

RESEARCH ARTICLE

Tsunami Hazard Evaluation in Temon Sub-district, Kulon Progo Regency Based on the Worst-Case Scenario of the South Java Megathrust Earthquake

(Evaluasi Bahaya Tsunami Di Kapanewon Temon Kabupaten Kulon Progo Berbasis Skenario Terburuk Gempa Bumi *Megathrust* Selatan Jawa)

Nana Dyana^{1*}, Yohana Noradika Maharani², Suharsono², Arif Rianto Budi Nugroho²,
Tedy Agung Cahyadi²

¹Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balekatun, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295, Indonesia

²Program Studi Magister Manajemen Bencana, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta,
Jl. Babarsari 2 Yogyakarta, 55281, Indonesia

ABSTRACT

Kapanewon Temon, the location of New Yogyakarta International Airport (NYIA), is projected to become a new economic center but is vulnerable to tsunami hazards due to its proximity to the southern Java subduction zone. Mitigation efforts are necessary to prepare for the worst-case scenarios. This study assesses tsunami hazard potential based on a worst-case scenario using a geophysical approach through numerical simulations with the COMCOT software. The data used include bathymetry, topography, administrative boundaries, land cover, and fault parameters. Simulation results indicate potential tsunami inundation up to 20 meters in key areas such as Congot Beach, the southern coast of NYIA, and Glagah Beach, with an estimated arrival time of 0.6-0.63 hours. These findings are expected to serve as a reference for spatial planning and disaster risk mitigation efforts in Kapanewon Temon, Kulon Progo Regency.

Kapanewon Temon, tempat berdirinya New Yogyakarta International Airport (NYIA), diproyeksikan menjadi pusat ekonomi baru yang rentan terhadap bahaya tsunami akibat kedekatannya dengan zona subduksi di selatan Jawa. Mitigasi perlu dilakukan dengan mempersiapkan berbagai kemungkinan terburuk yang dapat terjadi. Penelitian ini mengevaluasi potensi bahaya tsunami berdasarkan skenario terburuk menggunakan pendekatan geofisika melalui simulasi numerik dengan perangkat lunak COMCOT. Data yang digunakan mencakup batimetri, topografi, batas administrasi, tutupan lahan, dan parameter patahan. Hasil simulasi menunjukkan potensi genangan tsunami hingga 20 meter di wilayah Pantai Congot, bagian selatan NYIA, dan Pantai Glagah, dengan waktu kedatangan sekitar 0,6-0,63 jam. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan tata ruang dan upaya mitigasi risiko bencana di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo.

Keywords: Tsunami hazard, Tsunami modeling, COMCOT, Worst-case scenario, Temon Subdistrict.

*Corresponding author:
Nana Dyana
E-mail: m.elmahyra26@gmail.com

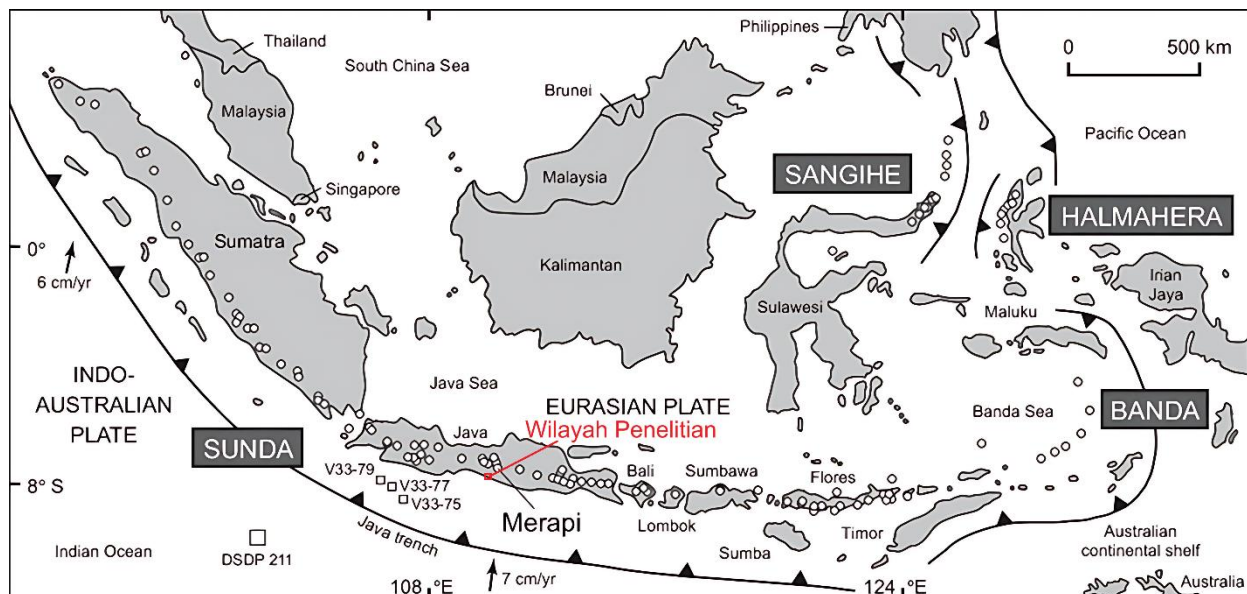
PENDAHULUAN

Indonesia terletak di zona pertemuan tiga lempeng tektonik aktif, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Interaksi antara lempeng-lempeng ini menghasilkan wilayah yang rawan terhadap gempa bumi dan tsunami. Oleh karena itu, Indonesia sering dijuluki sebagai laboratorium kebencanaan, terutama terkait dengan gempa bumi dan tsunami [1], [2], dan [3]. Salah satu fenomena seismik yang perlu mendapat perhatian adalah *seismic gap*, yaitu wilayah dengan

aktivitas seismik tinggi tetapi telah lama tidak mengalami gempa bumi yang signifikan. Hal ini sering dikaitkan dengan keberadaan *locked zone*, yaitu area di mana akumulasi tegangan tektonik belum dilepaskan dalam bentuk gempa bumi besar. Kondisi ini mencerminkan situasi di wilayah selatan Pulau Jawa [4], [5]. Absennya gempa bumi besar dalam beberapa waktu terakhir di sepanjang pantai selatan Jawa dapat mengindikasikan adanya potensi ancaman gempa bumi dan tsunami yang lebih kuat di masa mendatang.

Gempa bumi tektonik yang terjadi di dasar laut memiliki potensi tsunami [6]. Tsunami terbesar yang pernah terjadi di Indonesia yaitu di Nanggroe Aceh Darussalam pada 26 Desember 2004 disebabkan oleh gempa bumi berkekuatan 9,3 Mw yang terjadi di dasar laut 100 km di barat palung Sunda [7]. Tsunami Samudera Hindia tahun 2004 menyebabkan sekitar 165.000 orang meninggal dunia di Aceh dan Nias, Indonesia [8]. Di wilayah selatan Pulau Jawa, beberapa kejadian tsunami juga pernah terjadi, di antaranya tsunami Banyuwangi pada 3 Juni 1994 akibat gempa bumi berkekuatan 7,8 Mw [9], [10], serta tsunami Pangandaran pada 17 Juli 2006 yang dipicu oleh gempa bumi berkekuatan 7,7 Mw di selatan Pulau Jawa. Tsunami Pangandaran merupakan peristiwa tsunami terdekat dengan wilayah penelitian. Kedua bencana tsunami ini menimbulkan kerugian material besar dan menelan banyak korban jiwa.

Pulau Jawa merupakan bagian dari perpanjangan Busur Sunda yang memiliki seismisitas aktif. Di bagian selatan Pulau Jawa terdapat subduksi antara lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah lempeng Eurasia seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 [11], dan membentuk palung laut atau dikenal dengan palung Jawa. Interaksi antar lempeng yang terjadi di dasar laut tersebut menjadikan daerah Selatan Jawa rawan gempa bumi dan apabila terjadi deformasi yang didominasi oleh gerakan vertikal maka akan memiliki potensi tsunami [12]. Berdasarkan analisis risiko yang dilakukan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), ada empat wilayah utama yang memiliki risiko dan probabilitas tsunami yang tinggi, yaitu Mentawai, Selat Sunda, dan bagian selatan Pulau Jawa, *Megathrust* di selatan Bali dan Nusa Tenggara, serta Wilayah Papua bagian utara [13].



Gambar 1. Peta tektonik setting Indonesia, wilayah penelitian dalam kotak warna merah

Tsunami merupakan bencana alam yang sulit diprediksi. Meskipun demikian, terdapat beberapa tanda yang dapat mengindikasikan akan terjadinya tsunami, seperti gempa bumi, suara gemuruh, dan surutnya air laut secara tiba-tiba. Tsunami bersifat destruktif dan dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar, sehingga diperlukan sistem manajemen bencana yang terpadu untuk memungkinkan respons cepat terhadap bencana yang terjadi [14]. Tingkat kerusakan akibat gelombang tsunami yang menghantam daratan dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama morfologi dasar laut dan karakteristik

daerah pantai. Morfologi dasar laut berperan penting dalam menentukan kecepatan serta pola penjaran gelombang tsunami [15], [16], dan [17].

Penelitian terbaru berdasarkan inversi data GPS mengungkapkan adanya akumulasi regangan yang mencerminkan penumpukan energi dalam jangka waktu yang panjang. terdapat zona defisit geseran di bagian dangkal sesar di lepas pantai selatan Jawa Tengah dan di bagian dalam zona seismogenik *megathrust* di lepas pantai selatan Jawa Timur. Area defisit geseran di Jawa Tengah dan Jawa Timur memiliki potensi gempa bumi berkekuatan Mw 8.8 [5].

Kapanewon Temon merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang terletak di pesisir selatan Jawa dan berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Wilayah ini berhadapan langsung dengan zona subduksi Jawa, sehingga memiliki potensi tinggi terhadap bencana gempa bumi dan tsunami [18], [19]. Kapanewon Temon juga menjadi lokasi pembangunan Bandara NYIA, yang diharapkan menjadi motor utama pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Pembangunan bandara ini turut didukung oleh pengembangan berbagai infrastruktur seperti perumahan, hotel, serta fasilitas pendukung lainnya. Wilayah ini diproyeksikan menjadi pusat ekonomi baru yang akan mendorong peningkatan sektor pariwisata, perdagangan, dan investasi. Namun, mengingat tingginya potensi ancaman tsunami di Kapanewon Temon, maka diperlukan langkah mitigasi untuk mengantisipasi dampak bencana. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah pemodelan tsunami dengan skenario terburuk guna meningkatkan kesiapsiagaan dan mengurangi risiko bencana.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji potensi tsunami di Kapanewon Temon. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki tingkat risiko tsunami yang tinggi. Hasil pemodelan tsunami di lokasi pembangunan Bandara Internasional Yogyakarta menunjukkan ketinggian gelombang mencapai 13 meter [20]. Penelitian lain mengungkapkan bahwa tinggi genangan pada skenario kondisi eksisting mencapai 16,03 meter. Sementara itu, pada skenario bandara tanpa mitigasi, tinggi genangan mencapai 19,88 meter, sedangkan dengan mitigasi tinggi genangan berkurang menjadi 17,22 meter [21]. Penelitian Rahmawati [22] menunjukkan bahwa 33,5% area Bandara NYIA, termasuk Desa Jangkaran, Desa Sindutan, Desa Palihan, dan Desa Glagah, berada dalam kategori tingkat bahaya tsunami. Selain itu, penelitian Tarigan *et al.* [23] menyatakan bahwa tingkat kerawanan tsunami tergolong tinggi di beberapa kelurahan di Kapanewon Temon yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia. Kelurahan Jangkaran, Glagah, Karangwuni, Karangsewu, Banaran, Sindutan, Palihan, Garongan, Pleret, dan Bugel diklasifikasikan dalam kategori sangat rawan dan rawan tsunami [24].

Meskipun sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji potensi tsunami di Kapanewon Temon, sebagian besar belum secara spesifik menggunakan

skenario terburuk gempa bumi *megathrust* Selatan Jawa yang memiliki potensi destruktif tinggi. Selain itu, analisis yang dilakukan masih terbatas pada estimasi tinggi gelombang atau genangan tanpa menyajikan pemodelan terpadu yang mencakup penjaralan gelombang, waktu tiba, dan pemetaan risiko secara rinci. Belum banyak studi yang menggunakan perangkat lunak pemodelan numerik seperti COMCOT untuk mensimulasikan dinamika tsunami secara lebih akurat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih komprehensif dan berbasis skenario terburuk untuk menghasilkan peta bahaya tsunami yang mendukung upaya mitigasi dan perencanaan tata ruang di wilayah rawan seperti Kapanewon Temon.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bahaya tsunami di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta berbasis skenario terburuk gempa bumi *megathrust* Selatan Jawa. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengevaluasi bahaya tsunami di Kapanewon Temon menggunakan skenario terburuk gempa *megathrust* Selatan Jawa, yang belum dikaji secara spesifik sebelumnya. Analisis dilakukan secara menyeluruh, mencakup estimasi tinggi gelombang, genangan, dan pemetaan bahaya secara rinci menggunakan perangkat lunak COMCOT yang banyak digunakan dalam studi tsunami sebelumnya [25-31]. Hasil penelitian ini diharapkan mendukung perencanaan tata ruang dan strategi pengurangan risiko bencana di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo.

METODE PENELITIAN

Pemodelan numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif dari sumber pembangkitan tsunami dan penjaralan gelombang hingga sampai ke daratan. Pada penelitian ini pemodelan numerik tsunami dilakukan dengan bantuan perangkat lunak COMCOT.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo dimana terdapat pembangunan bandara NYIA yang diproyeksikan menjadi pusat ekonomi baru yang meningkatkan pariwisata, perdagangan, investasi, bisnis, industri, dan layanan pendukung lainnya. Wilayah ini sangat rawan terhadap bencana tsunami mengingat lokasinya yang

berhadapan langsung dengan zona subduksi di selatan Jawa.

Data Penelitian

Data yang akan digunakan untuk pemodelan tsunami di Kapanewon Temon meliputi data batimetri dari The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) yang dapat diunduh di <https://download.gebco.net/>, batimetri nasional (BATNAS) yang dapat diakses di <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/batnas>, serta data topografi DEM Nasional (DEMNAS) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dapat diunduh di <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas>. Selain itu, digunakan juga data shapefile (SHP) batas desa di Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2019 dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang dapat diunduh di <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/rbi-wilayah>, serta data tutupan lahan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Parameter Skenario Terburuk

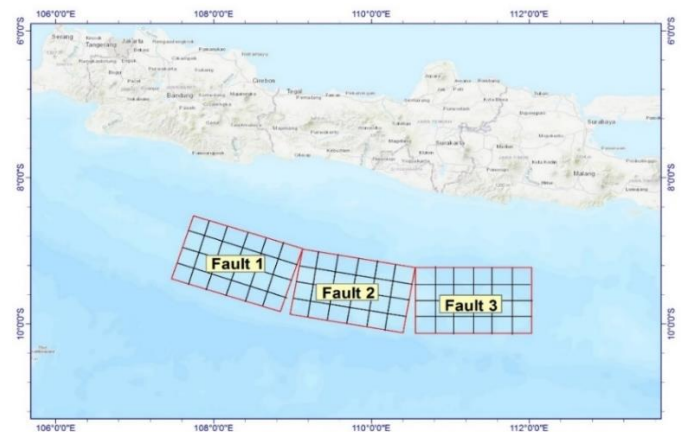
Parameter gempa bumi sebagai pembangkit tsunami yang digunakan merupakan gempa bumi tektonik yang dipicu dari wilayah subduksi di selatan Pulau Jawa, sejajar dengan zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Skenario terburuk yang digunakan adalah estimasi magnitudo maksimum sebesar Mw 8,8, berdasarkan hasil *Focus Group Discussion* (FGD) dalam perencanaan Bandara NYIA [32]. Estimasi dimensi bidang patahan pembangkit dihitung menggunakan persamaan Wells dan Coppersmith [33], sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2).

$$\log_{10}L = -2.42 + (0.58 \times Mw) \dots\dots\dots (1)$$

$$\log_{10}W = -1.61 + (0.41 \times Mw) \dots\dots\dots (2)$$

Di mana L dan W masing-masing merupakan estimasi panjang dan lebar patahan (dalam kilometer), dan Mw adalah magnitudo momen gempa bumi. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh panjang bidang patahan sekitar 480 km dan lebar 100 km. Patahan tersebut dibagi menjadi tiga segmen patahan mengacu pada referensi dari United States Geological Survey (USGS), dengan kedalaman masing-masing segmen yaitu: segmen 1 sedalam 20 km, segmen 2 sedalam 18 km, dan segmen 3 sedalam 16 km (Gambar

2). Jarak episenter gempa bumi terhadap lokasi penelitian di wilayah selatan Yogyakarta diperkirakan sekitar 200–250 km, tergantung pada posisi masing-masing segmen yang berpotensi menjadi sumber gempa.



Gambar 2. Skenario gempa bumi dengan magnitudo MwM 8.8 [32]

Untuk menghitung besarnya slip pada masing-masing segmen patahan, digunakan rumus dari Kanamori [34] yang menghubungkan momen seismik M_0 , luas patahan A , dan modulus geser μ , sebagaimana persamaan (3).

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \dots\dots\dots (3)$$

Dengan mempertimbangkan variasi lokal dan akumulasi regangan, slip maksimum pada masing-masing segmen diperkirakan dapat mencapai hingga 23 meter, sesuai dengan skenario maksimum yang digunakan dalam pemodelan tsunami. Parameter-parameter ini dimasukkan sebagai input dalam pemodelan skenario tsunami untuk memperkirakan dampak maksimum terhadap wilayah pesisir dan daratan di sekitar lokasi penelitian. Parameter-parameter ini digunakan sebagai input dalam pemodelan skenario tsunami untuk memperkirakan dampak maksimum terhadap wilayah pesisir dan daratan di sekitar lokasi penelitian.

Pemodelan Penjalaran Tsunami

Penelitian ini menerapkan pendekatan numerik dengan memanfaatkan *software* COMCOT untuk melakukan simulasi. COMCOT mampu menyelesaikan persamaan perairan dangkal linier dan nonlinier dalam sistem koordinat bola dan kartesian. Sistem grid bersarang dapat memberikan simulasi tsunami baik di daerah perairan dalam maupun

wilayah pesisir dekat pantai. COMCOT juga menyediakan algoritma batas bergerak untuk mensimulasikan genangan tsunami [30], [32]. Persamaan perairan dangkal linier dalam koordinat kartesian ditunjukkan pada persamaan (4 - 6).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - fQ = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + fP = 0 \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan perairan dangkal nonlinier dalam koordinat kartesian ditunjukkan dalam persamaan (7) dan (8).

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x = 0 \dots\dots\dots (7)$$

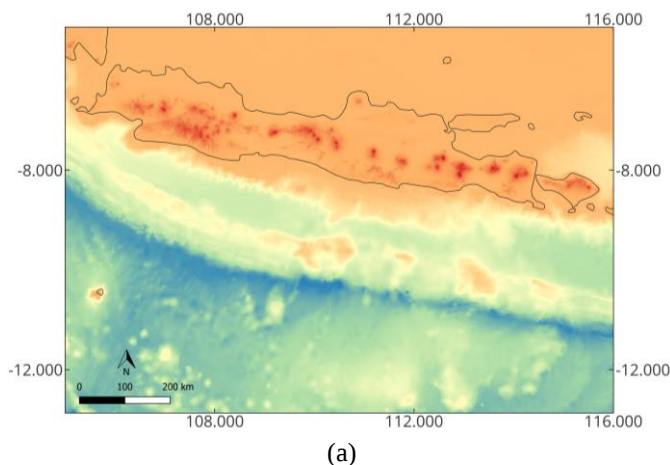
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y = 0 \dots\dots\dots (8)$$

dengan η adalah elevasi muka air laut (m), t merupakan waktu (s), x , y koordinat horizontal, h merupakan kedalaman air, g adalah gravitasi, $P = hu$,

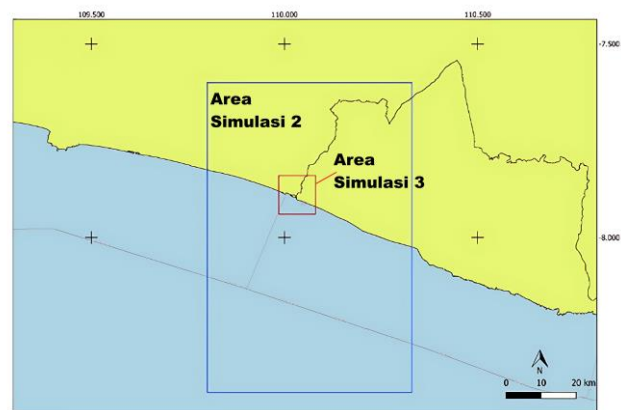
$Q = hv$ merupakan fluks volume arah sumbu x dan y , f merupakan gaya Coriolis, F_x and F_y adalah gaya gesek pada sumbu x dan y , dan kedalaman air total $H = h + \eta$.

Pengaturan Grid Batimetri

Untuk mensimulasikan perambatan tsunami, tiga area simulasi diadopsi dan disebut sebagai area simulasi 1, 2, dan 3. Pemodelan tsunami mempergunakan tiga area simulasi dengan perincian area simulasi pertama dengan area 5,61 - 19,59 LS dan 104,93 - 114,36 BT. Area simulasi kedua dengan area 7,60 - 8,40 LS dan 109,80 - 110,33 BT, dan area simulasi ketiga dengan area 7,84 - 7,94 LS dan 109,99 - 110,08 BT. Pemodelan tsunami dilakukan dengan menggunakan data batimetri GEBCO pada area simulasi pertama, data BATNAS pada area simulasi kedua, dan data gabungan BATNAS serta DEMNAS dengan resolusi 18,9 meter pada area simulasi ketiga. Lokasi penelitian serta posisi ketiga area simulasi pemodelan tsunami ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Pengaturan area simulasi pemodelan tsunami. (a). Area simulasi 1, dan (b). Area simulasi 2, dan 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

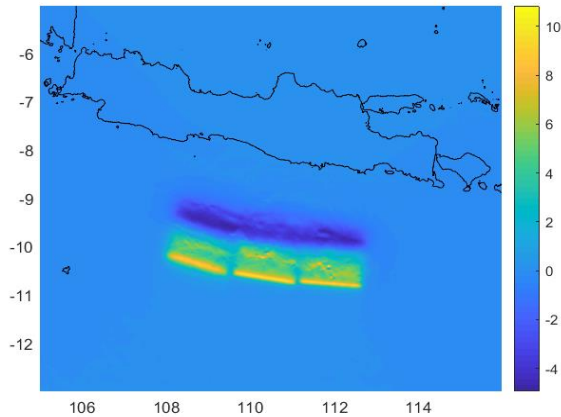
Deformasi Vertikal Dasar Laut

Model deformasi permukaan bumi akibat gempa bumi dibangun menggunakan pendekatan matematis yang sesuai untuk medium elastis, homogen, isotropik, dan semi-tak terbatas. Pendekatan ini memberikan dasar yang kuat untuk menghitung besarnya deformasi yang terjadi akibat pergeseran pada bidang patahan. Karakteristik medium yang dianggap seragam dan dapat diramalkan responsnya terhadap tekanan gempa memungkinkan hasil pemodelan lebih akurat dan

representatif. Selain itu, asumsi semi-tak terbatas memungkinkan penerapan model ini pada skala regional hingga luas.

Dalam studi ini digunakan model patahan kompleks dengan membagi bidang patahan menjadi tiga segmen, masing-masing berukuran 160×100 km. Pembagian ini bertujuan untuk merepresentasikan kompleksitas struktur geologi secara lebih realistis, mengingat bahwa satu bidang patahan besar umumnya terdiri atas beberapa segmen yang dapat mengalami pergerakan independen. Nilai slip maksimum sebesar 23 meter per segmen ditentukan berdasarkan

perhitungan parameter skenario terburuk, guna menggambarkan potensi maksimum pergeseran yang dapat terjadi dalam satu peristiwa gempa bumi. Setiap segmen patahan berkontribusi signifikan terhadap total deformasi yang terjadi, dan perbedaan karakteristik pergerakan antar segmen berpotensi memengaruhi bentuk serta amplitudo gelombang tsunami yang dihasilkan



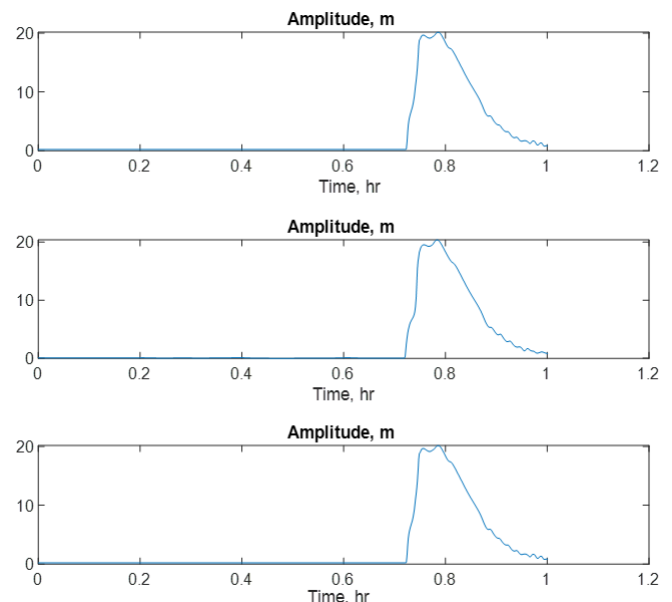
Gambar 4. Model deformasi vertikal dasar laut (dalam meter)

Gelombang tsunami yang dihasilkan oleh gempa bumi pada umumnya dimodelkan dengan menggunakan perpindahan vertikal permukaan laut, yang sangat mirip dengan deformasi vertikal dasar laut yang terjadi akibat pergerakan patahan tersebut. Pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa perpindahan vertikal dasar laut langsung diterjemahkan ke dalam perubahan permukaan laut, yang kemudian memicu gelombang tsunami. Deformasi vertikal yang signifikan pada dasar laut dapat mengangkat atau menurunkan massa air di atasnya, menciptakan gradien tekanan yang menghasilkan gelombang yang merambat jauh dari pusat gempa bumi. Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa model deformasi vertikal menunjukkan nilai maksimum mencapai sekitar 12 meter. Ini memberikan gambaran yang jelas mengenai potensi dampak dari pergeseran tersebut terhadap permukaan laut. Ketinggian deformasi ini merupakan indikator penting dalam menentukan potensi kekuatan dan dampak dari tsunami yang dihasilkan. Gelombang tsunami dengan amplitudo besar dapat memiliki kekuatan destruktif yang tinggi, sehingga pemahaman yang mendalam tentang deformasi vertikal ini sangat penting untuk perencanaan mitigasi bencana dan

upaya perlindungan masyarakat di daerah pantai yang rawan tsunami.

Tsunami Waveform dan *Run Up*

Untuk mempelajari karakteristik tsunami di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo, beberapa *virtual wave gauge* dipasang di beberapa lokasi penting yaitu Pantai Congot, Pantai Selatan Bandara NYIA, dan Pantai Glagah. Lokasi-lokasi ini dipilih karena memiliki kepentingan strategis dan populasi yang padat, sehingga dampak tsunami perlu diantisipasi dengan cermat. *Virtual wave gauge* digunakan untuk merekam tinggi muka laut secara numerik akibat propagasi gelombang tsunami pada titik-titik tertentu, sehingga memungkinkan analisis waktu tiba, amplitudo, dan bentuk gelombang tsunami secara lebih rinci di lokasi yang dianggap penting.



Gambar 5. Bentuk gelombang tsunami yang disimulasikan. Sumbu y adalah amplitudo maksimum di Pantai Congot (atas), pantai selatan Bandara NYIA (tengah), dan di Pantai Glagah (bawah), dan sumbu x menunjukkan waktu tiba dalam jam

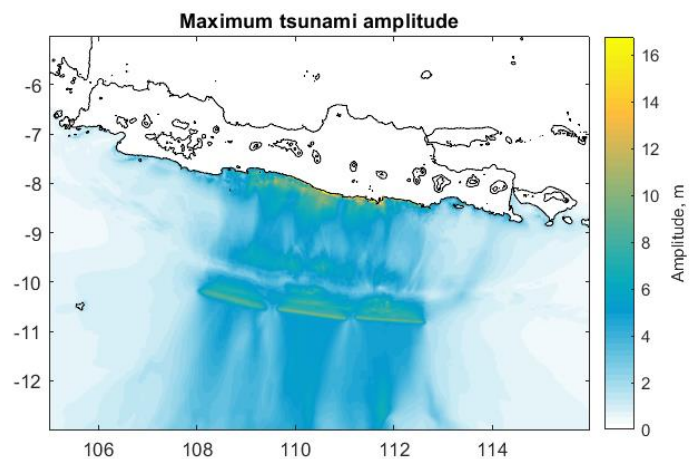
Hasil simulasi yang diperoleh kemudian ditampilkan pada Gambar 5, yang memberikan visualisasi tentang bagaimana gelombang tsunami berkembang dan mencapai daratan di lokasi-lokasi tersebut. Waktu nol mencatat saat gempa bumi terjadi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tinggi gelombang maksimum yang tercatat di Pantai Congot pantai

selatan Bandara NYIA, dan di Pantai Glagah mencapai 20 meter. Tinggi gelombang ini memberikan indikasi tentang potensi kerusakan yang dapat terjadi di masing-masing lokasi. Secara khusus, karakteristik batimetri di selatan NYIA menunjukkan adanya kemiringan dasar laut yang relatif landai, yang memungkinkan amplifikasi gelombang tsunami saat mendekati pantai. Selain itu, keberadaan tanggul pantai dan struktur buatan di sekitar area bandara juga dapat mempengaruhi arah serta energi gelombang yang tiba di garis pantai. Oleh karena itu, pemahaman mengenai topografi dasar laut (batimetrik) dan morfologi pantai sangat penting dalam menentukan intensitas dan distribusi *run-up* tsunami di wilayah ini.

Simulasi ini juga mencatat waktu kedatangan gelombang tsunami, yang menunjukkan bahwa gelombang mencapai daratan dalam rentang waktu antara 0,6 hingga 0,63 jam setelah terjadinya gempa bumi. Waktu kedatangan ini sangat penting dalam konteks mitigasi bencana, karena dapat memengaruhi efektivitas sistem peringatan dini dan evakuasi. Dengan waktu yang relatif singkat, yaitu sekitar 0,6 hingga 0,63 jam, tantangan besar adalah memastikan bahwa ada cukup waktu bagi masyarakat untuk mendapatkan informasi dan melakukan evakuasi dengan aman. Menurut standar yang ada, seperti pedoman peringatan dini yang dikeluarkan oleh badan-badan terkait, waktu ini masih memungkinkan untuk peringatan dini, tetapi memerlukan respon cepat dan sistem komunikasi yang efisien. Oleh karena itu, rekomendasi tindak lanjut mencakup peningkatan kapasitas sistem peringatan dini, simulasi evakuasi yang lebih sering, serta penguatan infrastruktur dan kesiapan masyarakat untuk menghadapi tsunami dalam rentang waktu yang sangat singkat ini.

Peta *run-up* tsunami yang dihasilkan dari simulasi ini menunjukkan zona-zona berisiko tinggi di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo. *Run-up* adalah ketinggian maksimum yang dicapai oleh air tsunami saat bergerak ke daratan, dan dalam kasus ini, ketinggian tsunami di beberapa daerah mencapai 17 meter (Gambar 6). Dalam beberapa skenario, *run-up* tersebut berpotensi menyebabkan inundasi hingga 20-meter atau lebih, yang dapat mengakibatkan dampak signifikan terhadap wilayah pesisir dan pemukiman di

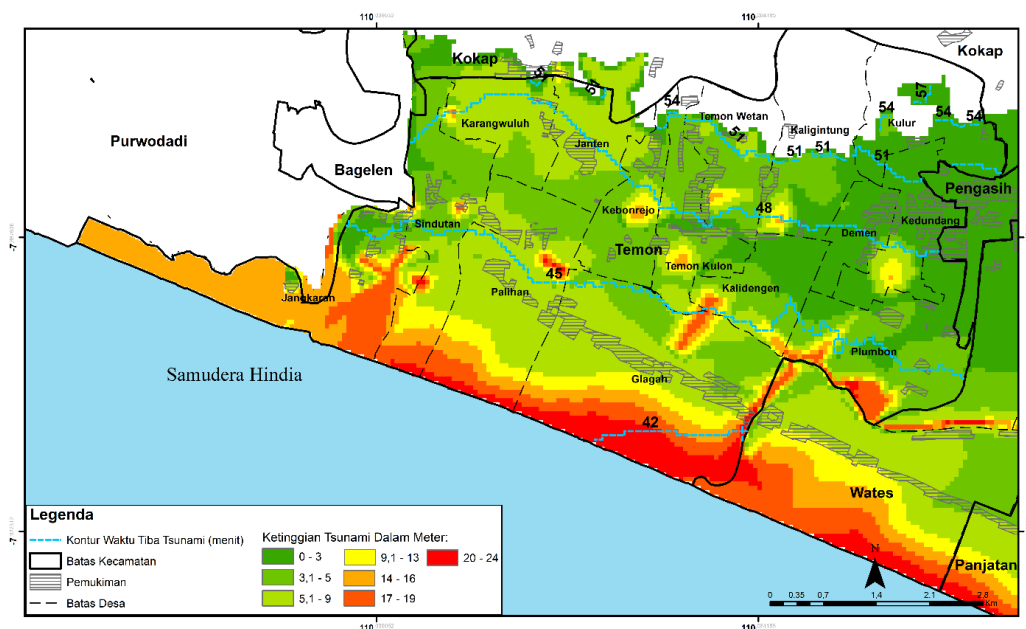
sekitarnya. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan tata ruang dan pembangunan infrastruktur di kawasan tersebut. Dengan mengetahui zona-zona yang berisiko tinggi, langkah-langkah mitigasi seperti pembangunan tanggul, sistem peringatan dini, dan rencana evakuasi dapat dirancang dan diimplementasikan secara efektif untuk mengurangi risiko terhadap penduduk dan aset di daerah rawan tsunami. Secara keseluruhan, simulasi gelombang tsunami dan peta *run-up* ini memberikan gambaran yang jelas tentang potensi tsunami di wilayah tersebut. Informasi ini tidak hanya penting untuk kesiapsiagaan dan respons bencana, tetapi juga untuk mendukung upaya jangka panjang dalam meningkatkan ketahanan komunitas terhadap bencana tsunami.



Gambar 6. Run up tsunami untuk skenario terburuk gempa bumi di zona megathrust selatan Yogyakarta dengan magnitudo Mw 8.8

Model Inundasi Tsunami Di Kapanewon Temon

Gambar 7 menunjukkan ketinggian genangan dan daerah genangan tsunami di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo, untuk skenario gempa bumi terburuk di zona megathrust selatan Yogyakarta dengan magnitudo Mw 8.8. Peta ini mengungkapkan distribusi energi dan genangan tsunami, yang juga menunjukkan skala bahaya tsunami. Dengan menggunakan data ini, kita dapat memahami lebih baik bagaimana energi dari gempa bumi besar tersebut dapat berpindah melalui air dan menyebabkan banjir di daratan.



Gambar 7. Peta inundasi tsunami di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo untuk skenario terburuk gempa bumi di zona megathrust selatan Yogyakarta dengan magnitudo Mw 8

Bahaya tsunami sangat signifikan di beberapa kelurahan di Kapanewon Temon yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Genangan air yang serius dengan panjang mencapai 4 km terlihat di beberapa kelurahan seperti Glagah, Palihan, Sindutan, dan Jangkaran. Daerah-daerah ini menjadi sangat rentan karena posisinya yang dekat dengan garis pantai, sehingga ketika tsunami melanda, gelombang air yang tinggi dengan cepat membanjiri daratan. Ketinggian tsunami yang mencapai lebih dari 20-meter menghasilkan genangan yang luas hingga jauh ke pedalaman. Dampak dari genangan ini sangat merusak, tidak hanya membanjiri pemukiman dan lahan pertanian tetapi juga mengganggu infrastruktur vital. Misalnya, arus kuat yang ditimbulkan oleh tsunami dapat menyebabkan kapal-kapal tenggelam, melepaskan diri dari tambatan, dan menabrak kapal atau dermaga lainnya. Kejadian seperti ini tidak hanya menimbulkan kerusakan fisik yang besar, tetapi juga mengganggu operasional pelabuhan dan aktivitas ekonomi terkait.

Hasil simulasi yang menunjukkan potensi tinggi gelombang di daratan lebih dari 20-meter menegaskan perlunya langkah-langkah mitigasi yang kuat. Pembangunan infrastruktur tahan tsunami, sistem peringatan dini yang efektif, dan rencana evakuasi yang terlatih adalah beberapa tindakan yang harus diprioritaskan untuk mengurangi dampak bencana.

Selain itu, edukasi kepada masyarakat tentang bahaya tsunami dan cara menyelamatkan diri juga sangat penting untuk meningkatkan kesiapsiagaan.

Hasil penelitian ini memberikan estimasi ketinggian tsunami yang sedikit lebih tinggi jika dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Yuniansyah [21], yang memodelkan tiga skenario tsunami: kondisi eksisting sebelum pembangunan Bandara Kulon Progo, setelah pembangunan tanpa mitigasi, dan setelah pembangunan dengan mitigasi seperti *sand dunes* dan *polder*. Hasilnya menunjukkan bahwa tinggi genangan tsunami pada kondisi eksisting mencapai 16,03 meter, tanpa mitigasi 19,88 meter, dan dengan mitigasi 17,22 meter. Keunggulan dari penelitian ini terletak pada cakupan pemodelan yang lebih luas, yang mencakup seluruh wilayah Temon, sementara penelitian Yuniansyah [21] hanya terbatas pada area sekitar Bandara Kulon Progo. Selain itu, skenario yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada data dan temuan terbaru, memberikan pemodelan yang lebih mutakhir dan relevan untuk mengestimasi potensi bahaya tsunami di wilayah tersebut.

Secara keseluruhan, model inundasi tsunami di Kapanewon Temon memberikan gambaran yang jelas tentang skenario terburuk yang bisa terjadi. Informasi ini sangat berharga untuk perencanaan mitigasi bencana dan peningkatan ketahanan komunitas

terhadap ancaman tsunami di masa depan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang potensi bahaya ini, pihak berwenang dan masyarakat setempat dapat mengambil langkah-langkah proaktif untuk melindungi diri dan aset mereka dari bencana yang mungkin terjadi. Penelitian-penelitian ini menunjukkan pentingnya pemodelan yang komprehensif dan upaya mitigasi yang terencana untuk mengurangi dampak bencana tsunami di Kecamatan Temon, terutama dengan adanya pembangunan infrastruktur besar seperti Bandara NYIA.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi bahaya tsunami dengan skenario terburuk di Kapanewon Temon, Kabupaten Kulon Progo menunjukkan bahwa deformasi vertikal dasar laut pemicu tsunami mencapai 12-meter, yang penting dalam memprediksi potensi tsunami. Tsunami yang dihasilkan dapat mencapai ketinggian 20 meter di lokasi-lokasi penting seperti Pantai Congot, Pantai Selatan Bandara NYIA, dan Pantai Glagah, dengan waktu kedatangan sekitar 0,6-0,63 jam. Peta inundasi tsunami menunjukkan zona-zona berisiko tinggi dengan ketinggian air mencapai 20-meter, yang sangat penting untuk perencanaan mitigasi bencana. Model inundasi tsunami memperlihatkan genangan serius hingga 4 km ke daratan di beberapa kelurahan seperti Glagah, Palihan, Sindutan, dan Jangkaran, menegaskan perlunya langkah mitigasi yang kuat, seperti pembangunan infrastruktur tahan tsunami dan sistem peringatan dini. Informasi ini sangat berharga untuk perencanaan mitigasi dan peningkatan ketahanan komunitas terhadap ancaman tsunami di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Harig, A. Immerz, Weniza, J. Griffin, B. Weber, A. Babeyko, N. Rakowsky, D. Hartanto, A. Nurokhim, T. Handayani, and R. Weber, "The tsunami scenario database of the Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS): Evolution of the coverage and the involved modeling approaches," *Pure Appl. Geophys.*, vol. 177, no. 3, pp. 1379-1401, 2020, doi: 10.1007/s00024-019-02305-1.

[2] S. J. Hutchings and W. D. Mooney, "The seismicity of Indonesia and tectonic implications," *Geochem. Geophys.*

Geosyst., vol. 22, no. 9, 2021, doi: 10.1029/2021GC009812.

[3] A. E. Sakya Sakya, M. C. G. Frederik, E. Anantasari, E. Gunawan, S. D. Anugrah, N. S. Rahatiningtyas, N. R. Hanifa, and N. N. Jumantini, "Sow the seeds of tsunami ready community in Indonesia: Lesson learned from Tanjung Benoa, Bali," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 87, 2023, doi: 10.1016/j.ijdrr.2023.103567.

[4] P. Supendi, S. Widiyantoro, N. Rawlinson, T. Yatimantoro, A. Muhari, N. R. Hanifa, E. Gunawan, H. A. Shiddiqi, I. Imran, S. D. Anugrah, D. Daryono, B. S. Prayitno, S. P. Adi, D. Karnawati, L. Faizal, and R. Damanik, "On the potential for megathrust earthquakes and tsunamis off the southern coast of West Java and southeast Sumatra, Indonesia," *Nat. Hazards*, vol. 116, no. 1, pp. 1315-1328, 2023, doi: 10.1007/s11069-022-05696-y.

[5] S. Widiyantoro, E. Gunawan, A. Muhari, N. Rawlinson, J. Mori, N. R. Hanifa, S. Susilo, P. Supendi, H. A. Shiddiqi, A. D. Nugraha, and H. E. Putra, "Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia," *Sci. Rep.*, vol. 10, 15274, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-72142-z.

[6] I. G. Tejakusuma, "Analisis pasca bencana tsunami Aceh," *Alami*, vol. 10, no. 2, pp. 18-21, 2005.

[7] F. Lavigne, R. Paris, D. Grancher, P. Wassmer, D. Brunstein, F. Vautier, F. Leone, F. Flohic, B. Coster, T. Gunawan, C. Gomez, A. Setiawan, R. Cahyadi, and Fachrizal, "Reconstruction of tsunami inland propagation on December 26, 2004 in Banda Aceh, Indonesia, through field investigations," *Pure Appl. Geophys.*, vol. 166, no. 1-2, pp. 259-281, 2009, doi: 10.1007/s00024-008-0431-8.

[8] Syamsidik, R. S. Oktari, A. Nugroho, M. Fahmi, A. Suppasri, K. Munadi, and R. Amra, "Fifteen years of the 2004 Indian Ocean Tsunami in Aceh-Indonesia: Mitigation, preparedness and challenges for a long-term disaster recovery process," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 54, 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102052.

[9] R. E. Abercrombie, M. Antolik, K. Felzer, and G. Ekström, "The 1994 Java tsunami earthquake: Slip over a subducting seamount," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 106, no. B4, pp. 6595-6607, 2001, doi: 10.1029/2000jb900403.

[10] Chaeroni, W. Hendriyono, and W. Kongko, "Pemodelan tsunami dan pembuatan peta rendaman untuk keperluan mitigasi di Teluk Teleng, Pacitan," *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, vol. 4, no. 2, pp. 87-98, 2013.

[11] R. Gertisser and J. Keller, "Trace element and Sr, Nd, Pb and O isotope variations in medium-K and high-K volcanic rocks from Merapi volcano, Central Java,

- Indonesia: Evidence for the involvement of subducted sediments in Sunda Arc magma Genesis,” *J. Petrology*, vol. 44, no. 3, pp. 457-489, 2003, doi: 10.1093/petrology/44.3.457.
- [12] W. Kongko and R. Hidayat, “Earthquake-tsunami in South Jogjakarta Indonesia: Potential, simulation models, and related mitigation efforts,” *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [13] L. Wahyuni, M. A. Marfai, and M. P. Hadi, “A preliminary study on tsunami disaster in Yogyakarta: Identification of vulnerability order and components,” *Geosfera Indonesia*, vol. 5, no. 2, p. 186, 2020.
- [14] Putra, “Tingkat risiko bencana tsunami dan variasi spasialnya (Studi kasus kota Padang, Sumatera Barat),” Tesis, Magister Ilmu geografi-Perencanaan Wilayah, Universitas Indonesia, 2009.
- [15] I. Ramalho, R. Omira, S. El Moussaoui, M.A. Baptista, M.N. Zaghloul, “Tsunami-induced morphological change - A model-based impact assessment of the 1755 tsunami in NE Atlantic from the Morocco coast,” *Geomorphology*, vol. 319, pp. 78-91, 2018, doi: 10.1016/j.geomorph.2018.07.013.
- [16] H. Tanaka, K. Kayane, M. B. Adityawan, M. Roh, and M. Farid, “Study on the relation of river morphology and tsunami propagation in rivers,” *Ocean Dyn.*, vol. 64, no. 9, pp. 1319-1322, 2014, doi: 10.1007/s10236-014-0749-y.
- [17] B. Tehranirad, J. T. Kirby, and F. Shi, “A Numerical Model for Tsunami-Induced Morphology Change,” *Pure Appl. Geophys.*, vol. 178, no. 12, pp. 5031-5059, 2021, doi: 10.1007/s00024-020-02614-w.
- [18] Fauzi, “Pemodelan potensi genangan tsunami berbasis pada ancaman gempa bumi di zona subduksi selatan Jawa,” Disertasi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, 2021.
- [19] I. Satria, D. Mardiatno, and E. H. Pangaribowo, “Dampak pembangunan Yogyakarta International Airport di daerah rawan bencana tsunami dengan dukungan sistem informasi geografis,” *J. Tekno Sains*, vol. 12, no. 2, pp. 148-163, 2023.
- [20] A. I. Tinasar, “Analisis bahaya dan strategi mitigasi tsunami di lokasi calon bandara Internasional Yogyakarta,” Tesis, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, 2021.
- [21] D. Yuniansyah, “Pemodelan run up tsunami menggunakan skenario jamak, studi kasus bandara Kulon Progo,” Tugas Akhir, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [22] A. Rahmawati, “Pemodelan tingkat ancaman tsunami untuk mitigasi bencana bandara baru Yogyakarta dengan menggunakan teknologi fotogrametri dan sistem informasi geografis,” Skripsi, Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada, 2017.
- [23] T. Tarigan, P. Subardjo, and D. Nugroho, “Analisa spasial kerawanan bencana tsunami di wilayah pesisir Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta,” *J. Oseanografi*, vol. 4, no. 4, pp. 700-705, 2015.
- [24] A. Widyawati, G. Handoyo, and A. Satriadi, “Kajian kerentanan bencana tsunami di pesisir Kabupaten Kulon Progo Provinsi D. I. Yogyakarta,” *Journal of Marine Research*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [25] S. C. Lin, T. R. Wu, E. Yen, H. Y. Chen, J. Hsu, Y. L. Tsai, C. J. Lee, and P. L. F. Liu, “Development of a tsunami early warning system for the South China Sea,” *Ocean Engineering*, vol. 100, pp. 1-18, 2015.
- [26] W. Setyonegoro, M. Hanif, S. Khoiridah, M. Ramdhan, F. Fauzi, S. Karima, V. Isnaniawardhani, S. Pribadi, M. M. Muqqodas, P. Supendi, dan S. Ardhyastuti, “Exploring tsunami generation and propagation: A case study of the 2018 Palu earthquake and tsunami,” *Kuwait Journal of Science*, vol. 51, no. 3, p. 100245, 2024, doi: 10.1016/j.kjs.2024.100245.
- [27] K. Pakoksung, A. Suppasri, and F. Imamura, “Preliminary modeling and analysis of the Tsunami generated by the 2024 Noto Peninsula earthquake on 1 January: Wave characteristics in the Sea of Japan,” *Ocean Engineering*, vol. 307, p. 118172, 2024.
- [28] J.-G. Li and P. Wang, “Global tsunami modelling on a spherical multiple-cell grid,” *Ocean Modelling*, vol. 192, p. 102461, 2024.
- [29] F. Li, L. Li, F. Yu, K. Huang, and A. D. Switzer, “Forward numerical investigation of potential tsunami deposits in the South China Sea: A case study of Nan'ao Island,” *Marine and Petroleum Geology*, vol. 152, p. 106612, 2023, doi: 10.1016/j.marpetgeo.2023.106612.
- [30] A. Arimuko, S. P. D. Sriyanto, and T. Gunawan, “Source characterization of the 1996 Biak tsunami based on earthquake and landslide scenarios,” *Marine Geophysical Research*, vol. 45, no. 21, 2024. doi: 10.1007/s11001-024-09556-1.
- [31] I. E. Mulia, M. Heidarzadeh, A. R. Gusman, K. Satake, Y. Fujii, K. A. Sujatmiko, I. Meilano, and W. Windupranata, “Compounding impacts of the earthquake and submarine landslide on the Toyama Bay tsunami during the January 2024 Noto Peninsula event,” *Ocean Engineering*, vol. 310, p. 118698, 2024. doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.118698.
- [32] BMKG Yogyakarta, “Peta bahaya tsunami Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan skenario Mw8.8,” *BMKG Yogyakarta*, 2025. [Online]. Available: <https://yogyakarta.bmkg.go.id/buletin-mkg/peta->

[bahaya-tsunami-daerah-istimewa-yogyakarta-menggunakan-skenario-mw8-8/](#)

- [33] D. L. Wells and K. J. Coppersmith, "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 84, no. 4, 1994.
- [34] H. Kanamori, "The energy release in great earthquakes," *Journal of Geophysical Research*, vol. 82, no. 20, pp. 2981-2987, 1977, doi: 10.1029/JB082i020p02981.