

PENENTUAN ZONA BAHAYA TSUNAMI BERDASARKAN PEMODELAN DI WILAYAH GUNUNG KIDUL, YOGYAKARTA

The Determination of Tsunami Hazard Zone Based on the Modeling in Gunung Kidul, Yogyakarta

Rahayu Robiana¹, Pandu A. M.², Arianne Pingkan L.³

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi,
Jln. Diponegoro No. 57, Bandung 40122, Indonesia
rahayu.robiana@esdm.go.id¹, pandu.adiminarno@esdm.go.id²
arianne.pingkan@esdm.go.id³

ABSTRAK

Pesisir Pantai Gunung Kidul terbagi menjadi dua tipe karakteristik pantai, yaitu pantai lurus dan bertebing serta pantai berteluk dan landai. Walaupun pantai landai hanya sebagian kecil saja di wilayah Gunung Kidul, jenis pantai ini memiliki aktivitas manusia yang cukup tinggi dan dimanfaatkan sebagai pemukiman, kegiatan nelayan, serta daerah wisata. Pemetaan inundansi tsunami melalui pemodelan untuk wilayah dengan pantai berteluk dan sempit memerlukan data topografi sangat detail yang diperoleh melalui foto udara menggunakan drone. Sumber pembangkit tsunami menggunakan skenario sumber gempa bumi dari zona megathrust di selatan Jawa dengan magnitudo 7.0, 7.5, 8.5, dan 8.7. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa tsunami dengan tinggi maksimum berpotensi melanda dan mengancam seluruh fasilitas dan bangunan di wilayah pantai yang menjadi prioritas penelitian, yaitu Pantai Baron, Krakal, dan Sadeng.

Kata kunci : Karakteristik pantai, zona bahaya tsunami, pemodelan tsunami

ABSTRACT

The coast of Gunung Kidul is divided into two type of beaches, straight beaches with cliffs and sloping beaches with bays. Even though the sloping beach is a small part of Gunung Kidul region, but there are high intensity of activities, such as settlements, fishing, and tourism area. The tsunami inundancy mapping through the modeling for narrow beaches with bays requires detailed topographic data obtained through aerial photography using drone. The source of tsunami generation uses earthquake scenarios from the megathrust zone in southern Java with magnitudes of 7.0, 7.5, 8.5 and 8.7. The modeling results show that tsunami with a maximum height can threaten the facilities and buildings in the coastal area where the reasearch takes place, including Baron, Krakal, and Sadeng beach.

Keywords : Coastal characteristic, tsunami hazard zone, tsunami modelling

PENDAHULUAN

Pantai Selatan Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi terjadi tsunami karena lokasinya yang berhadapan langsung dengan sumber gempa bumi pembangkit tsunami, yaitu zona Subduksi Sunda. Dalam kurun waktu kurang dari 20 tahun telah terjadi dua kali tsunami di Selatan

Pulau Jawa, yaitu tsunami Banyuwangi yang terjadi pada 1994 yang melanda Pantai Timur dan Pantai Selatan Pulau Jawa bagian timur serta tsunami Pangandaran yang terjadi 2006 yang melanda kawasan Pantai Selatan Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Yogyakarta (Afif, Supartoyo, dan Sugiharto, 2013).

Kabupaten Gunung Kidul memiliki pantai yang menjadi pusat aktivitas masyarakat sebagai tempat tinggal, daerah wisata, dan kegiatan nelayan. Kondisi tersebut menjadikan daerah ini rawan untuk terdampak bencana tsunami. Kejadian tsunami yang cenderung memiliki interval kejadian yang lama, menyebabkan bencana akibat tsunami mudah dilupakan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk memperoleh informasi yang baik tentang bencana tsunami serta meningkatkan kepedulian penduduk terhadap bencana dan meresponsnya ketika bencana tersebut datang.

Penelitian dimaksudkan untuk mengidentifikasi daerah rawan tsunami berdasarkan kombinasi data karakteristik lahan, baik secara geologi, vegetasi, peruntukan lahan, populasi penduduk maupun aktivitas lainnya. Selain itu juga memadukannya dengan hasil pemodelan perambatan dan landaan tsunami. Tujuannya untuk mengetahui tingkat kerawanan tsunami sebagai salah satu upaya mitigasi bencana tsunami yang diakibatkan oleh sumber pembangkit tsunami berupa gempa bumi bersumber dari zona subduksi Sunda yang berada di selatan wilayah penelitian.

METODE PENELITIAN

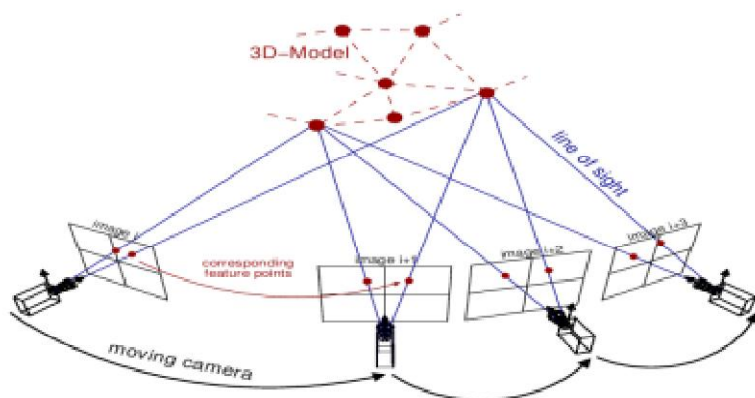
Identifikasi Karakteristik Pantai

Identifikasi karakteristik pantai bertujuan mengetahui kondisi dan dinamika pantai. Pengumpulan data dilakukan secara visual sepanjang daerah penyelidikan, yaitu morfologi pantai, geologi penyusun daerah pantai, karakter garis pantai, vegetasi, bangunan pantai, dan proses yang berkembang di pantai. Hasil pengamatan dapat menjadi dasar penentuan wilayah pantai yang akan dilakukan pemodelan tsunami secara detail.

Pengukuran Topografi

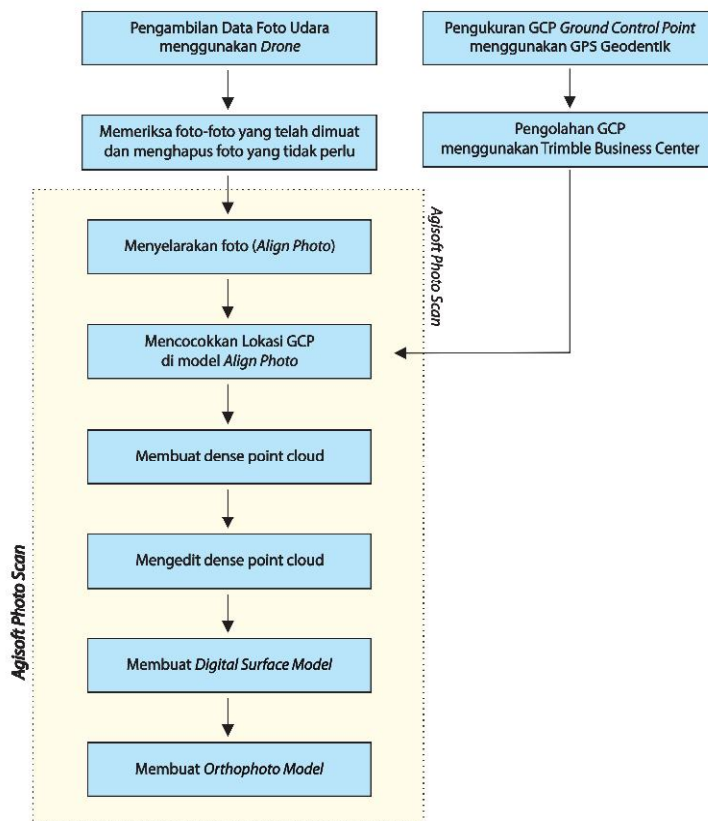
Pemetaan foto udara menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)/drone* memberikan satu pilihan yang efisien untuk mendapatkan data citrafoto/orthophoto, DEM (*Digital Elevation Model*), dan untuk keperluan lainnya, salah satunya untuk pemodelan tsunami. Hal ini didukung juga oleh teknologi komputer dan teknologi pengolahan gambar digital yang telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir.

Prinsip kerja pemetaan fotogrametris adalah menggunakan dua buah atau lebih foto udara yang saling bertampalan sehingga dari tampalan tersebut dapat dibuat bayangan tiga dimensi (Gambar 1). Model tiga dimensi ini dengan bantuan beberapa titik kontrol foto, yang biasa disebut *Ground Control Point (GCP)*, kemudian diorientasikan sedemikian rupa sesuai dengan model absolut dan keadaan lapangan Siebert dan Teizer, 2014 (dalam Solikhin dkk., 2016).



Gambar1. Prinsip kerja foto grametri untuk menghasilkan model 3 dimensi dari beberapa gambar foto untuk objek yang sama, namun dari beberapa sudut pengambilan gambar (Siebert dan Teizer, 2014, dalam Solikhin dkk., 2016).

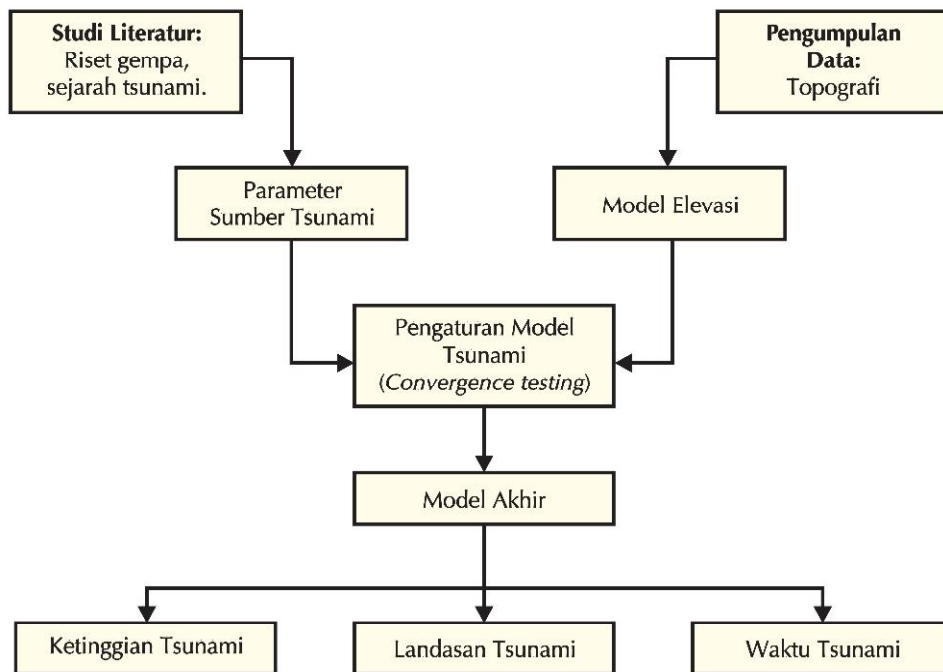
Perangkat lunak untuk mengolah foto udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Agisoft Photo Scan*. Proses pengolahan datanya relatif mudah dengan tahap-tahap seperti pada diagram alir gambar 2. Tahapannya diawali dengan memuat foto dari kamera ke komputer dan menghilangkan foto yang terdistorsi atau kabur. Foto udara kemudian diselaraskan dan dibangun geometrinya dengan menambahkan data koordinat GCP. Proses selanjutnya adalah membangun *point cloud* (awan titik) disebut juga titik-titik ketinggian yang merupakan satu set titik data dalam suatu sistem koordinat. Dari *point cloud* yang rapat (*dense*) dibuat DEM/ DSM (*Digital Surface Model*), yang nantinya menjadi sumber data untuk pembuatan model orthophoto.



Gambar2. Prinsip kerja fotogrametri untuk menghasilkan model 3 dimensi dari beberapa gambar foto untuk objek yang sama, namun dari beberapa sudut pengambilan gambar.

Pemodelan Numarik

Pemodelan tsunami merupakan cara tercepat dan termudah untuk melakukan analisis zona rawan tsunami. Terdapat lima tahap utama yang dilalui dalam pemodelan tsunami ini (Gambar 3). **Tahap pertama**, yaitu studi literatur untuk memahami kondisi geologi-tekonik di wilayah kajian serta memahami model hidrodinamika yang digunakan. **Tahap kedua**, masuk ke dalam tahap pengumpulan dan pengolahan data. Data yang diolah adalah data elevasi dari berbagai sumber data bathimetri dan topografi, sebagai input dalam pemodelan tsunami yang dibuat menjadi beberapa domain pemodelan dengan berbagai ukuran grid. **Tahap ketiga**, dilakukan analisis terhadap sumber tsunami yang berasal dari kajian PTHA (*Probabilistik Tsunami Hazard Analysis*), sejarah kejadian dan penelitian terdahulu. **Tahap keempat**, setelah semua data siap, masuk ke tahap selanjutnya, yaitu pengaturan model di dalam perangkat lunak ANUGA. **Tahap kelima**, setelah model siap, langkah selanjutnya adalah menjalankan model tahap akhir dengan menggunakan seluruh skenario serta resolusi model yang terbaik.

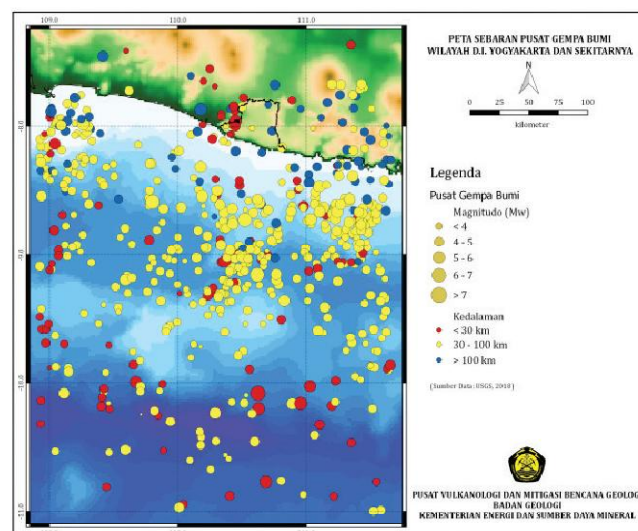


Gambar3. Alur kerja dalam melakukan pemodelan tsunami.

PEMBAHASAN

Tektonik, Kegempaan, dan Sejarah Tsunami

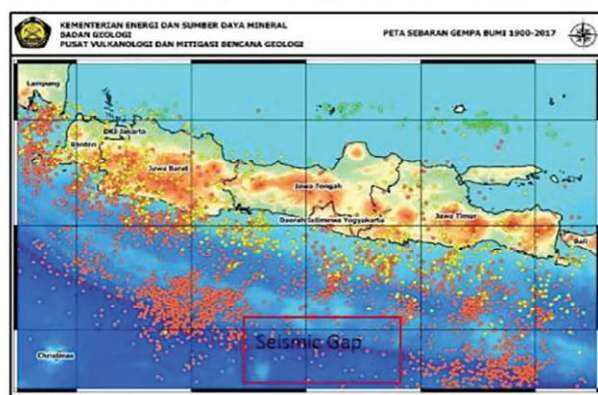
Secara fisiografi, Gunung Kidul termasuk dalam Pegunungan Selatan yang terdiri dari endapan gunung api tua di bagian utaranya dan batu gamping (Formasi Wonosari) di antara Sungai Opak dan Pacitan serta adanya abrasi di tebing pantai yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia (Van Bemmelen, 1949). Kenampakan alamnya berupa bukit karst, pantai landai yang berteluk, dan pantai tebing. Tektonik Pulau Jawa dikontrol oleh kegiatan subduksi Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia di selatan Pulau Jawa yang bergerak $\pm 50 - 70$ mm/ tahun (Jones dkk., 2014). Pergerakan ini sangat aktif hingga sekarang, ditandai dengan banyak gempa bumi yang terjadi dari tahun 1900 hingga sekarang (Gambar 4). Sumber gempa bumi ini juga merupakan sumber pembangkit tsunami.



Gambar4. Sebaran pusat gempa bumi di Jawa Tengah dan DIY tahun 1900-2018
Sumber: (USGS, 2018).

Menurut Soehaimi (2008), kegempaan regional Jawa dibagi atas kegempaan lajur tunjaman selatan Jawa (kedalaman dangkal hingga dalam 0-400 km dengan kekuatan > 4 Skala Richter/ SR) dan sesar aktif Jawa (kedalaman dangkal < 30 km). Daerah Gunung Kidul pernah menjadi episenter dari gempa bumi merusak dengan magnitudo 6,3 Mw (*moment magnitude*) yang disebabkan oleh Sesar Opak (Sulaeman dkk., 2008). Berdasarkan data kegempaan USGS tahun 1900 hingga 2018, sering terjadi gempa bumi di lajur tunjaman selatan Jawa dibandingkan dengan sesar aktif. Tercatat gempa bumi pada 1921 dengan magnitudo 7,6 Mw dan kedalaman 15 km di selatan Jawa (± 200 km Selatan Pantai Sadeng, Gunung Kidul).

Berdasarkan katalog tsunami (Latief, Puspo, dan Imamura, 2000), daerah Banyuwangi dilanda tsunami bersumber dari selatan Jawa dengan jarak ± 250 km. Begitu juga dengan Tsunami Pangandaran 17 Juli 2006, terdampak hingga ke Malang, Jawa Timur, dan menurut data NOAA tercatat lebih dari 500 orang meninggal. Adanya zona yang jarang terjadi gempa bumi (*seismic gap*) di selatan Jawa Tengah hingga sebagian Jawa Timur. Tidak menutup kemungkinan Gunung Kidul terdampak tsunami akibat potensi gempa bumi pada daerah *seismic gap* (Gambar 5).



Gambar 5. Sebaran gempa bumi di Pulau Jawa dengan kedalaman hingga lebih dari 300 km.

Sumber: (hasil plot lokasi gempa USGS)

Keterangan:

- Bulatan merah merupakan gempa bumi dangkal
- Bulatan kuning merupakan gempa bumi menengah
- Bulatan hijau merupakan gempa bumi dalam

Identifikasi Karakteristik Pantai

Pembagian karakteristik pantai dilakukan dengan memperhatikan geomorfologi pantai, baik secara lateral maupun lebar pantai dari garis pantai ke arah darat. Secara umum, pesisir pantai Gunung Kidul dapat dibagi menjadi dua tipe karakteristik pantai, yaitu pantai lurus dan bertebing serta pantai berteluk dan landai (Gambar 6). Pantai bertebing merupakan pantai dominan yang ada di wilayah Gunung Kidul. Wilayah dengan pantai bertebing merupakan wilayah yang cenderung aman terhadap ancaman tsunami karena wilayah tersebut biasanya memiliki pantai yang berhadapan dengan tebing tinggi. Gelombang tsunami akan tertahan oleh tebing pantai dan sedikit aktivitas manusia di wilayah dataran rendahnya.



Gambar 6. Jenis pantai dengan morfologi dan tebing tinggi di wilayah Gunung Kidul,

Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Pantai berteluk dan landai merupakan pantai-pantai yang berada di antara pantai-pantai tebing (Gambar 7). Pantai ini biasanya berbentuk teluk-teluk kecil (*ria coast*) dan merupakan pantai bermorfologi datar yang sempit, berupa muara sungai (*pocket beach*). *Pocket beach* ini memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap tsunami karena bentuk pantai yang seperti kantong ini bersifat mengumpulkan gelombang tsunami. Daerah sepanjang aliran sungai yang bermuara ke *pocket beach*, walaupun cukup jauh dari pantai, berpotensi terlanda gelombang tsunami. Jenis pantai kedua ini memiliki lebar pantai yang pendek, namun aktivitas manusia di wilayah ini cukup tinggi. Wilayah ini dimanfaatkan sebagai pemukiman, kegiatan nelayan, serta daerah wisata. Potensi tsunami di pantai jenis kedua ini cenderung akan lebih tinggi daripada jenis pantai pertama sehingga wilayah-wilayah tersebut menjadi prioritas utama untuk dilakukan penelitian.

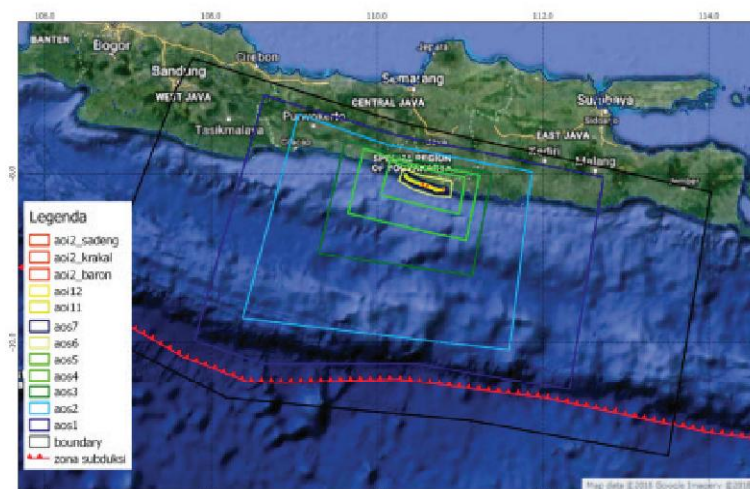


Gambar 7. Jenis pantai berteluk dengan morfologi landai di wilayah Gunung Kidul,
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Pemodelan Tsunami

Model Elevasi

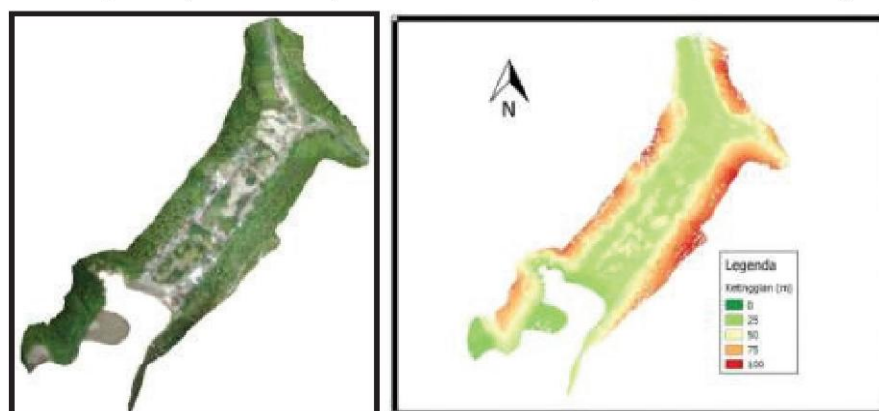
Data elevasi merupakan data yang sangat penting dalam pemodelan tsunami yang akan memengaruhi tahap penjalaran gelombang tsunami dari sumber ke pantai hingga luas daerah terendam. Untuk memperoleh langkah pemodelan yang paling efektif dan efisien maka ditentukan *Area of Interested* (AOI) dan *Area of Significant* (AOS) pada domain model elevasi dengan resolusi yang berbeda-beda, mulai dari resolusi 2 km pada AOS terluas hingga resolusi 25 m pada AOI terkecil (Gambar 8).



Gambar 8. AOS dan AOI yang digunakan dalam pemodelan tsunami di wilayah Gunung Kidul,
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Model batimetri yang digunakan dalam pemodelan ini adalah asimilasi antara data GEBCO dan Bathimetri bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG), serta menggunakan garis pantai dari BIG. Pada batas antara data GEBCO dan BIG, dilakukan interpolasi ulang agar data batimetri

menjadi lebih halus dan untuk menghindari perubahan yang signifikan dari data kedalaman. Serupa dengan data batimetri, data topografi juga menggunakan dua jenis data yang berbeda, yaitu data elevasi SRTM, RBI, dan DTM dari hasil fotogrametri. Topografi detail dari hasil fotogrametri, terutama digunakan untuk wilayah kajian utama, yaitu di Pantai Baron, Krakal, dan Sadeng (Gambar 9).

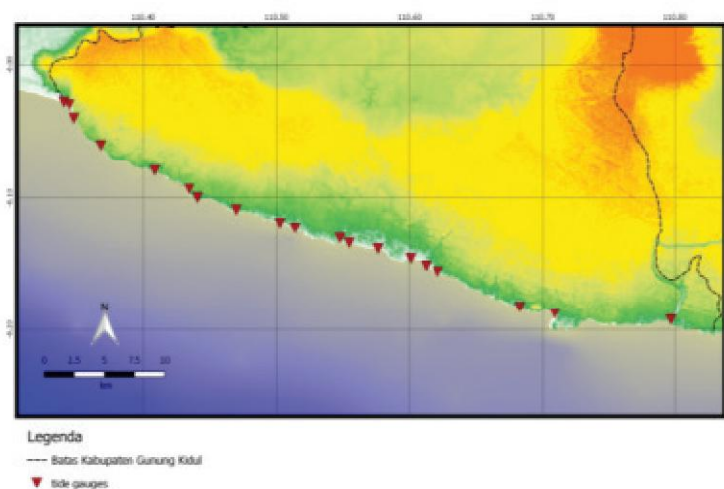


Gambar 9. Salah satu hasil foto udara di pantai Baron, Gunung Kidul
Sumber: (Hasil pemodelan fotogrametri oleh Minarno)

Tinggi Gelombang Tsunami

Pemodelan tsunami menggunakan skenario model sumber gempa bumi pada zona subduksi Sunda yang memberikan dampak paling signifikan terhadap daerah penyelidikan. Sumber tsunami yang digunakan mengacu pada beberapa skenario model sumber yang digunakan dalam *probabilistic tsunami hazard assessment* (PTHA) (Horspool dkk., 2014). Pemodelan tsunami dengan magnitudo yang sama, namun lokasi deformasi berbeda memberikan informasi bahwa tinggi tsunami maksimum terjadi untuk model sumber yang cukup dekat dengan Pantai Gunung Kidul (Gambar 11 dan 12). Adapun waktu tiba gelombang relatif hampir sama, dengan gelombang pertama yang muncul di pantai adalah gelombang naik sejak terjadi deformasi bawah permukaan.

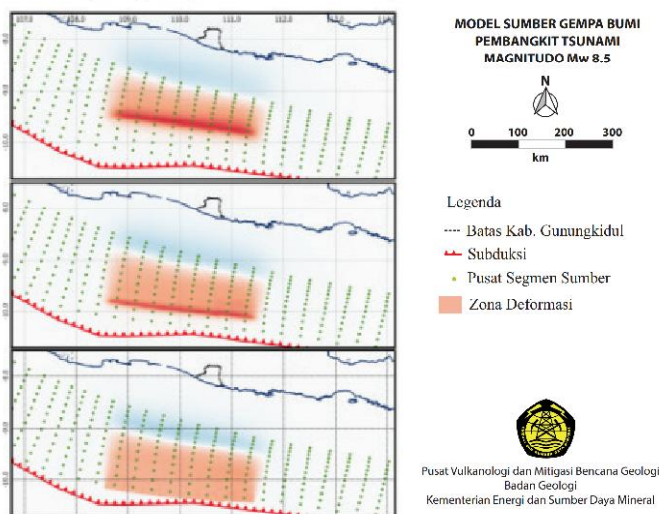
Gelombang tsunami yang dihasilkan dari pemodelan numerik dicatat dengan menggunakan titik pengamatan berupa *tide-gauges* artifisial yang ditempatkan sepanjang pantai Kabupaten Gunung Kidul (Gambar10). *Tide gauges* tersebut digunakan untuk mencatat ketinggian tsunami maksimum yang datang di pantai serta memberikan estimasi waktu tiba gelombang tsunami yang dapat mengancam wilayah Gunung Kidul.



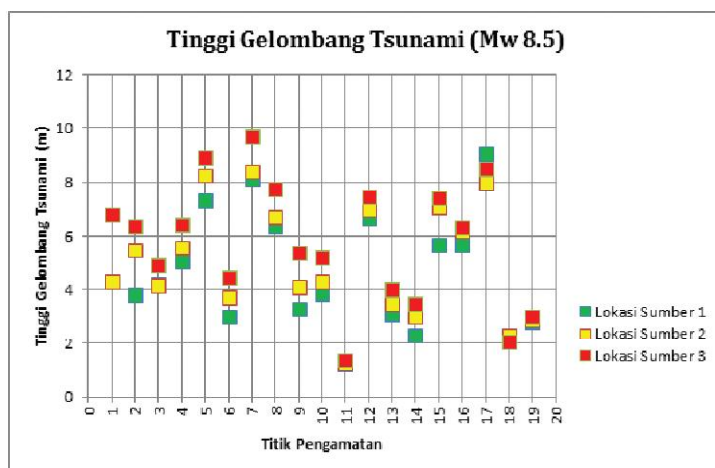
Gambar 10. Titik-titik pengamatan gelombang tsunami hasil pemodelan di sepanjang pantai kabupaten Gunung Kidul.
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Pemodelan tsunami dilakukan juga berdasarkan besaran magnitudo yang berbeda. Pemodelan dengan berbagai nilai magnitudo dimaksudkan untuk mengetahui minimum magnitudo yang dapat

membangkitkan tsunami dan mengancam wilayah Gunung Kidul. Adapun besaran magnitudo gempa bumi yang digunakan dalam pemodelan adalah Mw 7.0, 7.5, 8.5, dan 8.7.

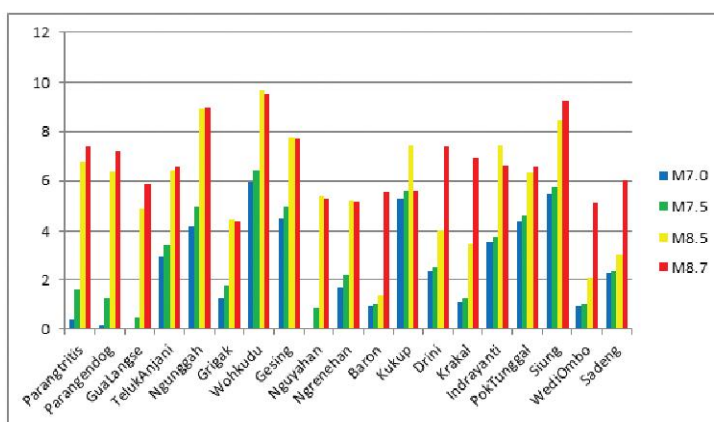


Gambar 11. Lokasi model sumber gempa bumi pembangkit tsunami pada tiga lokasi berbeda untuk skenario magnitudo Mw 8.5 (atas ke bawah: lokasi 3, lokasi 2, lokasi 1)
Sumber: (Robiana dkk., 2018)



Gambar 12. Ketinggian gelombang tsunami yang tercatat di titik pengamatan (*tide gauges*) artifisial dengan magnitudo yang sama (skenario Mw 8.5) namun pada lokasi yang berbeda seperti pada gambar 11
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Hasil pemodelan tsunami dengan beberapa skenario magnitudo gempa menunjukkan bahwa gelombang tsunami dengan gempa bumi Mw ≥ 7.5 sudah dapat membangkitkan gelombang tsunami yang cukup tinggi. Mayoritas titik pengamatan mencatat gelombang tsunami lebih besar dari 2 m (Gambar 13).

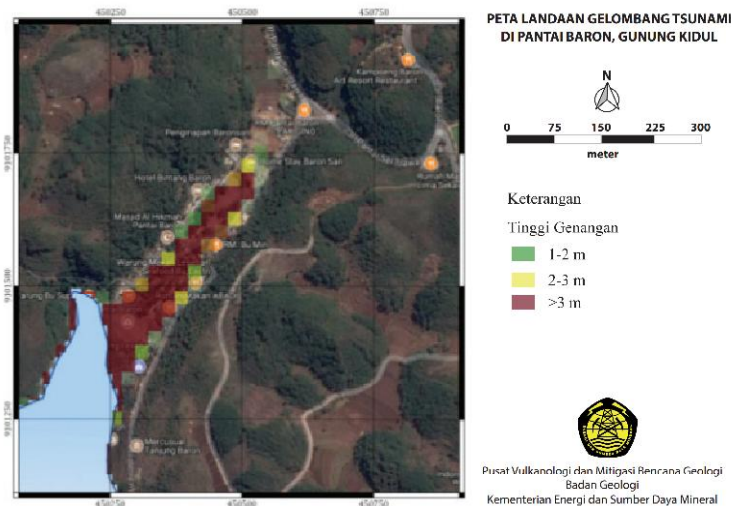


Gambar 13. Ketinggian gelombang tsunami maksimum yang tercatat di setiap titik pengamatan berdasarkan beberapa skenario magnitudo gempa pembangkit tsunami
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

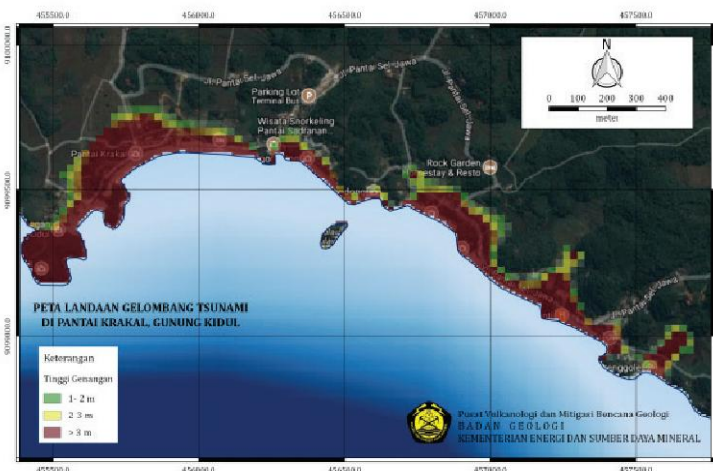
Zona Bahaya Tsunami

Penentuan zona rawan tsunami didasarkan pada tinggi dan landaan tsunami maksimum dari beberapa skenario gempa bumi yang telah dimodelkan. Adapun fokus pemetaan landaan tsunami

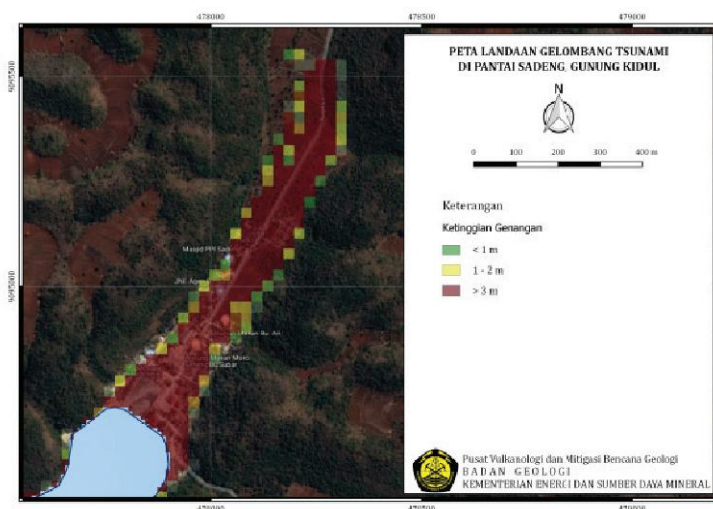
dilakukan pada tiga lokasi pantai yang memiliki tingkat aktivitas yang cukup tinggi, yaitu wilayah pantai Baron, Krakal - Indrayanti, dan Sadeng. Berdasarkan hasil pemodelan, tinggi gelombang tsunami maksimum yang tercatat pada titik pengamatan di Pantai Baron mencapai 5,5 m dengan jarak landaan maksimum mencapai ± 450 m ke arah darat (Gambar 14). Titik pengamatan di wilayah Pantai Krakal mencatat tsunami dengan ketinggian maksimum sekitar 6,9 m. Melalui pemodelan, diketahui jarak landaan maksimum ± 200 m ke arah darat (Gambar 15). Tinggi tsunami pada titik pengamatan di Pantai Sadeng mencatat tinggi tsunami maksimum sekitar 6,02 m, dengan jarak landaan maksimum mencapai 950 m ke arah darat (Gambar 16).



Gambar 14. Ketinggian gelombang tsunami maksimum yang tercatat di setiap titik pengamatan berdasarkan beberapa skenario magnitudo gempa pembangkit tsunami
Sumber: (Robiana dkk., 2018)



Gambar 15. Peta landaan tsunami di wilayah pantai Krakal
Sumber: (Robiana dkk., 2018)



Gambar 16. Peta landaan tsunami di wilayah pantai Sadeng
Sumber: (Robiana dkk., 2018)

Berdasarkan hasil pemodelan di tiga wilayah pantai di Kabupaten Gunung Kidul, tsunami dengan tinggi maksimum berpotensi melanda dan mengancam seluruh fasilitas dan bangunan di wilayah pantai karena bentuk pantai yang landai dan sempit. Keberadaan tanda-tanda evakuasi dan jalur jalan untuk evakuasi sangat diperlukan untukantisipasi dan kesiapsiagaan masyarakat yang beraktivitas di wilayah tersebut. Keberadaan bukit-bukit di sekitar permukiman penduduk dapat menjadi alternatif jalur evakuasi.

KESIMPULAN

Pesisir Pantai Gunung Kidul dapat dibagi menjadi dua tipe karakteristik pantai, yaitu pantai lurus dan bertebing (tipe 1) serta pantai berteluk dan landai (tipe 2). Walaupun pantai tipe 2 hanya sebagian kecil di wilayah Gunung Kidul, jenis pantai kedua ini memiliki aktivitas manusia yang cukup tinggi dan dimanfaatkan sebagai pemukiman, kegiatan nelayan, serta daerah wisata. Pantai landai dan luas berpotensi terlanda gelombang tsunami hingga jauh ke darat.

Tsunami berpotensi melanda wilayah Gunung Kidul dengan ketinggian genangan yang bervariasi mulai beberapa cm hingga lebih dari 3m, bergantung pada besarnya magnitudo gempa bumi serta lokasi sumber pembangkit tsunami. Hampir semua lokasi pengamatan di pesisir Pantai menunjukkan tinggi gelombang tsunami maksimum yang berpotensi mengancam wilayah pantai Gunung Kidul memiliki tinggi gelombang lebih dari 4 m. Namun, tidak semua dapat menjadi bencana karena topografi Pantai Gunung Kidul yang cenderung bertebing-tebing. Berdasarkan hasil pemodelan, tsunami dengan tinggi maksimum berpotensi melanda dan mengancam seluruh fasilitas dan bangunan di wilayah pantai yang menjadi prioritas penelitian. Oleh karena itu, harus dilakukan upaya mitigasi tsunami, baik secara mitigasi struktural maupun mitigasi nonstruktural guna meminimalkan risiko bencana tsunami yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, H., Supartoyo, dan Sugiharto, (2013), Pemetaan Kawasan Rawan Bencana Tsunami Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, (*Laporan kegiatan di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi*), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Horspool, N., Pranantyo, I.R, Griffin, J., Latief, H., Natawidjaja, D.H., Kongko, W., Cipta, A., Bustaman, K, Anugrah, S.D., and Thio, H.K. (2014). *A Probabilistic Tsunami Hazard Assessment for Indonesia, Natural Hazards and Earth Systems Science*, 14, 3105–3122.
- Jones, E.S., Hayes, G.P., Bernardino, Melissa, Dannemann, F.K., Furlong, K.P., Benz, H.M., and Villaseñor, Antonio. (2014). *Seismicity of the Earth 1900–2012 Java and vicinity*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010–1083-N, 1 sheet, scale 1:5,000,000, <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20101083N>. [Di unduh 30 Desember 2014].
- Latief, Hamzah, Nanang Puspito, and Fumihiko Imamura. (2000). *Tsunami Catalog and Zones in Indonesia*, *Journal of Natural Disaster Science* (January).
- Soehaimi, A., 2008, Seismotektonik Dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa, *Jurnal Geologi Indonesia* 3(4): 227–40.
- Solikhin, A., Minarno, P. A., Junaedi, D., Putra, I.E., 2016, Penelitian Gempa bumi Memicu Gerakan Tanah di Kabupaten Aceh Tengah, Aceh, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, KESDM. Bandung.
- Sulaeman, Cecep, Lestari Cendekia Dewi, dan Wahyu Triyoso, 2008, Karakterisasi Sumber Gempa Yogyakarta. (2006). Berdasarkan Data GPS, *Jurnal Geologi Indonesia* 3(1): 49–56.
- Van Bemmelen, R. W., 1949, *The Geology of Indonesia*, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes.