado, *run-up* inundasi mendominasi khususnya pada pusat Kota Manado yaitu Kecamatan Wenang yang dapat dilihat pada Gambar 5, hal ini diakibatkan oleh sungai besar di pusat Kota Manado yaitu sungai Tondano menjadi jalur yang memungkinkan inundasi tsunami merambat lebih dalam ke daratan [26]. Selain Kecamatan Wenang terdapat juga daerah inundasi yang cukup tinggi pada Kecamatan Tuminting, khususnya pada area sekitar DAS Maasing. Kemudian juga terdapat area inundasi pada Kecamatan Sario yaitu pada daerah sekitar DAS Sario. Kemudian juga terdapat area inundasi pada Kecamatan Sario yaitu pada daerah sekitar DAS Sario.



Gambar 5. Peta inondasi 10m (a), inondasi 18m (b) pada wilayah studi.

3.2 Analisis jarak inondasi tsunami dengan analisis transek

Melalui hasil analisis transek jarak inondasi tsunami dengan gelombang inondasi 10 m menggunakan 119 transek pada Gambar 8.a, jarak inondasi yang paling rendah terdapat di keluarahan Malalayang dua (Malalayang Beach Walk) dengan jarak transek 8.3 m. Lokasi dengan jarak *run-up* terjauh terletak di daerah aliran sungai Tondano (Gambar 6.a) yang berada di Kecamatan Wenang dengan jarak transek 1.078 m (1.1 km), terdapat juga persebaran area *run-up* yang cukup tinggi di Kecamatan Tuminting khususnya pada kelurahan Maasing dimana terdapat sungai Maasing yang bermuara di teluk Manado dengan jarak transek 511 m (Gambar 6.b).



Gambar 6. Sungai Tondano (a), Sungai Maasing (b).

Dalam analisis inondasi *run-up* tsunami 10 m pada Tabel 2 menggunakan transek yang dikelompokkan menjadi 5 kategori jarak inondasi, hasil analisis menunjukkan kategori inondasi 8.8-100 m dengan total 43 transek yang umumnya terletak di Kecamatan Malalayang, transek 101-300 m dengan total 43 transek dan inondasi 301-450 m dengan total 15 transek,

kemudian untuk inundasi 451-750 dengan total 14 umumnya berada di Kecamatan Tuminting, kemudian untuk kategori transek 751-1078 m dengan total 4 transek hanya terdapat pada Kecamatan Wenang.

Tabel 2. Kategori jarak inundasi 10 meter.

Kecamatan	Jarak Inundasi Run Up Tsunami 10 meter (m)				
	8.8 - 100	101-300	301-450	451-750	751-1078
Malalayang	30	14	5	1	-
Sario	1	10	2	-	-
Wenang	1	13	3	6	4
Tuminting	11	6	5	7	-
Total Transek	43	43	15	14	4

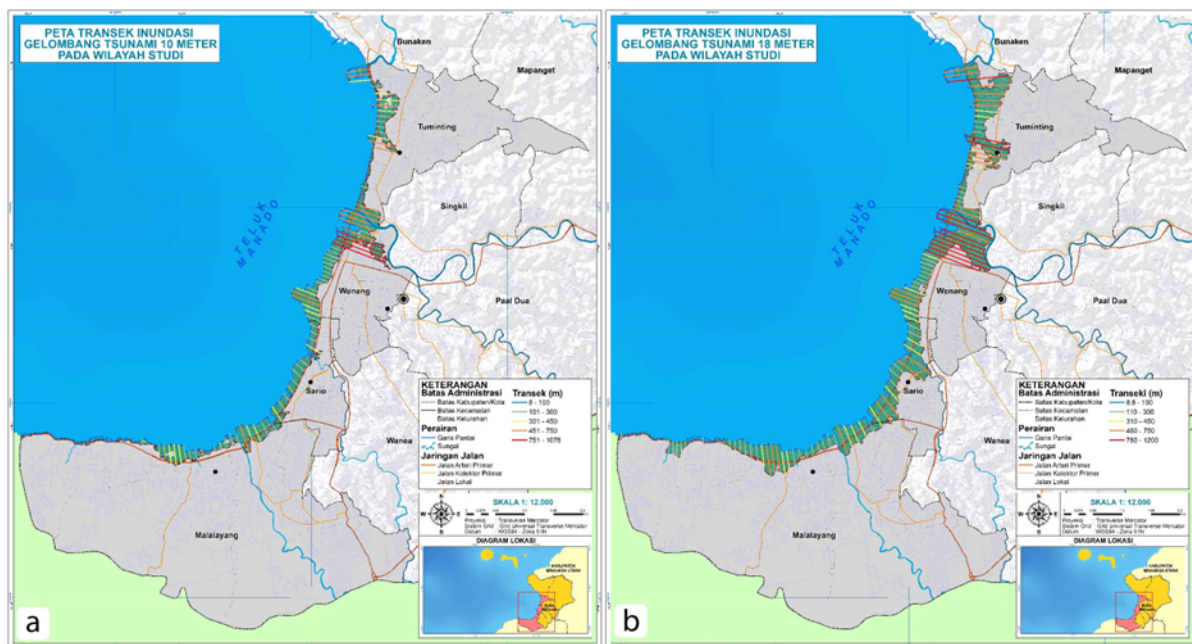
Berdasarkan analisis transek jarak inundasi tsunami dengan gelombang inundasi 18 m melalui 119 transek yang dapat dilihat pada Gambar 8.b, jarak transek yang paling kecil berlokasi di keluarahan Malalayang dua (Boboca) dengan jarak transek 8.8 m dan lokasi dengan jarak *run up* terjauh terletak di muara sungai Tondano yang berada di Kecamatan Wenang dengan jarak transek 1.200 m (1.2 km) yang dapat dilihat pada Gambar 7.a, kemudian juga terdapat persebaran area inundasi yang cukup tinggi di Kecamatan Tuminting khususnya pada kelurahan Maasing dimana terdapat sungai Maasing yang bermuara di teluk Manado (Gambar 7.b), selain itu terdapat juga sungai Bailang yang berlokasi di tumumpa dua dengan jarak transek 1178 m (1.1 km). Berdasarkan Tabel 3, kategori inundasi 8.8-100 m dengan total 21 transek, kategori 101-300 m dengan total 43 transek dan kategori inundasi 301-450 m dengan total 18 transek yang mendominasi di Kecamatan Malalayang, kemudian untuk kategori 451-750 dengan total 24 umumnya berada di Kecamatan Tuminting, kemudian untuk inundasi 751-1200 m dengan total 13 transek didominasi oleh Kecamatan Wenang.



Gambar 7. Aerial sungai Tondano (a), sungai Maasing (b).

Tabel 3. Kategori jarak inundasi 10 meter.

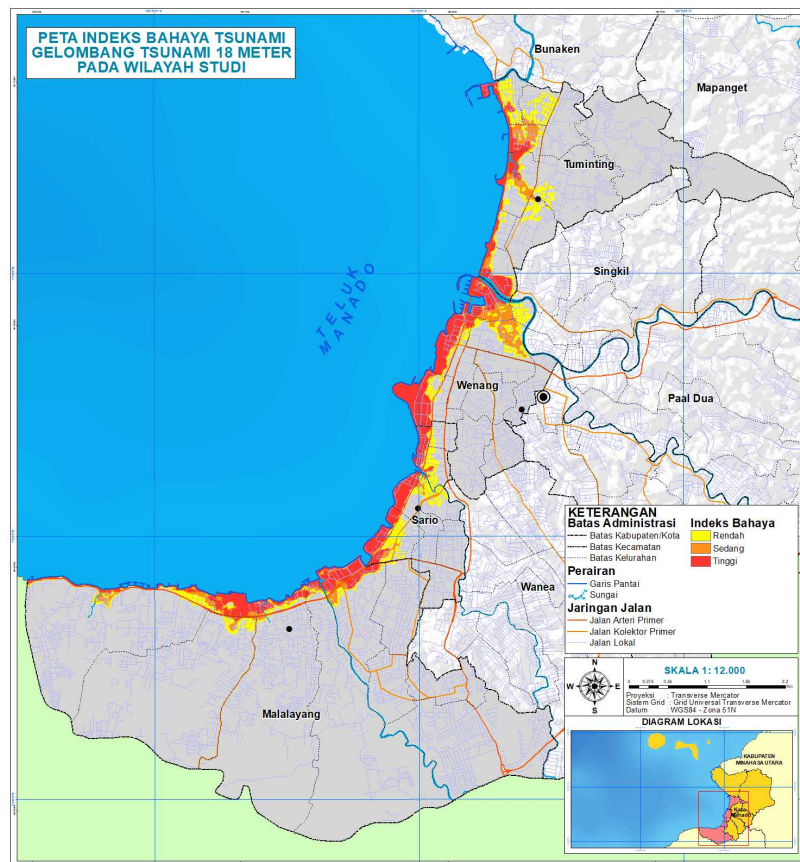
Kecamatan	Jarak Inundasi Run Up Tsunami 18 meter (m)				
	8.8 - 100	101-300	301-450	451-750	751-1200
Malalayang	18	22	6	4	-
Sario	-	5	4	4	-
Wenang	-	8	5	4	10
Tuminting	3	8	3	12	3
Total Transek	21	43	18	24	13



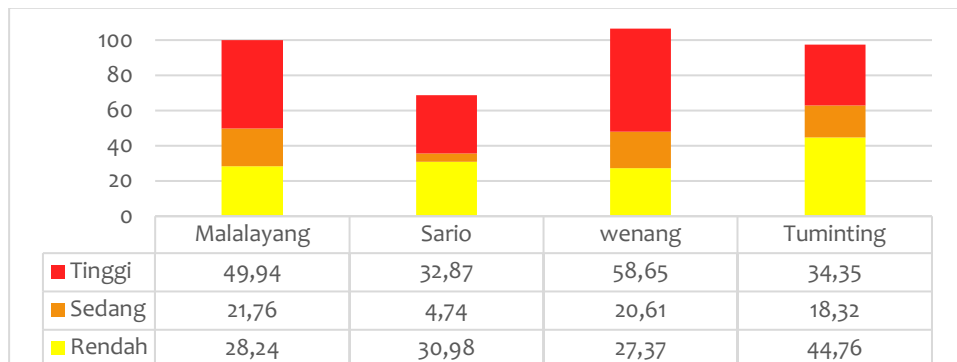
Gambar 8. Peta Transek inundasi 10 meter (a), transek inundasi 18 meter (b).

3.3. Analisis indeks bahaya tsunami

Indeks bahaya (*hazard index*) digunakan untuk mengukur atau mengevaluasi tingkat bahaya dari suatu fenomena alam atau kejadian tertentu. Berdasarkan perhitungan indeks bahaya inundasi tsunami 18 meter melalui *fuzzy membership*, kategori indeks bahaya tsunami dibagi dalam tiga kelas yaitu indeks rendah, indeks sedang dan indeks tinggi. Persebaran indeks bahaya tsunami dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta indeks bahaya tsunami 18 meter.



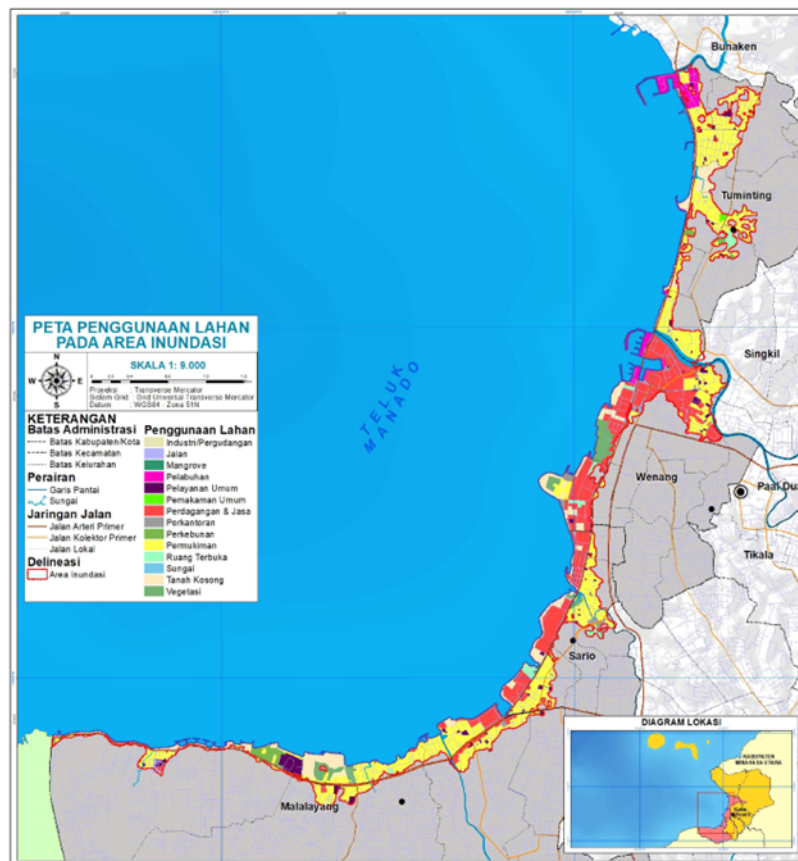
Gambar 10. Diagram indeks bahaya tsunami 18 meter.

Melalui Gambar 10, indeks bahaya inondasi tsunami 18 m didominasi oleh indeks bahaya inondasi tinggi dengan luas 175.81 ha (47%). Area dengan persebaran indeks bahaya inondasi tinggi menutupi hampir seluruh wilayah kecamatan pada wilayah studi dengan wilayah tutupan terbanyak pada Kecamatan Wenang dengan luasan 58.65 ha (33%). Selanjutnya indeks bahaya inondasi tsunami 18 m dilanjutkan oleh indeks bahaya inondasi rendah dengan luas 131.35 ha (35%). Area dengan persebaran indeks bahaya inondasi rendah menutupi hampir seluruh wilayah kecamatan pada wilayah studi dengan wilayah tutupan terbanyak

pada Kecamatan Tuminting dengan luasan 44.76 ha (34%). Untuk indeks bahaya inundasi sedang, total luasnya adalah 65.43 ha (18%), dengan wilayahutupan terbanyak pada Kecamatan Malalayang dengan luasan 21.76 ha (33%).

3.3. Luasan penggunaan lahan pada area inundasi

Berdasarkan peta penggunaan lahan pada area inundasi pada Gambar 11, terdapat 14 tutupan lahan yang terdampak jika terjadi bencana tsunami pada daerah terbangun pesisir Kota Manado. Umumnya klasifikasi penggunaan lahan pada wilayah studi merupakan daerah terbangun seperti permukiman, perdagangan dan jasa, pelayanan umum, perkantoran, pelabuhan, industri/pergudangan dan jalan. Sedangkan penggunaan lahan yang tidak terbangun terbangun yaitu lahan kosong, vegetasi, sungai, perkebunan, mangrove, pemakaman dan ruang terbuka hijau.

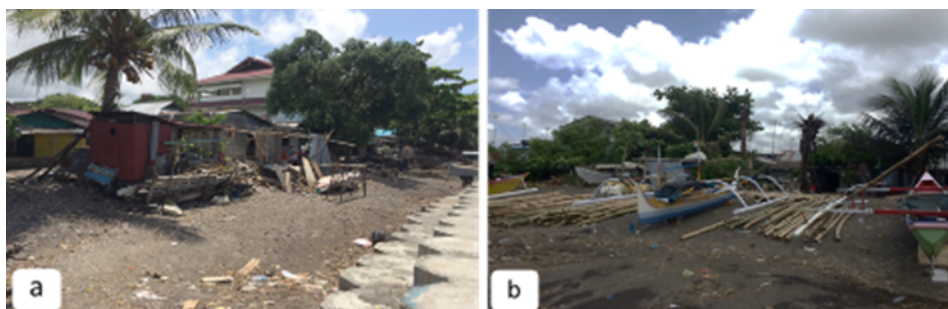


Gambar 11. Peta penggunaan lahan pada area inundasi.

Tabel 4. Luasan penggunaan lahan pada area inundasi.

Penggunaan Lahan	Kecamatan				Total
	Malalayang	Sario	Wenang	Tuminting	
Industri/Pergudangan	-	-	-	0.58	0.58
Jalan	7.3	3.03	4.11	4.46	18.92
Mangrove	0.06	0.2	-	-	0.2
Pelabuhan	0.62	0.15	5.46	10.37	16.6
Pelayanan Umum	7.13	1.11	1.92	2.76	12.92
Pemakaman Umum	0.01	-	-	0.51	0.52
Perdagangan & Jasa	9.85	21.87	53.55	0.17	85.45
Perkantoran	0.37	1.78	2.23	0.18	4.55
Perkebunan	4.47	-	-	1.85	6.31
Permukiman	49.75	28.04	17.23	61.24	156.26
Ruang Terbuka	0.73	2.86	1.87	2.03	7.49
Sungai	1.09	0.74	2.27	2.59	6.7
Tanah Kosong	13.92	7.55	9.71	10.29	41.49
Vegetasi	4.69	1.24	8.15	-	14.08

Hasil perhitungan geometris pada Tabel 4 menunjukkan penggunaan lahan yang paling terdampak adalah penggunaan lahan permukiman dengan luas 156.26 ha, kecamatan yang paling terdampak terletak di Kecamatan Tuminting sebesar 61.24 ha dan juga Kecamatan Malalayang dengan luas permukiman terdampak 49.75. Hal ini juga menjadi salah satu tantangan dalam mitigasi bencana tsunami di Kota Manado dikarenakan permukiman tersebut adalah permukiman nelayan yang tersisa di Kota Manado [27], seperti kampung Kinamang, dan permukiman nelayan terbesar di Kota Manado yaitu kampung nelayan LOS (Lorong Orang Sanger) dan permukiman lainnya yang dapat dilihat pada Gambar 12.

**Gambar 12.** Kampung Kinamang (a), Kampung LOS (b).

Selain Permukiman, penggunaan lahan lain yang paling terdampak adalah perdagangan dan jasa dengan luas 85.45 ha, dengan kecamatan paling terdampak yaitu Kecamatan Wenang sebesar 53.55 ha dan Sario sebesar 21.87 ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa jika terjadi

bencana tsunami di Kota Manado dapat menyebabkan lumpuhnya pusat ekonomi di Kota Manado, dimana pada dua kecamatan tersebut merupakan kawasan ekonomi Boulevard on Business yang merupakan pusat perdagangan utama bagi masyarakat di Kota Manado (Gambar 13). Contohnya seperti Pasar 45, pusat perbelanjaan yaitu Manado Town Square, kawasan Megamas, IT Center dan lainnya.



Gambar 6. Kawasan Boulevard on Business (a), Pasar 45 (b).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa resolusi spasial yang tinggi berperan penting dalam ketelitian analisis data khususnya dalam bencana tsunami, melihat dari penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa hasil pemodelan inundasi di Kota Manado yang telah dilakukan memiliki kendala diakibatkan oleh terbatasnya resolusi spasial yang menyebabkan inundasi pada muara sungai besar di pusat Kota Manado yaitu sungai Tondano tidak menunjukkan hasil yang seharusnya, yaitu dengan jangkauan inundasi hanya sebesar 500 m [9]. Oleh karena itu, penggunaan citra satelit resolusi tinggi dalam penilaian bahaya suatu bencana khususnya tsunami dapat dimanfaatkan untuk merepresentasikan gambaran sesuai dengan kondisi aslinya di lapangan [22]. Semakin besar tingkat kedetailan data yang digunakan pada elevasi dan kekerasan lahan maka hasil yang didapatkan semakin presisi [28].

Selain itu, berdasarkan faktor-faktor yang sudah dijelaskan di atas, jika kita melihat kembali peristiwa bencana di kawasan pesisir yang pernah terjadi di Kota Manado pada Januari 2021, dimana dengan gelombang yang hanya sebesar 2,5 sampai 4 meter, dampak dari bencana tersebut paling besar umumnya pada kawasan terbangun terutama area reklamasi (Megamas, Manado Town Square, God Bless Park, Bahu Mall) [29]. Dengan demikian, apabila terjadi bencana dengan gelombang skala besar dalam konteks bencana tsunami, maka bencana tersebut akan mempengaruhi wilayah dengan lebih masif. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini diperlukan sebagai data penunjang untuk perencanaan mitigasi bencana di pesisir Kota Manado, khususnya bencana tsunami.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan inundasi dengan *run-up* gelombang tsunami 10 meter dan 18 meter di kawasan terbangun pesisir Kota Manado, area dengan inundasi terbesar umumnya berada di daerah aliran sungai yaitu sungai Tondano, sungai Maasing dan sungai Sario. Selain daerah aliran sungai, dampak area inundasi umumnya juga sangat besar terjadi di beberapa

daerah reklamasi, hal tersebut diakibatkan oleh kemiringan lereng di area reklamasi yang datar walaupun koefisien kekerasan lahannya tercakup tinggi.

Melalui hasil analisis transek untuk inundasi 10 m jarak terjauh adalah 1.078 m (1.1 km) yang berada di Kecamatan Wenang, untuk inundasi 18 m jarak terjauh adalah 1.200 m (1.2 km) terletak di sungai Tondano di Kecamatan Wenang dan sungai Maasing di Kecamatan Tuminting.

Indeks bahaya inundasi tsunami pada kawasan terbangun pesisir Kota Manado didominasi oleh indeks bahaya inundasi tinggi dengan luas 175.81 ha (47%) umumnya terletak di Kecamatan Wenang dengan luasan 58.65 ha (33%). Untuk bahaya inundasi sedang dengan total 65.43 ha (18%), dengan wilayah tutupan terbanyak pada Kecamatan Malalayang dengan luasan 21.76 ha (33%). Dan indeks bahaya inundasi rendah dengan luas 131.35 ha (35%), dengan wilayah tutupan terbanyak pada Kecamatan Tuminting dengan luasan 44.76 ha (34%).

Jika terjadi bencana tsunami di kawasan terbangun pesisir Kota Manado, penggunaan lahan yang paling terdampak adalah penggunaan lahan permukiman dengan luas 156.26 ha. Selain permukiman, penggunaan lahan lain yang paling terdampak adalah perdagangan dan jasa dengan luas 85.45 ha. Ditemukan bahwa luasan dan jarak inundasi lebih luas dari penelitian yang dilakukan sebelumnya[7], hal ini menunjukkan bahwa resolusi spasial yang tinggi berperan penting dalam ketelitian analisis data khususnya dalam konteks bencana tsunami. Sehingga pengambilan keputusan dalam perencanaan mitigasi bencana dapat dilakukan secara presisi misalnya seperti penempatan strategi perlindungan garis pantai, penetapan jalur dan lokasi evakuasi yang akurat dan rencana mitigasi lainnya.

Terdapat kelemahan dalam penelitian ini dimana data model elevasi yang digunakan adalah data yang terbatas dengan resolusi piksel yang terbatas. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan ketersediaan data dengan resolusi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, diharapkan terdapat data model elevasi digital yang lebih detail sehingga penelitian bahaya tsunami yang selanjutnya lebih presisi. Penelitian ini diharapkan agar memberikan masukan kepada pemerintah Kota Manado dalam perencanaan mitigasi bencana tsunami di Kota Manado. Dengan demikian pendetailan dan pembaharuan data tsunami dapat memperbaharui dan memaksimalkan lokasi daerah rawan bencana tsunami sehingga tindakan seperti penempatan EWS (Early Warning System), jalur evakuasi dan lokasi evakuasi tsunami bisa direncanakan dengan baik khususnya dalam perencanaan RTRW Kota Manado dan juga RDTR, baik untuk struktur ruang dan pola ruang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada seluruh civitas akademika program studi Perencanaan Wilayah dan kota Universitas Sam Ratulangi yang telah memberikan kesempatan dan bantuan fasilitas dalam penelitian ini, dan juga terima kasih kepada masyarakat pesisir Kota Manado yang memberikan informasi dalam penelitian ini.

Referensi

Received: July 14, 2023; Accepted: October 14, 2023; Available online: July 12, 2024

2598-019X Copyright © 2024 The Authors, REGION: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

- [1] Surjan A, Parvin GA, Atta-ur-Rahman, Shaw R. Expanding Coastal Cities. *Urban Disasters and Resilience in Asia*, Elsevier; 2016, p. 79–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802169-9.00006-9>.
- [2] Zheng Z, Wu Z, Chen Y, Yang Z, Marinello F. Exploration of Eco-Environment and Urbanization Changes in Coastal Zones: A Case Study in China Over The Past 20 Years. *Ecol Indic* 2020;119:106847. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106847>.
- [3] Brommer MB, Bochev-van der Burgh LM. Sustainable Coastal Zone Management: A Concept for Forecasting Long-Term and Large-Scale Coastal Evolution. *J Coast Res* 2009;25:181–8. <https://doi.org/10.2112/07-0909.1>.
- [4] Rizk Hegazy I. Towards Sustainable Urbanization of Coastal Cities: The Case of Al-Arish City, Egypt. *Ain Shams Engineering Journal* 2021;12:2275–84. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.027>.
- [5] Cummins V, O’Mahony C, Connolly N. Review of Integrated Coastal Zone Management & Principals of Best Practice. *Marine and Coastal Committee* ; 2004.
- [6] Su C-W, Song Y, Umar M. Financial Aspects of Marine Economic Growth: From The Perspective of Coastal Provinces and Regions in China. *Ocean Coast Manag* 2021;204:105550. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105550>.
- [7] Tondobala L. Kelayakan Pusat Kota Manado sebagai Destinasi Pariwisata. *Media Matrasain* 2012;9:82–103.
- [8] Marzuki IW. Perkembangan Manado Masa Kolonial (1789-1945). *Tumotowa* 2020:51–62. <https://doi.org/10.24832/tmt.v3i1.54>.
- [9] Wahyu RO, Djamaluddin R, Mamuaya GE, Yatimantoro T, Priyobudi P. Pemodelan Inundasi Tsunami Di Sepanjang Pesisir Manado Akibat Gempa Bumi M8,5 Di Zona Subduksi Sulawesi Utara. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 2018;19. <https://doi.org/10.31172/jmg.v19i1.448>.
- [10] McCaffrey R, Silver EA, Raitt RW. Crustal Structure of The Molucca Sea Collision Zone, Indonesia, 1980, p. 161–77. <https://doi.org/10.1029/GM023p0161>.
- [11] Zheng T, Qiu Q, Lin J, Yang X. Raised Potential Earthquake and Tsunami Hazards at The North Sulawesi Subduction Zone After a Flurry of Major Seismicity. *Mar Pet Geol* 2023;148:106024. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.106024>.
- [12] Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara. Provinsi Sulawesi Utara dalam Angka 2023. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara 2023.
- [13] Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedeputan Bidang Geofisika BMKG. Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821 - 2018. Pusat Gempabumi Dan Tsunami Kedeputan Bidang Geofisika BMKG 2019.
- [14] Kompas. Manado Pernah Dilanda Tsunami Tahun 1837 2008. KompasCom 2008.
- [15] Putra AP. Penataan Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Kabupaten Kepulauan Mentawai. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana* 2011;2:11–20.
- [16] Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Cipta Kerja 2022.
- [17] Giachetti T, Paris R, Kelfoun K, Ontowirjo B. Tsunami Hazard Related to a Flank Collapse of Anak Krakatau Volcano, Sunda Strait, Indonesia. *Geological Society, London, Special Publications* 2012;361:79–90. <https://doi.org/10.1144/SP361.7>.

- [18] Lestari DA, Fitriasari NS, Ahmad TE, Rais A, Azhari DR. Spatial Analysis on Tsunami Predictions in Pandeglang Regency. *Forum Geografi* 2021;35. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v35i1.12367>.
- [19] Prasojo K, Afwani MZ, Lestari I, Bramono A, Bustomi AF. Berryman Tsunami Inundation Modelling on Temon: The Location of NYIA. *International Conference on Environmental Resource Management in Global Region*, 2017, p. 1–8.
- [20] Geoportal Kota Manado. Portal Data Geospasial Kota Manado. Geoportal Kota Manado 2023.
- [21] Badan Informasi Geospasial. Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional. Badan Informasi Geospasial 2023.
- [22] Malarvizhi K, Kumar SV, Porchelvan P. Use of High Resolution Google Earth Satellite Imagery in Landuse Map Preparation for Urban Related Applications. *Procedia Technology* 2016;24:1835–42. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.231>.
- [23] Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia), Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Indonesia). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* 2017.
- [24] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 06 Tahun 2009 Tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur Di Kawasan Rawan Tsunami 2009.
- [25] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. *RBI Risiko Bencana Indonesia BNPB*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana 2016.
- [26] Berryman K. *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*. Institute of Geological & Nuclear Sciences; 2005.
- [27] Papatungan MS, Warouw F, Tilaar S. Arahana Pengembangan Permukiman Nelayan Berbasis Ekowisata (Studi Kasus: Pesisir Pantai Malalayang, Kelurahan Malalayang Satu dan Malalayang Satu Timur, Kecamatan Malalayang, Kota Manado). *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur* 2014;6:341–9.
- [28] Anwar H, Gebert N, Mueck M, Post J, Stein E, Wegscheider S, et al. *Guideline for Tsunami Risk Assessment in Indonesia*. Scientific Proposal for Practitioner and End Users, Indonesian–German Working Group on Tsunami Risk Assessment 2011.
- [29] Rondonuwu DM, Kumurur VA, Karongkong HH, Hardila MZ, Makalalag D, Kepel RC. Arrangement of Coastal Setbacks in Efforts to Mitigate Tidal Wave Disasters in Built-Up Areas of Manado City, *AIP Conference Proceedings*; 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0118798>.