

Visualisasi Pemetaan 3D Tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat Kota Padang

Alfabiansyah Sean Fathia Ilham¹, Arie Yulfa²
^{1,2} Departemen Geografi, Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Oktober, 2025
Revised Oktober, 2025
Accepted Oktober, 2025

Kata Kunci:

Visualisasi 3D, Tsunami, Kota Padang, Pemodelan Numerik

Keywords:

3D Visualization, Tsunami, Padang City, Numerical Modeling

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memvisualisasikan dampak tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat, Kota Padang dengan menggunakan model 3D berbasis pemetaan digital. Metode yang digunakan meliputi analisis spasial dengan overlay parameter kerawanan tsunami dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Tunami-N3. Parameter yang digunakan mencakup elevasi tanah, kemiringan lereng, penggunaan lahan, jarak dari pantai, dan jarak dari sungai. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario gempa 8,9 Mw di zona megathrust Mentawai-Siberut dapat menghasilkan gelombang tsunami setinggi 12 meter dengan jarak inundasi hingga 11,3 km. Peta kerentanan tsunami yang dihasilkan menunjukkan bahwa wilayah penelitian terbagi dalam empat kategori: aman (13 ha), cukup rentan (427 ha), rentan (399 ha), dan sangat rentan (8 ha). Visualisasi 3D dengan QGIS dan Blender memberikan gambaran interaktif mengenai area terdampak, sehingga dapat digunakan sebagai media edukasi dan mitigasi bencana.

ABSTRACT

This study visualizes the tsunami impact in Air Tawar Barat, Padang City, using 3D modeling based on digital mapping. Spatial analysis was conducted by overlaying tsunami hazard parameters, and numerical simulations were performed using Tunami-N3 software. Key parameters include elevation, slope, land use, distance from the coast, and proximity to rivers. A simulated 8.9 Mw earthquake in the Mentawai-Siberut megathrust zone could generate 12-meter waves and inundate up to 11.3 km inland. The resulting vulnerability map classifies the area into four zones: safe (13 ha), moderately vulnerable (427 ha), vulnerable (399 ha), and highly vulnerable (8 ha). 3D visualizations using QGIS and Blender offer interactive views of affected areas, supporting disaster education and mitigation planning.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Name:
Institution:
Email: alfabiansyahseann@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Salah satu zona subduksi yang menjadi sumber utama gempa bumi dan tsunami di Indonesia adalah Megathrust Mentawai, yang berada di lepas pantai Sumatera Barat. Zona ini telah

mengalami beberapa gempa besar dalam sejarah, termasuk gempa tahun 1797 dan 1833, yang diikuti oleh tsunami besar yang menghancurkan sebagian wilayah pesisir Kota Padang. Berdasarkan penelitian seismotektonik, zona ini memiliki siklus gempa besar setiap 200–300 tahun, yang berarti ancaman gempa dan tsunami di masa depan masih sangat tinggi Menurut Dr. Budi Mulia (2022), Potensi tsunami di wilayah Sumatera Barat sangat signifikan mengingat adanya patahan Semangko yang melintasi daratan serta lokasinya yang berada di dekat zona pertemuan lempeng Australia dan Eurasia di dasar laut sebelah barat pulau Sumatera. Kedua faktor ini merupakan faktor penentu dalam pembentukan tsunami yang dapat mengancam kawasan pesisir. Kota Padang menurut pakar geologi dinyatakan sebagai daerah rawan gempa bumi. Ancaman ini bersumber dari Mentawai Megatruster, Sumatera Fault System dan subduksi pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Pada tanggal 20 September 2009, wilayah lepas pantai Sumatera Barat, khususnya sekitar 50 km barat laut Kota Padang mengalami Gempa Bumi dengan magnitudo 7,6 Skala Richter

Berdasarkan hal tersebut peneliti bermaksud mengedukasi masyarakat memahami bahaya tsunami dan mengetahui langkah-langkah mitigasi melalui visualisasi seperti dikatakan Louise Comfort et al. (2005) dalam jurnal "*The Role of Visualization in Communicating Tsunami Hazard and Risk*". Selain itu, Untuk memahami skenario penjalaran tsunami dan mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif, diperlukan pendekatan berbasis teknologi. Salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N3. Dalam konteks penelitian ini, TUNAMI-N3 akan digunakan untuk memodelkan skenario tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat, Kota Padang, dengan tujuan untuk memperoleh estimasi ketinggian gelombang, pola penjalaran, dan luas daerah yang berpotensi terdampak. Dengan menggunakan teknologi pemetaan 3D, informasi tentang topografi dasar laut dan elevasi permukaan air dapat diperoleh dengan lebih akurat. Dengan demikian, hasil dari pemetaan dan visualisasi tsunami di wilayah pantai Kelurahan Air Tawar Barat dapat digunakan sebagai media edukatif dalam sosialisasi kepada masyarakat tentang pentingnya persiapan evakuasi serta perbaikan sistem infrastruktur pesisir agar lebih tahan terhadap potensi ancaman dari bencana alam. Dalam konteks ini, pemetaan 3D dan visualisasi tsunami menjadi pendekatan yang relevan dalam upaya meningkatkan kesadaran publik dan memperluas pengetahuan tentang bahaya tsunami di kawasan pesisir, termasuk pantai Air Tawar Barat.

Pada penelitian sebelumnya dri Dikky Yuniansyah (2018) membahas tentang pemodelan run up tsunami menggunakan skenario jama, studi kasus bandara kulon progo dengan fokus Lokasi yang berada di sekitar bandara kulon progo. Dilanjutkan dengan penelitian dari Suhita, Siregar, J Lumban- Gaol (2021) dengan penelitiannya Pemetaan kerentanan pesisir akibat tsunami menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Buleleng Provinsi Bali dan R. Sofiana (2022) yang berfokus pada Tsunami Mitigation Strategy at Watu Ulo Beach Based on Numerical Modeling Using Delft3D-Flow. Melalui pemetaan 3D dan representasi visual, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas dan realistis tentang potensi bahaya tsunami, termasuk tingkat elevasi air, arus pasang, serta luas wilayah yang dapat terkena dampak.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis pemetaan 3D dan representasi visual tsunami di wilayah pantai Kelurahan Air Tawar Barat, Kota Padang, dengan tujuan utama meningkatkan kesadaran publik tentang bahaya tsunami dan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang potensi ancaman tersebut. Output penelitian ini berupa visualisasi 3D dan animasi bencana tsunami realistis yang dapat digunakan untuk menggambarkan simulasi penjalaran gelombang tsunami, mengidentifikasi wilayah kerentanan tsunami yang terdampak, serta

pembuatan skenario bencana tsunami. Dengan hasil penelitian ini, dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai penjalaran gelombang tsunami, estimasi ketinggian gelombang, dan dampaknya terhadap wilayah pesisir. Informasi ini diharapkan dapat mendukung perencanaan mitigasi bencana dan penguatan infrastruktur pesisir untuk menghadapi potensi tsunami di wilayah pantai Kelurahan Air Tawar Barat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Visualisasi Pemetaan 3D dalam Konteks Bahaya Tsunami*

Visualisasi pemetaan 3D menjadi alat yang efektif dalam menggambarkan dengan jelas dan detail potensi bahaya tsunami kepada masyarakat. Dalam desain pemetaan untuk visualisasi model 3D virtual harus mempertimbangkan komponen internal maupun internal menyangkut adaptasi berbasis elemen, seperti generalisasi yang sesuai, kombinasi elemen dan metode rendering. Bergantung pada jarak kamera dan view angle, detail elemen informasi perlu diubah dalam hal agregasi, penyorotan, atau pemilihan. Dengan cara yang sama metode rendering menyediakan berbagai mekanisme yang mendukung bahasa grafis yang jelas untuk transmisi informasi (Markus Jobst, 2008).

Visualisasi pemetaan 3D memanfaatkan teknik dan metode seperti pengolahan data spasial, pemodelan topografi, dan teknologi pemetaan digital untuk menghasilkan representasi visual yang realistis dari wilayah pantai air tawar Kota Padang. Kelebihan dan manfaat dari visualisasi pemetaan 3D adalah kemampuannya dalam menyajikan informasi secara visual yang mudah dipahami dan memberikan pengalaman yang mendekati situasi nyata kepada pengguna. Selain itu, konsep visualisasi pemetaan 3D dalam konteks bahaya tsunami meliputi penggunaan teknologi pemetaan 3D dan sistem informasi geografis (SIG) untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi terdampak tsunami dan memetakan zona keterpaparan pemukiman terhadap bahaya tsunami.

Menurut Smith et al. (2019), visualisasi pemetaan 3D memiliki keunggulan dalam memberikan gambaran yang lebih nyata dan mendalam tentang struktur geografis wilayah pantai air tawar, termasuk ancaman yang dihadapi akibat tsunami. Hal ini dapat membantu masyarakat memahami dan menginternalisasi informasi tentang risiko bencana dengan lebih baik, karena visualisasi 3D memberikan pengalaman yang lebih interaktif dan menarik akan dibahas tentang penerapan visualisasi pemetaan 3D dalam konteks bahaya tsunami di wilayah pantai air tawar Kota Padang. dalam Penerapan Visualisasi Pemetaan 3D

2.2 *Representasi Visual*

Representasi visual adalah penggunaan elemen visual seperti gambar, grafik, dan diagram untuk menggambarkan informasi tentang bahaya tsunami secara visual. Prinsip dasar representasi visual dalam konteks bahaya tsunami meliputi pemilihan elemen visual yang sesuai, seperti warna, bentuk, dan ukuran, guna menciptakan representasi yang jelas dan menarik perhatian.

2.3 *Tsunami*

Tsunami adalah gelombang laut besar yang dihasilkan oleh gangguan tiba-tiba di dasar laut, seperti gempa bumi bawah laut, letusan gunung berapi, tanah longsor

bawah laut, atau jatuhnya meteor ke laut. Gangguan ini menyebabkan perpindahan besar volume air laut, yang kemudian menghasilkan gelombang dengan panjang gelombang yang sangat besar. Menurut United States Geological Survey (USGS), tsunami memiliki kecepatan yang sangat tinggi di perairan dalam, mencapai 600–900 km/jam, namun melambat saat mendekati pantai sambil mengalami peningkatan ketinggian. Di Indonesia, tsunami paling sering dipicu oleh gempa tektonik akibat aktivitas subduksi lempeng, seperti yang terjadi di Megathrust Mentawai di barat Pulau Sumatra.

Proses terjadinya tsunami dapat dibagi menjadi empat tahap utama:

1. Gangguan Dasar Laut (Triggering Event)

Terjadi akibat gempa tektonik, letusan gunung api, tanah longsor bawah laut, atau jatuhnya meteor. Jika gempa bumi terjadi dengan magnitudo $\geq 7,0$ Mw dan pusat gempa berada di laut dengan kedalaman kurang dari 100 km, maka berpotensi memicu tsunami.

2. Deformasi Dasar Lau

Jika gempa menyebabkan patahan atau pergeseran besar di dasar laut, maka volume air laut akan mengalami perubahan mendadak, menciptakan gelombang besar yang menyebar ke segala arah.

3. Penjalaran Gelombang Tsunami

Gelombang tsunami menjalar dengan kecepatan tinggi di perairan dalam. Saat mendekati perairan dangkal (zona pesisir), kecepatan gelombang menurun, tetapi tinggi gelombang meningkat secara drastis akibat efek shoaling.

4. Gelombang Mencapai Daratan

Gelombang tsunami menerjang pantai dengan ketinggian yang bisa mencapai lebih dari 10 meter, tergantung pada kedalaman laut, konfigurasi pantai, dan kekuatan gempa.

Tsunami dapat menyebabkan dampak yang sangat besar terhadap masyarakat dan lingkungan. Dampak ini dapat dikategorikan menjadi kerusakan fisik, dampak sosial-ekonomi, dan dampak lingkungan. Seperti adanya dampak fisik yang menghancurkan infrastruktur. Dampak sosial-ekonomi dengan adanya korban jiwa dan cedera serta gangguan aktivitas ekonomi. Dampak lingkungan dengan adanya kerusakan ekosistem laut dan pencemaran air dan tanah

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan teknik analisis TUNAMI N3 untuk memodelkan penjalaran gelombang dan skenario rambatan tsunami. Lokasi penelitian berada di Kelurahan Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, dengan letak astronomis sekitar $0^{\circ}54'$ LS dan $100^{\circ}21'$. Penelitian ini dibantu dengan alat dan aplikasi dari ArcGis 10.8 untuk analisis spasial dan pemetaan data tsunami. QGIS untuk membuat visualisasi 3D. Global Mapper untuk mengolah data batimetri. TUNAMI-N3 untuk membuat simulasi pergerakan gelombang Tsunami. Blender untuk membuat visualisasi yang lebih realistis.

Penelitian ini memperoleh data Badan Informasi Geospasial Indonesia dengan format data raster dan data vektor. Data lain juga berasal dari BMKG untuk memperoleh data riwayat gempa. Data observasi lapangan yang khusus berada di Air Tawar Barat untuk mengidentifikasi bangunan dan daerah yang berpotensi terkena gelombang tsunami. Data primer ini diperoleh melalui survei di wilayah pesisir pantai dan pemukiman. Sementara itu, pendekatan sekunder melibatkan penggunaan data sekunder berupa file SHP (Shapefile) dari Tanah Air Geospasial dan data dari OpenStreetMap (OSM) yang mencakup garis pantai, sungai, landuse, dan data DEM (Digital Elevation Model). Data sekunder ini diunduh dari sumber- sumber resmi yang menyediakan data geospasial untuk umum.

Teknik analisis data melibatkan pemodelan tsunami sebagai konsekuensi dari potensi gempa bumi terburuk. Dengan memanfaatkan perangkat lunak TUNAMI-N3 sebagai alat bantu untuk menggambarkan waktu tiba dan ketinggian gelombang tsunami di wilayah penelitian. Penelitian ini menggunakan model analisis numerik dari Universitas Tohoku untuk Investigasi Tsunami Jarak dekat no.3 (TUNAMI-N3). Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap. Yang pertama adalah pra pemrosesan dalam penelitian itu sendiri itu membuat file data batimetri dan topografi di software Global Mapper. Tahap kedua adalah pengolahan program Tunami-N3 yang sedang berjalan. Tahap ketiga model ini adalah tahap post processing yang mengolah hasil pemodelan agar bersifat informatif dan komunikatif. Selanjutnya dalam melakukan analisis data hasil penelitian menggunakan metode analisis statistik deskriptif. Analisis statistik digunakan untuk meunjukkan hasil penentuan penjalaran gelombang dan perambatan gelombang tsunami. Hasil analisis statistik selanjutnya dideskripsikan. Selanjutnya, juga dilakukan pendeskripsian hasil visualisasi 3D bahaya tsunami untuk mengetahui daerah rawan tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat, Kota Padang

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

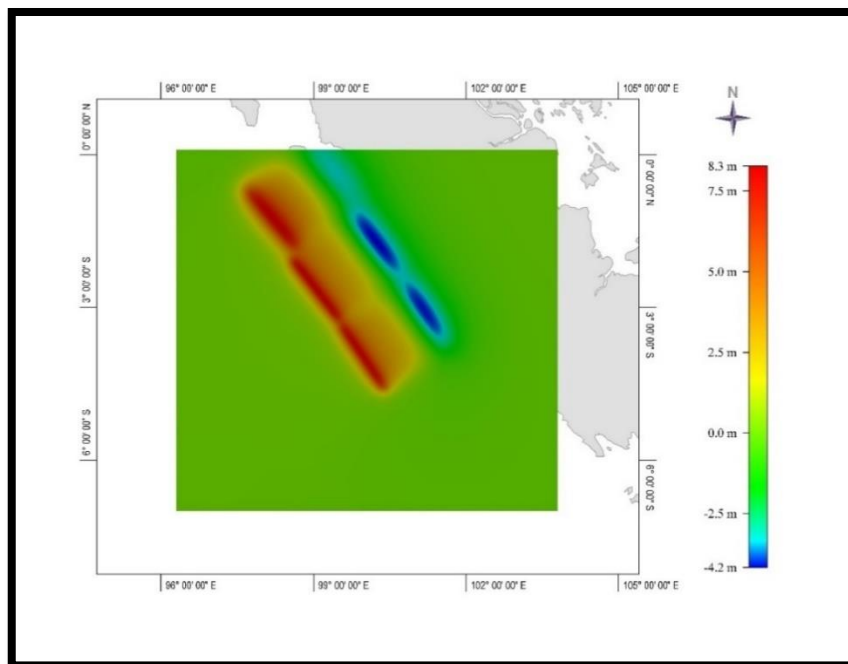
4.1 Analisis Skenario Penjalaran Gelombang Tsunami dan Identifikasi Wilayah Rawan Terdampak

Simulasi tsunami menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N3 memerlukan model sumber gempa yang akurat sebagai input krusial. Model ini dibangun berdasarkan sembilan parameter gempa utama yang mendeskripsikan karakteristik sesar dan pengaruhnya terhadap deformasi dasar laut. Studi Wells & Coppersmith (1994) menjadi acuan utama dalam memperkirakan dimensi sesar, seperti panjang dan lebar sesar, serta *slip* (pergeseran), berdasarkan magnitudo gempa yang dipilih. Penelitian ini menyediakan hubungan empiris yang memungkinkan perhitungan parameter deformasi secara konsisten. Selain itu, Blaser et al. (2010) berperan dalam mengintegrasikan data gempa dengan informasi geologi, termasuk data *slab* (lapisan lempeng subduksi), untuk memodelkan mekanisme patahan secara lebih akurat. Dalam konteks simulasi ini, hasil multideform menunjukkan inisial tinggi tsunami sebesar 8,3 meter.

Simulasi TUNAMI-N3 dalam penelitian ini menggunakan metode *nested grid* dengan membagi wilayah menjadi empat domain untuk meningkatkan resolusi dan presisi perhitungan pada domain terkecil yang mencakup lokasi penelitian (Tabel 4.1). Waktu simulasi ditetapkan selama 3600 detik (60 menit) dengan interval *snapshot* setiap 30 detik (Tabel 4.2).

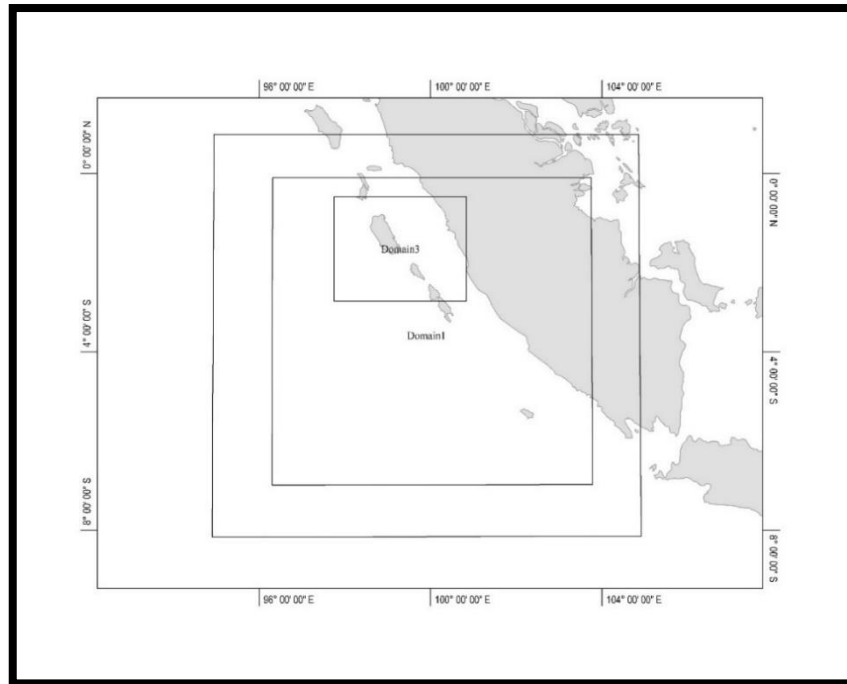
Mw	Mo	Total Mag.	No. "fault"	Epicenter (deg.)		Mag. (Mw)	Depth (km)	Focal Mechanism			Dimension		Disloc. (m)	Rigidity (Gpa)
				Lon.	Lat.			Strike	Dip	Slip	L(km)	W(km)		
8.71	1.45E+22	Mw. 8,9	fault-1	98.7153	-0.7970	8.7	23	320	14.39	90	170	164.1	20.0	26
8.57	8.93E+21		fault-2	99.6068	-2.2069	8.6	15.8	322	10.7	90	170	164.1	20.0	16
8.57	8.93E+21		fault-3	100.5605	-3.5752	8.6	15.7	326	10.5	90	170	164.1	20.0	16
8.94	3.24E+22		Total				8.9							

Gambar 1. Sembilan Parameter Untuk Men-Generate Multideform Untuk Source Tsunami M8.9 Dari Megathrust Mentawai-Pagai



Gambar 2. Menunjukkan Hasil Dari Multideform Dengan 9 Parameter Tadi, Inisial Tinggi Tsunami Dalam Skenario Ini Sebesar 8,3 Meter

Pemodelan tsunami menggunakan TUNAMI-N3 terdiri dari tiga tahap utama. Tahap pra-pemrosesan mencakup pembuatan domain pemodelan, di mana area kajian dan titik sumber gempa ditentukan. Metode *nested grid* digunakan dengan membagi wilayah menjadi empat domain, di mana domain yang lebih kecil memiliki resolusi lebih tinggi untuk meningkatkan akurasi perhitungan. Data batimetrik dan topografi diperoleh dari sumber seperti BATNAS, GEBCO, dan DEMNAS.



Gambar 3. Domain Pemodelan yang Digunakan Untuk Simulasi TUNAMI-N3

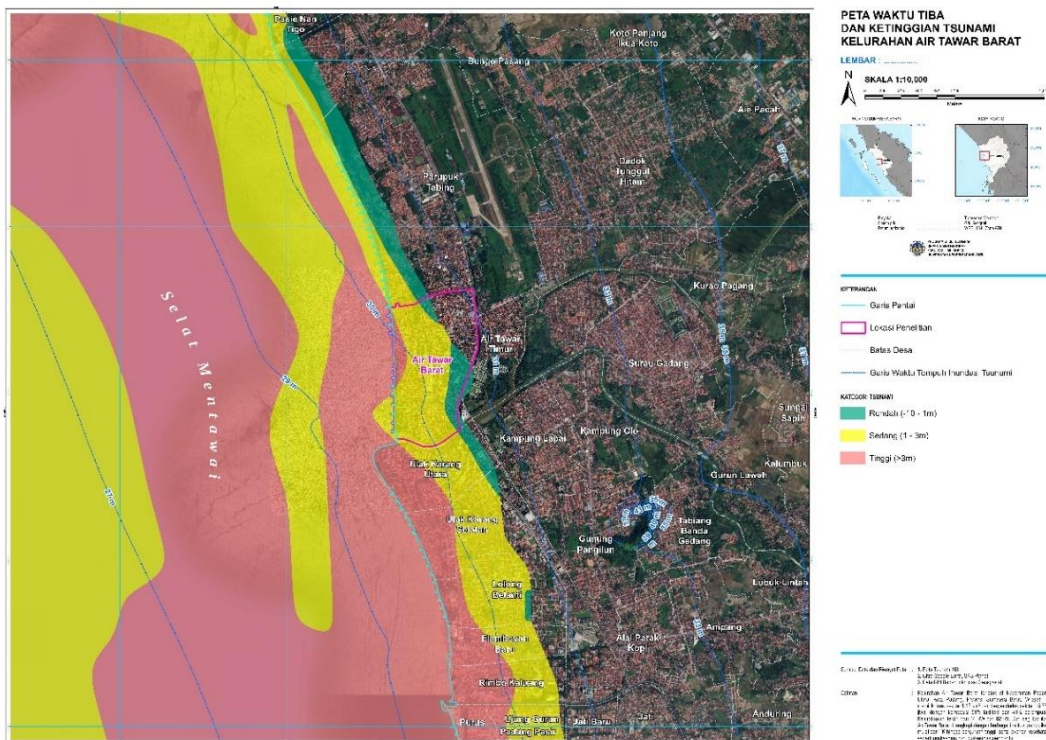
Tahap pemrosesan meliputi setting pemodelan dan *running* simulasi, yang mencakup persiapan *input* seperti *file* topografi, sumber tsunami, titik observasi, dan data kekasaran (Manning Roughness). Selanjutnya, parameter pemodelan seperti jumlah *grid*, *time step*, dan waktu simulasi ditentukan sebelum menjalankan simulasi menggunakan skrip TUNAMI-N3. Tahap *post-processing* mencakup analisis hasil simulasi, seperti tinggi tsunami maksimum dan waktu tiba tsunami yang digunakan untuk menilai dampak tsunami pada wilayah kajian. Pada kasus ini, digunakan 4 *layer* atau domain untuk di area lokasi penelitian. Semakin kecil domain, maka ukuran *grid* semakin kecil dan data topografi serta batimetri yang digunakan lebih detail, hal ini diperlukan untuk memperoleh perhitungan yang presisi pada domain terkecil. Waktu simulasi ditetapkan selama 3600 detik (60 menit) dengan interval *snapshot* setiap 30 detik

Identifikasi wilayah rawan terdampak dilakukan dengan mengklasifikasikan ketinggian gelombang tsunami dan menghitung luas area yang terpengaruh. Klasifikasi ketinggian gelombang tsunami (Rendah: <1 meter; Sedang: 1-3 meter; Tinggi: >3 meter) mengacu pada Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Perka BNPB) Nomor 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Perlu dicatat bahwa Perka BNPB Nomor 2 Tahun 2014. Penggunaan kategori standar dari Perka BNPB No. 02 Tahun 2012 ini merupakan kekuatan metodologis karena selaras dengan pedoman nasional untuk penilaian risiko bencana. Berdasarkan analisis ini, luas area terdampak adalah: Rendah (18,32 ha), Sedang (82,59 ha), dan Tinggi (8,64 ha)

4.2 Estimasi Ketinggian Gelombang Tsunami dan Interpretasi Dampaknya

Berdasarkan hasil simulasi jangkauan tsunami, diketahui bahwa di Kelurahan Air Tawar Barat, skenario gempa 8,9 Mw dari megathrust Mentawai-Pagai berpotensi menghasilkan ketinggian gelombang tsunami maksimal hingga 12 meter dengan jarak inundasi mencapai 8,3 km, dalam skenario waktu penjarangan gelombang selama 1 jam. Namun, perlu diklarifikasi konsistensi data, karena peta ketinggian tsunami juga menunjukkan bahwa tinggi gelombang maksimum di

lokasi penelitian mencapai 12 meter. Perbedaan 3 meter dalam ketinggian maksimum ini sangat signifikan dan memerlukan penjelasan untuk memastikan presisi penilaian risiko, karena gelombang setinggi 12 meter akan memiliki daya hancur yang jauh lebih besar dan potensi jangkauan inundasi yang lebih luas. Pemilihan skenario magnitudo 8,9 Mw ini didasarkan pada pertimbangan ilmiah, antara lain sejarah gempa besar di zona Megathrust Mentawai-Pagai. Penggunaan skenario ekstrem ini bertujuan untuk memberikan gambaran dampak terburuk guna mendukung perencanaan mitigasi, seperti pemetaan jalur evakuasi dan penguatan infrastruktur. Berikut tampilan estimasi peta waktu tiba dan ketinggian tsunami.

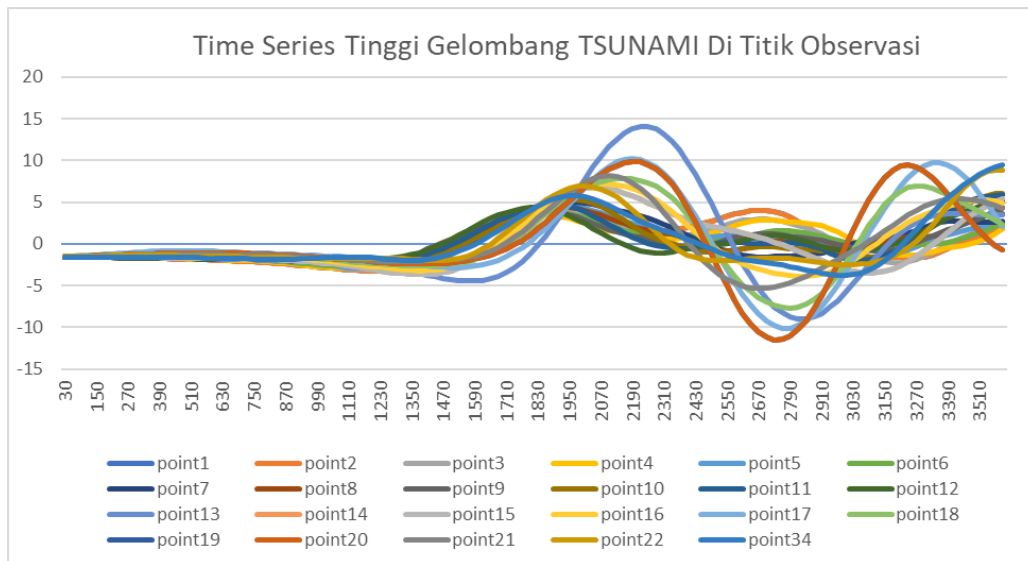


Gambar 4. Peta Waktu Tiba dan Ketinggian Tsunami

Berdasarkan peta waktu tiba dan ketinggian tsunami dampak tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat dapat dianalisis berdasarkan kategori tinggi gelombang dan waktu tiba tsunami. Untuk kategori Rendah (<1 meter), wilayah seluas 18,32 hektar diperkirakan hanya akan mengalami genangan ringan, dengan dampak pada infrastruktur yang tidak signifikan, namun tetap memerlukan kewaspadaan terhadap erosi pantai atau gangguan kecil. Untuk kategori Sedang (1-3 meter), wilayah seluas 82,59 hektar berada dalam kategori ini, dengan dampak yang mencakup potensi kerusakan bangunan ringan hingga sedang, gangguan luas terhadap aktivitas masyarakat, dan kebutuhan untuk evakuasi skala besar. Sementara itu, untuk kategori Tinggi (>3 meter), wilayah seluas 8,64 hektar, terutama di area pesisir dengan elevasi rendah, akan menghadapi risiko tertinggi. Gelombang setinggi ini memiliki daya rusak yang sangat besar, berpotensi menyebabkan kerusakan infrastruktur berat, kehancuran bangunan, dan potensi korban jiwa yang tinggi.

Dampak ini juga dipengaruhi oleh waktu tiba tsunami. Waktu tempuh yang cepat, seperti 25-29 menit, memberikan waktu yang sangat terbatas bagi masyarakat untuk melakukan evakuasi. Area yang lebih jauh dari pantai, dengan waktu tiba lebih lama, memiliki peluang evakuasi lebih besar, meskipun tetap berisiko jika tsunami mencapai ketinggian yang signifikan. Secara

keseluruhan, wilayah dengan tinggi gelombang lebih dari 3 meter dan waktu tiba kurang dari 30 menit merupakan area dengan risiko tertinggi, sehingga memerlukan prioritas evakuasi dan mitigasi bencana untuk meminimalkan dampaknya.



Gambar 4. Grafik Waktu Tiba dan Ketinggian Maksimum Tsunami Sumber: Penelitian 2024

Grafik waktu tiba dan ketinggian maksimum tsunami memberikan gambaran dinamika gelombang yang kompleks di berbagai titik observasi. Data untuk grafik ini diperoleh dari output simulasi TUNAMI-N3 yang kemudian diolah menjadi format Excel untuk penyusunan grafik. Pada fase awal (30–1000 detik), tinggi gelombang cenderung mendekati nol, mencerminkan kondisi sebelum gelombang tsunami mencapai titik observasi atau saat gelombang masih dalam fase kecil. Memasuki pertengahan waktu (sekitar 1000–2000 detik), gelombang mulai menunjukkan kenaikan dan penurunan yang signifikan, dengan puncak gelombang yang tinggi dan dasar gelombang yang dalam, menandakan intensitas maksimum gelombang.

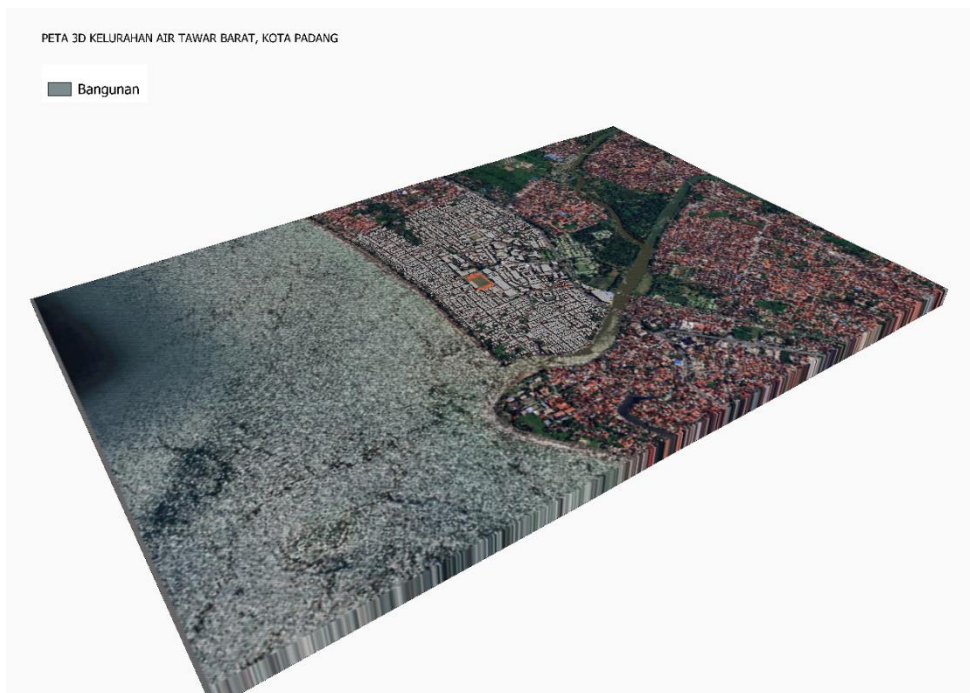
Temuan penelitian ini memiliki implikasi signifikan untuk perencanaan mitigasi bencana di Kelurahan Air Tawar Barat. Dengan potensi ketinggian gelombang ekstrem (hingga 12 meter) dan waktu tiba yang sangat cepat (25-30 menit), wilayah ini memerlukan strategi mitigasi yang komprehensif dan terintegrasi. Rekomendasi meliputi:

1. Penetapan jalur evaluasi yang jelas, mudah diakses dan ditandai dengan metode yang jelas.
2. Pembangunan Shelter Vertikal. Menurut OECD (2018), infrastruktur yang tangguh harus mampu mengantisipasi, mempersiapkan, dan beradaptasi dengan kondisi yang berubah, serta diintegrasikan ke dalam setiap tahap pengembangan infrastruktur (perencanaan, perancangan, konstruksi, operasi).
3. Peningkatan sistem peringatan yang jelas. Menurut Basher et al. (2006) dan UN/ISDR (2006), sistem peringatan dini yang efektif harus mengintegrasikan empat elemen kunci: pengetahuan tentang risiko, layanan pemantauan dan peringatan teknis, diseminasi dan komunikasi peringatan yang bermakna kepada mereka yang berisiko, serta kemampuan untuk merespons secara memadai.

4. Penguatan infrastruktur pesisir. Pembangunan dan penguatan infrastruktur pesisir harus mempertimbangkan standar ketahanan tsunami yang lebih tinggi.
5. Edukasi dan latihan komunitas. Program edukasi dan latihan evakuasi rutin harus menjadi prioritas untuk meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat. Amri et al. (2017) juga menekankan bahwa komunitas harus menjadi fokus utama dalam upaya pengurangan risiko bencana tsunami, dan keterlibatan komunitas sangat penting untuk meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan, menghindari ketergantungan berlebihan pada solusi teknologi.

4.3 Visualisasi 3D Skenario Penjalaran Tsunami dan Dampaknya

Peta 3D dibuat menggunakan QGIS untuk merepresentasikan topografi dan wilayah terdampak tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat. Data yang digunakan dalam proses ini meliputi Digital Elevation Model (DEM), batimetri, serta hasil simulasi tsunami dari perangkat lunak TUNAMI-N3. Data geospasial ini kemudian diolah dalam QGIS untuk membentuk model tiga dimensi yang menampilkan kontur daratan, garis pantai, serta elevasi wilayah pesisir.



Gambar 5. Visualisasi Peta 3D Lokasi Penelitian

Lalu, dengan peta ketinggian gelombang tsunami dengan kode warna, dimana merah menunjukkan ancaman tinggi (>3 meter) dan hijau menunjukkan ancaman rendah (<1 meter). Hasil simulasi tsunami seperti estimasi ketinggian gelombang dan wilayah terdampak juga ditampilkan dalam format peta tematik 3D, di mana warna digunakan untuk membedakan tingkat ancaman. Misalnya, daerah dengan ketinggian gelombang lebih dari 3 meter diberi warna merah, sedangkan daerah dengan gelombang rendah kurang dari 1 meter diberi warna hijau. Representasi ini bertujuan untuk memberikan pemahaman visual yang lebih jelas mengenai tingkat risiko di berbagai area.



Gambar 6. Visualisasi 3D Peta Ketinggian Tsunami

4.4 Peningkatan Visualisasi 3D dan Animasi Gelombang Tsunami di Blender

Setelah model dasar dibuat di QGIS, tahap selanjutnya adalah peningkatan visualisasi menggunakan Blender untuk menghasilkan representasi yang lebih realistis dan detail. Model 3D yang telah dibuat diekspor ke Blender untuk ditambahkan efek tekstur, pencahayaan, serta simulasi pergerakan gelombang. Fitur *fluid simulation* di Blender digunakan untuk memodelkan dinamika air secara akurat, menunjukkan bagaimana gelombang tsunami merambat dari laut ke daratan.

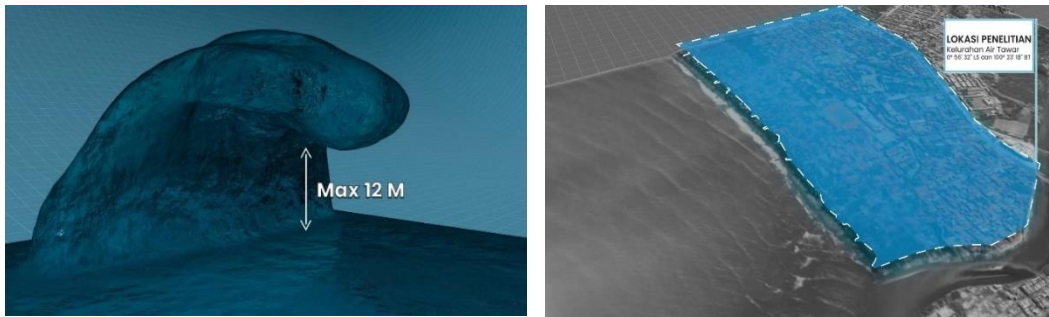


Gambar 7. Peningkatan Visualisasi 3D Lokasi Penelitian di Blender



Gambar 8. Visualisasi 3D dan Animasi Pra Tsunami dan Pasca Tsunami

Penambahan efek refleksi dan transparansi pada permukaan air juga diterapkan untuk tampilan yang lebih natural. Pengaturan ini bertujuan untuk mencapai representasi visual yang paling mendekati kondisi nyata dan meningkatkan imersi penonton. Dengan adanya peningkatan visualisasi ini, model tsunami tidak hanya berbentuk statis, tetapi juga dapat divisualisasikan secara dinamis dalam bentuk animasi, yang dapat digunakan untuk edukasi dan sosialisasi mitigasi bencana kepada masyarakat.



Gambar 9. Visualisasi 3D Gelombang Tsunami

Hasil akhir dari visualisasi ini memberikan gambaran yang lebih akurat tentang dampak tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat. Dari hasil pemetaan, terlihat bahwa wilayah pesisir memiliki risiko tertinggi, dengan potensi ketinggian gelombang maksimum mencapai 12 meter. Visualisasi dalam bentuk 3D ini membantu dalam mengidentifikasi area rawan, sehingga dapat digunakan oleh pemerintah dan masyarakat dalam perencanaan jalur evakuasi dan strategi mitigasi yang lebih efektif.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai visualisasi pemetaan 3D tsunami di Kelurahan Air Tawar Barat, Kota Padang, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

a. Simulasi Penjalaran Tsunami

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N3 menunjukkan bahwa skenario gempa megathrust Mentawai-Pagai dengan magnitudo 8,9 Mw memiliki potensi menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian maksimum hingga 12 meter. Estimasi waktu tempuh gelombang tsunami untuk mencapai wilayah pesisir Kelurahan Air Tawar Barat adalah sekitar 25-30 menit setelah gempa terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki tingkat risiko yang tinggi terhadap bencana tsunami, sehingga perlu adanya strategi mitigasi yang lebih optimal.

b. Identifikasi Wilayah yang Rawan Terdampak Tsunami

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa daerah dengan elevasi rendah, terutama di sekitar garis pantai, merupakan area yang paling rentan terdampak tsunami. Berdasarkan klasifikasi ketinggian gelombang tsunami menurut Perka BNPB No. 2 dan luas wilayah terdampak, hasil analisis menunjukkan:

- 1) Kategori Rendah (<1 meter) dengan luas 18,32 ha: Wilayah yang hanya mengalami genangan ringan tanpa dampak signifikan terhadap infrastruktur.
- 2) Kategori Sedang (1-3 meter) dengan luas 82,59 ha: Wilayah dengan potensi kerusakan bangunan ringan hingga sedang serta gangguan aktivitas masyarakat.
- 3) Kategori Tinggi (>3 meter) dengan luas 8,64 ha: Wilayah yang berisiko mengalami kerusakan infrastruktur berat, kehancuran bangunan, dan potensi korban jiwa tinggi.

c. Visualisasi 3D

Penggunaan Blender dalam penelitian ini telah berhasil meningkatkan kualitas visualisasi dampak tsunami dengan lebih realistis. Model 3D yang dibuat mampu menampilkan gelombang tsunami sebelum, saat, dan setelah kejadian dengan lebih detail. Simulasi ini memberikan gambaran yang lebih mudah dipahami oleh masyarakat dan pemangku kebijakan, sehingga dapat digunakan sebagai media edukasi dan sosialisasi mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- 3D ISOMETRIC ART. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan* (2022) 5(3) 170-179
- Bidang Pencegahan & Kesiapsiagaan, n.d.; KAJIAN RISIKO BENCANA KOTA PADANG SUMATERA BARAT 2014-2018
- Dübel, Steve, and Heidrun Schumann. "Visualization of features in 3D Terrain." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6.11 (2017): 357.
- Dübel, Steve, et al. "2D and 3D presentation of spatial data: A systematic review." 2014 IEEE VIS international workshop on 3DVis (3DVis). IEEE, 2014.
- Imani & Wiraseptya (2022) PERANCANGAN PETA ZONA GEMPA DAN TSUNAMI KOTA PADANG MENGGUNAKAN TEKNIK 3D ISOMETRIC ART. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan* (2022) 5(3) 170-179
- Jobst & Döllner, n.d.; Visualisasi Model Kota 3D dengan Desain Berorientasi Kartografi (Kasus Kota Padang, Sumatera Barat), n.d.; Suhita et al., 2021; Trikusuma et al., 2021; TSUNAMI, Kemec, n.d.; MEMILIH MODEL VISUALISASI PERKOTAAN 3D UNTUK PENANGGULANGAN BENCANA: PENDEKATAN BERBASIS ATURAN
- Nielsen, Anette Hougaard. "A qualification of 3D geovisualisation." (2007).
- Oktiari et al., n.d.; 40 MODEL GEOSPASIAL POTENSI KERENTANAN TSUNAMI KOTA PADANG MODEL GEOSPASIAL POTENSI KERENTANAN TSUNAMI KOTA PADANG
- PENGARUH PENGALAMAN BENCANA TERHADAP, n.d.; RANCANG BANGUN PETA 3D PADA KAWASAN MONUMEN TSUNAMI SIGLI DENGAN MENGGUNAKAN GOOGLE EARTH DAN GOOGLE SKETCHUP, n.d.; RENCANA KONTINJENSI MENGHADAPI BENCANA TSUNAMI PROVINSI SUMATERA BARAT, n.d.; Semmo, Amir, et al. "Cartography-oriented design of 3D geospatial information visualization—overview and techniques." *The Cartographic Journal* 52.2 (2015): 95-106.
- Sharma, Durga Satyanarayan, and Shireeshkumar Shardkumar Rudrawar. "3D Modelling and photorealistic visualization of Tsunami using geospatial Techniques."
- Stoter, Jantien E. 3D Cadastre. Vol. 57. NCG, 2004.
- Suhita N, Siregar V, Lumban-Gaol J(2021). Coastal vulnerability mapping due to tsunami using Geographic Information System in Buleleng Regency, Bali Province
- Syarief, A., Arief, D. A., & Purwaningsih, E. (2020, August). Spatial Analysis on the Utilization of Mosque in the Tsunami Disaster Mitigation in Padang. In 1st Progress in Social Science, Humanities and Education Research Symposium (PSSHRS 2019) (pp. 154- 157). Atlantis Press.
- TINGKAT RISIKO BENCANA TSUNAMI DAN VARIASI SPASIALNYA (Studi Kasus Kota Padang, Sumatera Barat), n.d.;
- Trikusuma F, Prasetyo Y, Hadi F (2021). PEMODELAN 3 (TIGA) DIMENSI BANGUNAN MENGGUNAKAN FOTO UDARA FORMAT KECIL (STUDI KASUS: FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS DIPONEGORO)
- Yulfa, A., Chandra, D., Ramadhan, R., & Andreas, A. (2022). Geovisualization for information extraction of shoreline changes in Padang city 2000–2020. *Geodesy and Cartography*, 48(2), 78-84.
- Yunita et al., n.d.; Zucca et al., 2006). Preliminary Study Of LSU-02 Photo Data Application To Support 3D Modeling Of Tsunami Disaster Evacuation Map