

Evaluasi Pemodelan Jalur Evakuasi Tsunami Wilayah Kepesisiran Pantai Krakal dan Pantai Sili Gunungkidul

An Nisa Nur Hera Anggarwati^{1*}, Djati Mardiatno^{2,3}, Estuning Tyas Wulan Mei⁴

¹Program Studi Ilmu Lingkungan Minat Studi Geo-Informasi untuk Manajemen Bencana, Universitas Gadjah Mada

²Program Studi Geografi Lingkungan, Departemen Geografi Lingkungan, Universitas Gadjah Mada

³Pusat Studi Bencana (PSBA) dan Beragam Kajian Bencana akibat Perubahan Iklim, Universitas Gadjah Mada

⁴Program Studi Pembangunan Wilayah, Departemen Geografi Pembangunan, Universitas Gadjah Mada

Jl. Teknik Utara, Pogung Kidul, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, 55284

Email: annisa2020@ugm.ac.id

Abstrak

Bencana tsunami menyebabkan kerusakan dan korban jiwa. Pencegahan dan pengurangan risiko bencana tsunami dapat dilakukan dengan pembuatan jalur evakuasi. Perkembangan teknologi dan sistem informasi geografis (SIG) memberikan pemodelan jalur evakuasi untuk mitigasi bencana tsunami. Tujuan penelitian yaitu menganalisis hasil pemodelan jalur tsunami dengan metode *Least Cost Distace* berbasis raster dan *Network Analysis* berbasis data vektor dan melakukan evaluasi dengan melibatkan masyarakat. Penelitian dengan pendekatan eksplanatoris sekuensial, metode analisis data kuantitatif pada tahap pertama yang diikuti oleh pengumpulan dan analisis data kualitatif pada tahap kedua yang dibangun berdasarkan hasil awal kuantitatif. Penelitian menggunakan data primer berupa citra spot 7 yang didelineasi sesuai Landuse dan dianalisis dengan 2 metode pemodelan jalur evakuasi. Hasil analisis di validasi dengan data sekunder berupa data lapangan melalui wawancara mendalam kepada narasumber meliputi pedagang, wisatawan maupun masyarakat local yang sedang beraktivitas di sekitar pantai serta kondisi jalur evakuasi sebenarnya. Metode pemodelan jalur evakuasi menggunakan 2 metode memperlihatkan hasil pemodelan jalur evakuasi menggunakan data vektor melalui *Network Analysis* dan data raster melalui *Least Cost Distance* (LCD) tidak selamanya menghasilkan rute yang berbeda. Perbedaan hasil dipengaruhi oleh faktor topografi, lereng, hambatan dan penghalang jalan. Hasil evaluasi kedua jalur evakuasi yang dilakukan kepada para informan menunjukkan bahwa kejenuhan narasumber lebih memahami jalur evakuasi yang dibuat dengan pemodelan *Network Analysis*. Hal ini dikarenakan jalur evakuasi tersebut tidak jauh berbeda dengan kondisi eksisting di lapangan yang sudah dibuat dan disusun oleh BPBD Yogyakarta.

Kata kunci : Tsunami, Jalur Evakuasi, Pemodelan SIG, Evaluasi

Abstract

Evaluation of Tsunami Evacuation Path Modeling in the Coastal Areas of Krakal Beach and Sili Beach, Gunungkidul

The tsunami disaster caused damage and loss of life. Prevention and reduction of tsunami disaster risk can be done by making evacuation routes. The development of technology and geographic information systems (GIS) provides modeling of evacuation routes for tsunami disaster mitigation. The research objectives are to analyze the results of the tsunami path modeling using the raster-based Least Cost Distace method and the vector data-based Network Analysis and to conduct an evaluation involving the community. Research with a sequential explanatory approach, quantitative data analysis method in the first stage followed by qualitative data collection and analysis in the second stage which was built based on the initial quantitative results. This study uses primary data in the form of spot 7 images which are delineated according to Landuse and analyzed by 2 evacuation route modeling methods. The results of the analysis were validated by field data through in-depth interviews with informants including traders, tourists and local people who were doing activities around the beach. Evacuation route modeling method

using 2 methods shows the results of evacuation route modeling using vector data through Network Analysis and raster data through Least Cost Distance (LCD) do not always produce different routes. Differences in results are influenced by topography, slopes, obstacles and roadblocks. The results of the evaluation of the two evacuation routes carried out to the informants showed that the saturation of the informants better understood the evacuation routes made with Network Analysis modeling. This is because the evacuation route is not much different from the existing conditions in the field that have been made and compiled by BPBD Yogyakarta.

Keywords : *Tsunami, Evacuation Route, GIS Modelling, Evaluation*

PENDAHULUAN

Gunungkidul memiliki panjang garis pantai mencapai ± 65 km. Kawasan pantai di Gunungkidul banyak mendapat perhatian wisatawan diantaranya Pantai Krakal dan Slili. Kedua pantai mempunyai pemandangan pasir putih yang indah. Namun disisi lain, memiliki kondisi geomorfologi yang sangat dinamis karena dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografinya. Secara umum tingkat kerentanan wilayah Pantai Krakal dan Pantai Slili dapat diklasifikasikan sebagai pantai dengan kerentanan tinggi hingga ekstrem terhadap bencana alam seperti tsunami dan badai (Finkl, 1983; Muchtar *et al.*, 2015). Pernyataan diperkuat dengan hasil studi Anwar (2021) menunjukkan jika kejadian tsunami di wilayah utara cenderung lebih jarang dibandingkan wilayah selatan garis khatulistiwa termasuk kedua lokasi pantai. Tipe tsunami di sekitar wilayah Pesisir Selatan Jawa termasuk dalam *short time travel*, tsunami dapat mencapai pantai dalam waktu kurang dari 30 menit setelah adanya gempa bumi (BNPB, 2012). Gelombang tsunami yang menjalar ke daratan akan menyebabkan kerusakan bangunan dan bahkan menelan korban jiwa. Risiko bahaya gempa bumi sangat ditentukan oleh kepadatan penduduk dan infrastruktur di suatu wilayah (Soehaimi, 2008). Salah satu upaya mitigasi bencana dapat dilakukan dengan membuat jalur evakuasi. Setiap pantai memiliki jalur evakuasi tsunami yang berbeda tergantung morfologinya. Pantai Krakal dan Pantai Slili termasuk Kawasan pantai Karst dengan kemiringan lereng pantainya datar bergelombang. Hal itu membuat morfologi pantainya memiliki dinamika yang cukup tinggi (Damayanti dan Ayuningtyas, 2008). Secara umum, pemilihan dan penentuan jalur evakuasi perlu mempertimbangkan dan memahami kondisi lingkungan dan perilaku masyarakat sebagai tindakan kesiapsiagaan ancaman tsunami ke depannya (Makinoshima *et al.*, 2020). Pemilihan

jalur evakuasi akan mempengaruhi tingkat angka kematian secara signifikan, sehingga penentuan jalur perlu memperhatikan jarak dan waktu (Takabatake *et al.*, 2020). Penentuan jalur evakuasi pada wilayah kepesisiran Gunungkidul pernah dilakukan oleh Marfai *et al.*, 2021, penentuan jalur evakuasi menggunakan citra skala resolusi tinggi dengan memberikan rekomendasi evakuasi vertikal yaitu memilih beberapa alternatif jalur menuju bukit. Pada penelitian sebelumnya focus mencari jalur alternatif sedangkan penelitian yang membandingkan 2 cara seperti *Network Analysis* dan LCD dalam suatu wilayah kajian yang memiliki karakteristik morfologi berbeda belum banyak diteliti. Adanya evaluasi hasil model jalur evakuasi yang diperoleh dengan melibatkan faktor non teknis untuk mengambil keputusan akhir akan membuat jalur evakuasi lebih mudah dipahami dan informatif. Tujuan penelitian untuk mengetahui perbedaan hasil pemodelan jalur tsunami dengan metode berbeda dan melakukan evaluasi yang melibatkan masyarakat dan/atau pengunjung terhadap hasil pemodelan jalur evakuasi sebagai upaya pengurangan risiko bencana.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan di Kawasan Pantai Krakal dan Pantai Slili, terletak di Kelurahan Ngestirejo, Kecamatan Tanjungsari dan Kelurahan Sidoarjo, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1). Metode penelitian menggunakan metode campuran penelitian. Metode campuran yang digunakan dengan pendekatan *eksplanatoris sekuensial*. mengumpulkan data kemudian menganalisis data kuantitatif terlebih dahulu (pemodelan jalur evakuasi dengan data vektor dan raster) dan diperkuat dengan data kualitatif untuk menganalisis manajemen evakuasi di lokasi

penelitian berupa data sekunder hasil survei lapangan dan wawancara terbuka dengan narasumber yang meliputi pedagang, wisatawan, maupun masyarakat yang sedang beraktivitas di sekitar pantai (Sandrika *et al.*, 2020).

Wawancara terbuka digunakan untuk memperoleh pendapat dan pandangan terhadap jalur evakuasi dengan deskriptif kualitatif secara accidental sampling yang berfokus pada data lapangan sebagai data pendukung. Data diperoleh dengan wawancara mendalam terhadap pengunjung dan warga di lokasi penelitian secara langsung. Pada penelitian ini sampel informan yang digunakan sebanyak 40 orang yang terdiri dari 20 pedagang maupun masyarakat lokal yang sedang beraktivitas di kawasan pantai dan pengunjung di kedua lokasi penelitian. Berkaitan dengan metode wawancara kualitatif, maka jumlah informan bukan sebagai patokan namun tingkat kejenuhan dari informasi yang akan digunakan sebagai bahan evaluasi. Sedangkan validasi lapangan berfokus pada kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan mencakup situasi pengunjung obyek wisata Pantai Krakal dan Pantai Slili, identifikasi jalan, jembatan, aliran sungai, pusat kegiatan, persimpangan, serta kondisi topografi dan hidro-oseanografi. Selain itu, survei lapangan digunakan sebagai acuan dalam penentuan lokasi titik awal untuk skenario jalur evakuasi dengan 2 (dua) metode. Titik lokasi yang dipilih mewakili lokasi yang menjadi pusat keramaian serta kemungkinan posisi terburuk dan terjauh dari pengunjung maupun masyarakat di kedua lokasi penelitian. Lokasi titik awal terbagi menjadi 6 lokasi di pantai Krakal dan 4 lokasi di Pantai Slili.

Tabel 1. Koefisien Kekasaran Permukaan untuk Landuse

| <i>Landuse</i> | <i>Surface Roughness Coefficient</i> |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <i>Water</i> | 0,007 |
| <i>Shrubs/Bushes</i> | 0,040 |
| <i>Forest</i> | 0,070 |
| <i>Plantation</i> | 0,035 |
| <i>Open Land</i> | 0,015 |
| <i>Agricultural Land</i> | 0,025 |
| <i>Built-in Settlements/Land</i> | 0,045 |
| <i>Mangrove</i> | 0,025 |
| <i>Ponds</i> | 0,010 |

Sumber : Al Qossam *et al.*, 2020

Penelitian ini secara umum ada 3 tahap yaitu: (1) tahap pertama memodelkan genangan tsunami dengan skenario 20m, mempertimbangkan hasil pemodelan dengan skenario terburuk yang sudah dilakukan di perairan Selatan Jawa (Kasman dan Triokmen, 2021). Hasil pemodelan tsunami sebagai dasar acuan untuk penentuan lokasi bebas bahaya. Metode yang digunakan *Hloss Method* (Berryman, 2006; Carita, 2019). Klasifikasi tingkat bahaya tsunami terbagi menjadi 4 kelas. (2) tahap selanjutnya yaitu digitasi *Landuse* citra Spot 7 untuk dianalisis menggunakan metode *Least Cost Distance*. Pemodelan LCD untuk jalur evakuasi menggunakan data kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan titik lokasi tujuan evakuasi. Data kemiringan lereng digunakan untuk mengetahui kecepatan dan waktu berjalan seseorang di lahan dengan kemiringan tertentu. Data kemiringan lereng memiliki *speed conservation value* (SCV) sesuai *Tobler's Hiking Function* (Gambar 2). *Tobler's Hiking Function* untuk menghitung kecepatan berjalan manusia dalam kemiringan lereng tertentu dalam satuan derajat.

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

Keterangan: H_{loss} = Kehilangan ketinggian tsunami per 1m jarak inundasi; n = Koefisien kekasaran permukaan

Koefisien kekasaran menggambarkan kenampakan tutupan lahan, setiap koefisien kekasaran (Tabel 1) memiliki nilai yang beragam tergantung jenis tutupan lahannya (Al Qossam *et al.*, 2020).

Kecepatan berjalan (km/jam) = $6e^{-3.5 \times \text{abs}(\text{Slope} + 0.05)}$

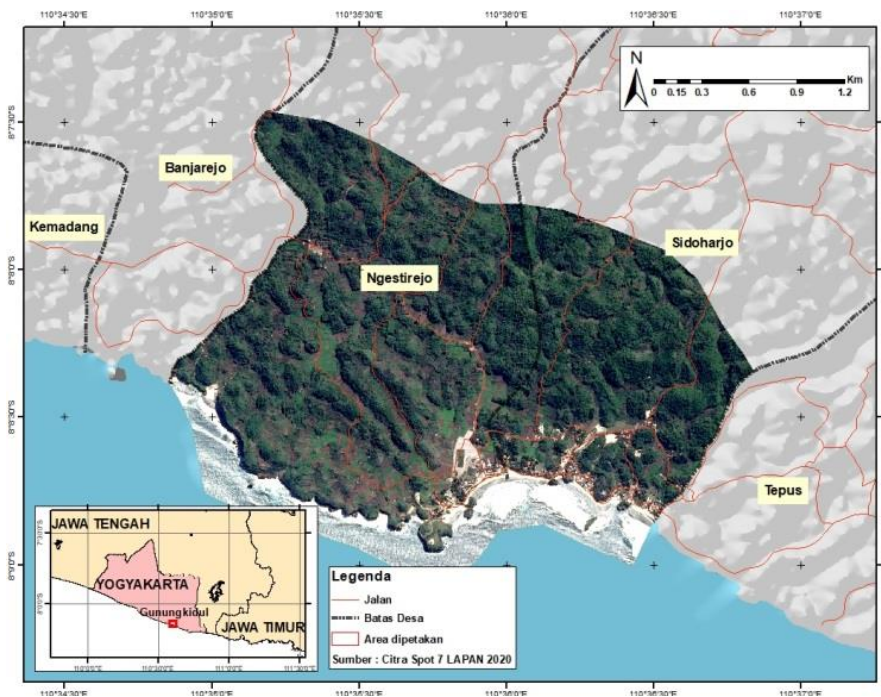
Perhitungan kecepatan berjalan perlu diinversi untuk memperoleh waktu tempat evakuasi, yang dijabarkan dalam persamaan di bawah ini:

$$W = 0,000166666 \times (\text{Exp}(3,5 \times (\text{ABS})\text{TAN}) \text{ RADIANS}(\text{Slope})) + 0,055$$

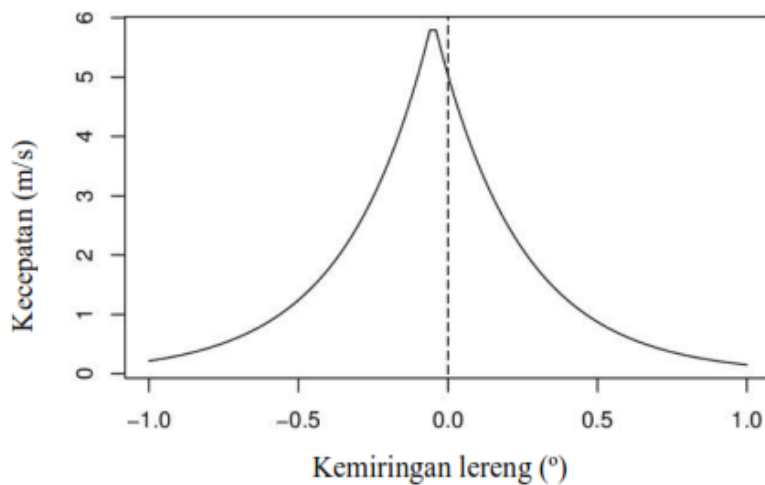
Keterangan: W = waktu tempuh evakuasi per 1 meter dengan berjalan kaki (menit); Slope = kemiringan lereng.

Semakin landai lereng maka kecepatan seseorang berjalan semakin cepat dan sebaliknya, yang dirumuskan dalam persamaan Marfai *et al.* (2021) lihat Gambar 2.

Network analysis dapat dibuat beberapa skenario, diantaranya untuk menentukan rute menuju titik lokasi tertentu dengan mempertimbangkan kondisi jalan, jenis dan tipe jalan, hambatan, waktu tempuh, kondisi topografi lingkungan. Analisis ini secara umum digunakan untuk menentukan jalur evakuasi berdasarkan aplikasi data spasial (Jeong *et al.*, 2021) data



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Grafik Speed Conservation Value (SCV) sesuai Tobler’s Hiking Function (Marfai *et al.*, 2021)

vektor atas jarak yang mengacu pada jaringan (*network*) (Purbani *et al.*, 2015). Network analysis berbasis data vektor, dengan model yang digunakan yaitu *New Route Analysis*.

Upaya risiko bencana tsunami melibatkan peran masyarakat dan/atau pengunjung Kawasan Pantai Krakal dan Slili sebagai salah satu korban yang akan terkena dampak secara langsung. Metode wawancara secara terbuka, mendalam dan detail dipilih karena mempertimbangkan informasi warga yang beraktivitas di pesisir pantai maupun pengunjung. Metode yang digunakan untuk memperoleh pendapat dan pandangan terhadap jalur evakuasi dengan deskriptif kualitatif secara *accidental sampling* yang berfokus pada data lapangan sebagai data pendukung. Pendapat pengunjung dan masyarakat sebagai bahan evaluasi terhadap layak atau tidaknya jalur evakuasi dan titik kumpul digunakan. Gambaran penelitian yang akan dilakukan dibuat dalam diagram alir penelitian (Gambar 3) untuk mempermudah memahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

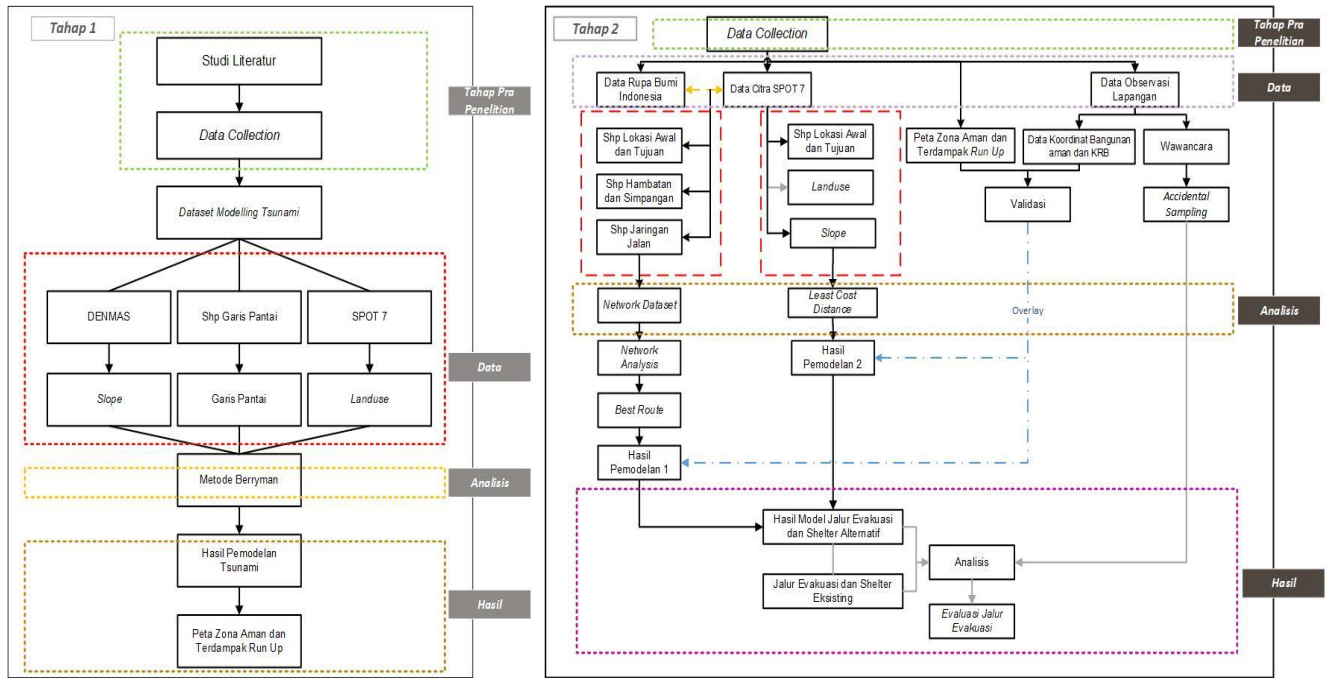
Zona bahaya di wilayah pantai Krakal dan Slili termasuk zona bahaya sedang dengan *Run up* direntan nilai 1,5 hingga 5 meter (Gambar 4). Hasil simulasi pemodelan tinggi genangan tsunami memperlihatkan jangkauan gelombang tsunami yang menjalar ke daratan. Daerah yang jauh dari sumber penyebab tsunami tergolong daerah dengan tingkat kerawanan tsunami kecil karena tinggi gelombang berkurang dan waktu tempuh tsunami semakin lama. Pada saat memasuki perairan pantai yang dangkal, gelombang tsunami akan mengalami perlambatan karena semakin besarnya hambatan berupa topografi dasar laut yang dangkal, gesekan dengan pepohonan, bangunan, dan lain sebagainya. Gelombang mengalami perlambatan, maka akan terjadi penumpukan gelombang pada saat memasuki pantai. Kondisi ini menyebabkan bertambahnya amplitudo gelombang yang mulanya hanya 1 meter pada saat di lautan dapat mencapai lebih dari >5 meter pada saat mencapai pantai. Bangunan semipermanen yang berjarak <5 meter memiliki tingkat risiko tinggi di mana akan mengalami kerusakan terparah. Hasil validasi lapangan menunjukkan bangunan yang berada di sekitar pantai Krakal dan Slili terbuat dari anyaman bambu dan kayu, hal ini dimaksudkan supaya tidak terjadi kerugian material ketika rusak karena tsunami. Hasil

analisa diketahui *Run up* Tsunami diprediksi akan sampai daratan dan merusak bangun di sekitar pantai, sehingga diperlukan pelindung pantai yang difungsikan untuk meredam gelombang tsunami (Gholami, 2016; Lu *et al.*, 2013; Septiangga *et al.*, 2019; Kasman dan Triokmen, 2021). Luasan cakupan daerah yang rentan terhadap tsunami mencapai 5.324.480,52 Ha di mana area terdampak pada kelas bahaya tinggi seluas 1.018.742,14 Ha sedangkan untuk kelas bahaya sedang 2.792.565,57 Ha yang menunjukkan bahwa bencana tsunami di kedua lokasi penelitian tergolong sedang. Selain itu, penanggulangan bencana Tsunami dapat dilakukan dengan membuat jalur evakuasi yang memperhatikan lokasi yang dianggap aman jika terjadi tsunami (Hilmi *et al.*, 2012).

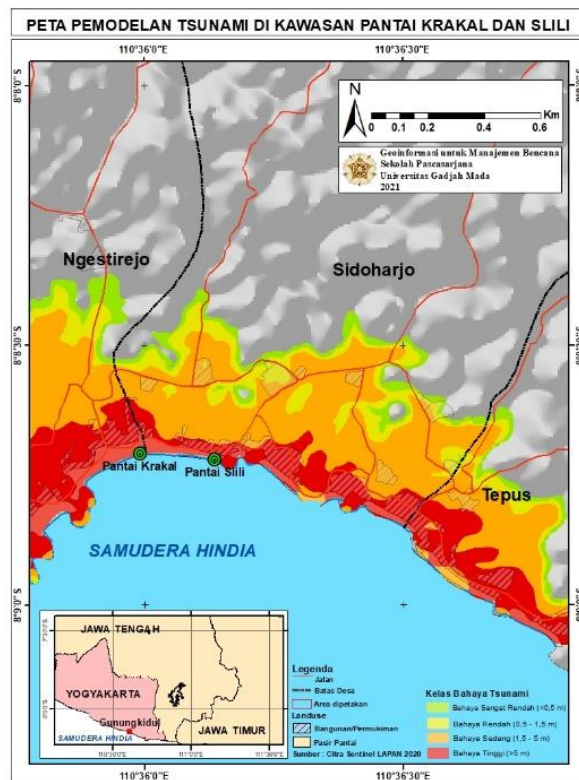
Jalur Evakuasi

Perkembangan jaman membuat adanya inovasi teknologi, SIG sebagai alat untuk melakukan analisis spasial pada semua fase bencana. Analisis spasial di antaranya berupa penentuan pemodelan genangan tsunami, penentuan jalur evakuasi dan perencanaan lokasi aman, perencanaan pengelolaan dan penanganan bencana maupun pemodelan bencana lainnya. Hasil pemodelan jalur evakuasi menggunakan *Network Analysis* dan *Least Cost Distance Model Single Scenario* yang ditunjukkan gambar 5.

Berdasarkan hasil analisis data panjang jalur *Network Analysis Single Scenario* merujuk pada Gambar 5 (a) panjang lokasi dari titik kumpul awal yang terletak di pantai Krakal menuju lokasi TES yang berupa bukit di sebelah utara pantai sepanjang 1,4 km sedangkan panjang jalur untuk rute evakuasi di Pantai Slili yaitu 1,2 km. Waktu tempuh yang dibutuhkan sekitar ±20 menit menuju TES dengan berjalan kaki, sedangkan jika menggunakan kendaraan memerlukan waktu ±10 menit jika tidak terjadi titik kepadatan atau *bottle neck*. Gambar 5 (b) menunjukkan jalur evakuasi menggunakan metode LCD memanjang sepanjang 1,3 km untuk Pantai Krakal dan 1,2 km untuk jalur evakuasi Pantai Slili. Jalur evakuasi di Pantai Krakal bukan melalui jalan utama melainkan memotong penggunaan lahan berupa ladang. Sebagaimana merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan Aji (2019) menjelaskan berdasarkan waktu peringatan, ilustrasi perhitungannya, bila kecepatan orang berjalan dengan keterbatasan fisik 3,22 km per jam dan apabila waktu evakuasi



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Kelas bahaya tsunami di wilayah Pantai Krakal dan Sili

yang ada (*golden time*) setelah peringatan tsunami adalah 30 menit, sehingga Tempat Evakuasi (TE) dapat ditempatkan pada jarak maksimum 1,61 km

dari titik berangkat menghasilkan sebuah jarak maksimum rata-rata adalah 3,22 km. Hasil penelitian yang sudah dilakukan diperkuat dengan

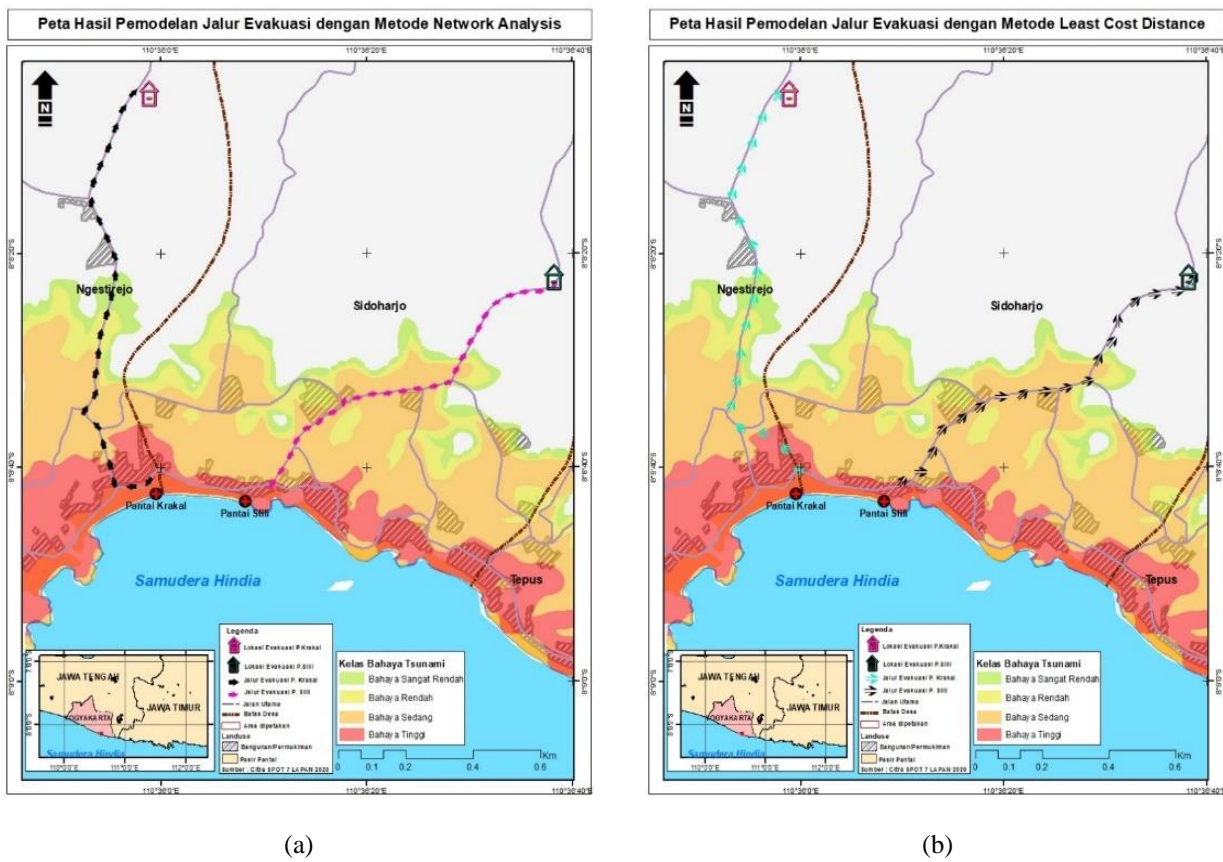
pernyataan Chungdinata *et al.*, 2019 yang menyebutkan lebar jalan dan kemudahan akses akan mempercepat proses evakuasi diri. Pembuatan jalur evakuasi dengan menggunakan analisis jaringan jalan seperti metode *Network Analysis* akan menghasilkan jalur yang aman dan efektif (Cahyani *et al*, 2019). Berbeda halnya dengan Metode *Least Cost Distance* yang menggunakan data DEM sehingga nilai pixel tersebut menyatakan ketinggian tiap tempat wilayahnya dengan konsep wilayah yang terdampak tsunami diberi nilai tinggi untuk tidak dipilih sebagai jalur evakuasi (Harsini *et al*, 2014). Sehingga penentuan jalur menggunakan LCD berdasarkan kemiringan lokasi yang diberi nilai landau akan diidentifikasi sebagai jalur.

Validasi jalur evakuasi dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan verifikasi data lapangan yang meliputi pengecekan topografi dan titik lokasi dengan *Avenza Maps*. Berdasarkan hasil verifikasi lapangan, menunjukkan jalur evakuasi di Pantai Slili dengan 2 metode hasilnya sama sedangkan di Pantai Krakal berbeda.

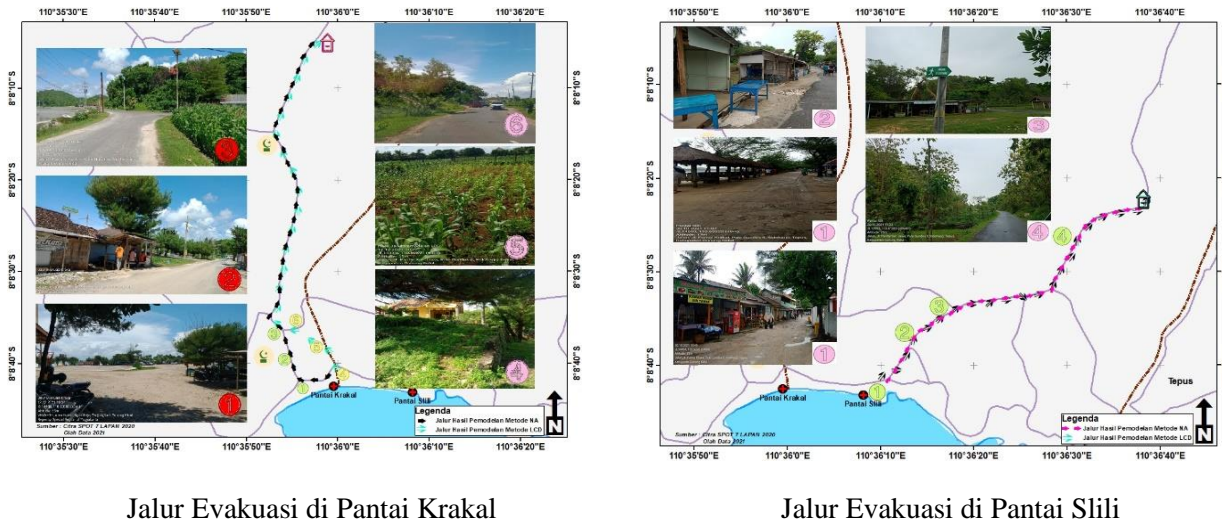
Merujuk pada hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh Nugraha (2013), jalur evakuasi yang ada di validasi dengan melakukan survei lapangan untuk dapat mengestimasi waktu tempuh dan kondisi jalan. Kondisi existing sesuai lapangan dipetakan dalam Gambar 6.

Selain menggunakan *single scenario* sesuai lokasi titik kumpul yang sudah dibuat oleh BPBD Yogyakarta. Pemodelan jalur tsunami juga dilakukan secara multi skenario dengan memberikan alternatif lokasi titik kumpul baru yang diluar zona bahaya. Pemodelan menggunakan multi skenario dapat digunakan untuk digunakan sebagai pilihan jalur yang cepat dan aman (Gambar 7).

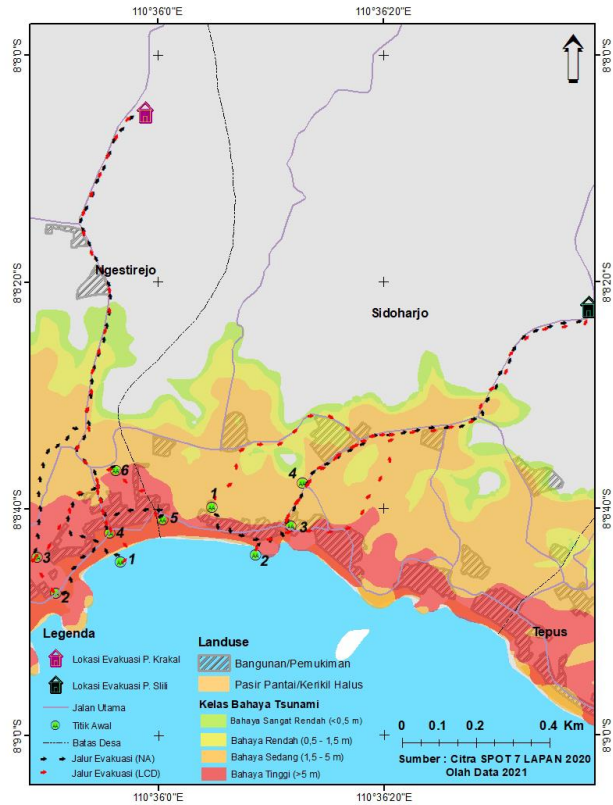
Jalur evakuasi dengan beberapa titik awal yang ditunjukkan pada Gambar 7 lokasi dekat area pantai, area pedagang, area parkir serta area yang diluar pantai Asumsi persebaran titik awal berdasarkan beberapa titik lokasi yang paling banyak aktivitas baik warga maupun pengunjung. Titik lokasi awal juga dibuat dari lokasi keramaian yang dekat sampai terjauh untuk



Gambar 5. (a) Hasil Pemodelan Jalur Evakuasi *Network Analysis Single Scenario*, (b) Hasil Pemodelan Jalur Evakuasi *Least Cost Distance Single Scenario*



Gambar 6. Survei Lapangan Jalur Evakuasi



Gambar 7. Hasil Jalur Evakuasi dengan 2 Metode Pemodelan

mengetahui jalur tercepat dan efektif. Pemodelan *Network Analysis* diperoleh hasil jarak terjauh di lokasi Pantai Krakal terletak pada titik lokasi nomor 2 (dua) dengan panjang jalur 1,5899km menuju TES dengan waktu tempuh ± 35 menit, sedangkan jalur terpendek yaitu lokasi nomor 3 (tiga) pada pantai Sili panjangnya 1,0835km

waktu tempuh ± 24 menit. Hasil pemodelan LCD menunjukkan lokasi titik kumpul dengan jarak terjauh dari lokasi 2 pantai Krakal yang berjarak 1,576km dengan waktu tempuh ± 34 menit, sedangkan terpendek dari lokasi 3 pantai Sili dengan jarak 1,0925km dengan waktu tempuh 24 menit (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan Panjang Jalur Evakuasi dengan 2 Metode di Kedua Lokasi Penelitian

| Lokasi | Rute | Network Analysis (km) | LCD (km) |
|---------------|------|-----------------------|----------|
| Pantai Krakal | S1 | 1,4804 | 1,3963 |
| | S2 | 1,5899 | 1,5760 |
| | S3 | 1,3980 | 1,2815 |
| | S4 | 1,2689 | 1,4430 |
| | S5 | 1,4238 | 1,3600 |
| | S6 | 1,1539 | 1,1643 |
| Pantai Slili | S1 | 1,4890 | 1,4407 |
| | S2 | 1,4552 | 1,4491 |
| | S3 | 1,0935 | 1,0925 |
| | S4 | 1,1880 | 1,1518 |

Berdasarkan hasil yang pemodelan dengan 2 metode di 2 lokasi bahwa penentuan jalur evakuasi menggunakan Network Analysis lebih efektif dan efisien dibandingkan metode LCD. Merujuk pada pernyataan Stevany *et al.* (2016), yang menyatakan jika *Network Analysis* merupakan metode penentuan jalur evakuasi yang tepat jika data shelter jalan yang diberikan memiliki kualitas yang baik di lapangan sehingga menghasilkan rute dengan estimasi paling cepat. Metode LCD menentukan jalur dengan memperhitungkan kemiringan topografi dalam memilih jalur dengan jalur terpendek. Pada gambar 7 memperlihatkan hasil pemodelan jalur LCD banyak yang melewati tegalan atau pun perbukitan sedangkan untuk Network Analysis menggunakan jalan utama. Panjang jalur yang diperoleh juga berbeda terlihat pada Tabel 2 jalur Network Analysis lebih panjang jika bandingkan LCD yang berarti LCD memilih jarak terpendek namun rutanya kadang belum bisa diakses dengan mudah dan perlu di validasi di lapangan.

Evaluasi Masyarakat dan/atau Pengunjung Terhadap Hasil Pemodelan Jalur Evakuasi Sebagai Upaya Pengurangan Risiko Bencana

Berdasarkan kondisi di lapangan jalur evakuasi sudah tersedia namun kurangnya informasi maupun sosialisasi membuat pengunjung dan masyarakat kurang memahami jalurnya. Lokasi TES memiliki kapasitas luas tetapi berupa perbukitan dengan pepohonan yang masih mendominasi. Berdasarkan informasi Kepala Desa Ngestirejo dan mantan Ketua Pedukuhan Bengele II yang menyatakan bahwa luas TES yang digunakan di Pantai Krakal seluas $\pm 1,5$ Ha sedangkan untuk Pantai Slili ± 1 Ha dan

masing-masing berkapasitas 300-600 jiwa. Jika dilihat dari rata-rata harian pengunjung Pantai Krakal dan Slili yaitu sekitar ± 600 jiwa pada hari biasa dan ± 1000 jiwa, maka TES masih mampu dan cukup untuk menampung. Perhitungan kapasitas ruang untuk TES, lokasi TES di kedua pantai masih memadai dan cukup di mana setiap 1 (satu) jiwa membutuhkan ruang bebas gerak $0,5 \text{ m}^2$ dalam hitungan jam (24×1 hari) sesuai dengan aturan FEMA P-646 tahun 2012.

Hal berbeda dikemukakan oleh Aji (2020) dalam penelitian terkait analisis kapasitas ruang evakuasi berdasarkan data proyeksi pengunjung tahun 2027, di mana dengan adanya pertumbuhan pengunjung sekitar 30% maka belum mencukupi. Lebar jalan utama yang digunakan sebagai rute evakuasi memiliki lebar jalan 4 meter. Maka kapasitas evakuasinya sebesar 215 orang (jiwa) dalam satuan menit dengan asumsi kecepatan orang berjalan cepat $3,3 \text{ km/jam}$ dan *space* ruang gerak bebasnya untuk berlari 1 m^2 . Selain itu jalur evakuasi yang dibuat mempertimbangkan beberapa hal seperti jarak dengan pemukiman sehingga akan mempermudah dalam proses evakuasi dan penyelamatan korban, selain itu pembuatan jalur evakuasi juga memperhatikan titik genangan dimana pada wilayah yang terdapat genangan maka tidak dapat dijadikan sebagai jalur evakuasi karena akan mempersulit proses evakuasi (Madona dan Irmansyah, 2013; Yanto, 2018; Waluyo dan Wardhani, 2021).

Hasil wawancara terbuka, detail dan mendalam berdasarkan kejenuhan jawaban dari narasumber cenderung memilih hasil pemodelan melalui metode *Network Analysis* yang memungkinkan untuk dipilih sebagai jalur terbaik dan teraman karena jalur mudah dilewati dan aksesnya mudah. Sedangkan jalur hasil

pemodelan LCD memiliki waktu tempuh lebih cepat tapi sulit dilalui karena melewati jalan kecil dan belum berhasil. Hasil wawancara dengan narasumber dan validasi lapangan menunjukkan jika jalur evakuasi sudah layak dan aman karena jalan lebar, berhasil, mudah diakses serta merupakan jalur utama yang searah dan sejajar dengan jalan raya.

KESIMPULAN

Secara garis besar, perbedaan hasil pemodelan metode *Network Analysis* dan LCD dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain topografi, lokasi pantai, keefektifitasan dari segi jarak dan waktu, maupun faktor lainnya. Sementara itu, evaluasi kedua jalur evakuasi yang dilakukan kepada para informan menunjukkan bahwa mayoritas informan lebih memahami jalur evakuasi yang dibuat dengan pemodelan *Network Analysis*. Hal ini dikarenakan jalur evakuasi tersebut tidak jauh berbeda dengan kondisi eksisting di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S. 2021. Perbandingan Nilai Hazard Kejadian Tsunami di Indonesia Berdasarkan Posisi Garis Khatulistiwa (Katalog Tsunami Indonesia 1802 - 2018). *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(1):33-45
- Aji, L.W. 2019, Penentuan Tempat Evakuasi (TE) Tsunami Pada Pantai Nguluran-Gesing-Butuh-Ngedan di Kabupaten Gunungkidul. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 15(1):74-86.
- Al Qossam, I., Nugraha, A.L. & Sabri, L.M. 2020. Pemetaan Spasial Tingkat Risiko Bencana Tsunami di Wilayah Kabupaten Serang Menggunakan Citra Spot-6. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2):132-144.
- Berryman, K. 2006, Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand, New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Science. Lower Hutt.
- BNPB. 2012. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) No. 02 Tahun 2012. Jakarta: Kantor BNPB.
- Cahyani, E., Afrita, W.N., Aza, A.E.N. & Sumunar, D.R.S. 2019. Pengembangan sistem jaringan evakuasi bencana likuifaksi di wilayah Sesar Opak. *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 17(1): 35-46. doi: 10.21831/gm.v17i1.28297
- Carita, K. 2019. Analisis Kerusakan Tutupan Lahan Akibat Bencana Tsunami Selat Sunda Di Kawasan Pesisir Pantai Kecamatan Carita Dan Kecamatan Labuan Kabupaten Pandeglang. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1): 146–155.
- Chungdinata, Stephanie E., Titaley Jullia., Montolalu, & Christie, E.J.C. 2019. Penentuan Jalur Terpendek untuk Evakuasi Tsunami di Kelurahan Titiwungen Selatan dengan Menggunakan Algoritma Floyd Warshall dan Algoritma A-Star (A*). *Jurnal Matematika dan Aplikasi*. 8(1):18-26.
- Damayanti, A. & Ayuningtyas, R. 2008. Karakteristik fisik dan pemanfaatan pantai karst Kabupaten Gunungkidul. *Makara Journal of Technology*, 12(2): p.149631.
- FEMA P 646/June 2008, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis
- Finkl, C.W. 1983. Environmental Hazards and Mitigation in the U.S Middle Atlantic Coastal Zone. *Northeastern Environmental Science*, 2(2):90–101.
- Gholami, D.M. 2016. An Overview on Role of Mangroves in Mitigating Coastal Disasters (With Special Focus on Tsunamis, Floods and Cyclones). International Conference on Architecture, Urbanism, Civil Engineering, Art, Environment. Tehran, Iran, Institute of Art and Architecture (SID), March 7
- Harsini, S., Priyana, Y. & Jumadi, S.S. 2014. Aplikasi Sistem Informasi Geografis Untuk Penentuan Jalur Evakuasi Bencana Banjir Luapan Sungai Bengawan Solo Di Kota Surakarta (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Hilmi, E., Hendarto, E. & Sahri, A. 2012. Analisis potensi bencana abrasi dan tsunami di pesisir Cilacap. *Jurnal Dialog dan Penanggulangan Bencana*, 3(1):35-42.
- Nugraha, Indrianinda. 2013. Pemetaan Jalur Evakuasi Tsunami Dengan Metode Network Analysis (Studi Kasus: Kabupaten Lampung Selatan). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9): 1689–1699
- Jeong, D., Kim, M., Song, K., & Lee, J. 2021. Planning a Green Infrastructure Network to Integrate Potential Evacuation Routes and the Urban Green Space in a Coastal City: The Case Study of Haeundae District, Busan, South Korea. *Science of the Total Environment*, 761: p.143179. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143179

- Kasman & Triokmen, E. 2021. Analisis Risiko Bencana Tsunami Di Pesisir Selatan Jawa Studi Kasus: Kabupaten Garut. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2):265-274.
- Lu, X., Mao, Y., Chen, Y., Liu, J., Zhou, Y. 2013. New Structural System for Earthquake Resilient Design. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 07(3):p.1350013. doi: 10.1142/S1793431113500139
- Madona, E., & Irmansyah, M. 2013. Aplikasi Metode Nearest Neighbor pada Penentuan Jalur Evakuasi Terpendek untuk Daerah Rawan Gempa dan Tsunami. *Elektron: Jurnal Ilmiah*, 5(2):39-46
- Makinoshima, F., Imamura, F. & Oishi, Y. 2020. Tsunami evacuation processes based on human behaviour in past earthquakes and tsunamis: A literature review. In *Progress in Disaster Science* (Vol. 7, p. 100113). Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.pdisas.2020.100113
- Marfai, M.A., Khakim, N., Fatchurohman, H. & Salma, A.D. 2021. Planning tsunami vertical evacuation routes using high-resolution UAV digital elevation model: case study in Drini Coastal Area, Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(19):1-13. doi: 10.1007/s12517-021-08357-9
- Muchtar, M. (Ed). 2015. Sumber Daya Laut di Perairan Pesisir Gunungkidul Yogyakarta. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Pusat Penelitian Oseanografi. LIPI Pres. Jakarta
- Purbani, D., Harris, M.P., Salim, H.L., Ramdhan, M., Prihantono, J. & Dewi, L.C. 2015. Analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam Penentuan Jalur Evakuasi, Tempat Evakuasi Sementara (TES) Beserta Kapasitasnya Di Kota Pariaman. *Jurnal Segara*. 11(1): 49-58
- Sandrika, H.P., Maarif, S. & Supriyatno, M. 2020. Analisis Penentuan Posisi Selter Alternatif Dan Pemodelan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Berbasis Geospatial Intelligence (Studi Kasus: Kabupaten Pangandaran). *Jurnal Teknologi Penginderaan*. 2(1):79-90.
- Septiangga, B., Yudistira, Y. & Bintang, S. 2019. Tsunami Inundation Modeling and Its Impact on Coastal Area of Manado City and Surrounding. Conference: HATHI 6th International Seminar. Kupang, Indonesia.
- Soehaimi, A. 2008. Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4):227-240
- Stevany, D., Suprayogi, A. & Sukmono, A. 2016. Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Letusan Gunung Raung Dengan Metode Network Analisis. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4):91-100.
- Takabatake, T., Nistor, I. & St-Germain, P. 2020. Tsunami evacuation simulation for the District of Tofino, Vancouver Island, Canada. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48: p.101573. doi: 10.1016/j.ijdrr.2020.101573
- Waluyo, F.A. & Wardhani, M.K. 2021. Perencanaan Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Tsunami Studi Kasus di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 2(3):226-235.