

RELASI LUAS GUNUNG ANAK KRAKATAU BERDASARKAN CITRA LANDSAT 8 DENGAN REKAMAN GETARAN AMPLITUDO TAHUN 2018-2019

Farida Febrian Fazanisa¹, Mochamad Firman Ghazali², Ahmad Zaenudin^{1*}, Alhada Farduwin³

¹ Program studi Teknik Geologi, Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jalan Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

² Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jalan Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

³ Program studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan

Riwayat Artikel

Submitted : 8/10/2025

Published : 28/01/2026

* Email Korespondensi:

ahmad.zaenudin@eng.unila.ac.id



Abstrak: Gunung Anak Krakatau mengalami dinamika aktivitas vulkanik dan perubahan morfologi yang ekstrem pada periode 2018–2019, yang berpuncak pada peristiwa *flank collapse* berskala masif pada 22 Desember 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola korelasi fisis antara fluktuasi intensitas getaran seismik (amplitudo) dengan perubahan luas wilayah daratan pada fase sebelum dan sesudah erupsi katastrofik. Metode yang digunakan adalah analisis geospasial multi-temporal berbasis penginderaan jauh menggunakan citra satelit Landsat 8 yang diintegrasikan dengan data amplitudo harian. Hasil analisis menunjukkan adanya korelasi selaras pada fase pra-erupsi berupa ekspansi area yang diiringi tingginya amplitudo akibat erupsi strombolian persisten, serta anomali korelasi negatif ekstrem pada keruntuhan sektoral. Secara keseluruhan, korelasi temporal secara langsung antara fluktuasi amplitudo dan perluasan wilayah tergolong lemah dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,2761, yang mengindikasikan bahwa variasi luas wilayah hanya dipengaruhi oleh amplitudo getaran sebesar 27,61%. Perubahan luas daratan, khususnya pada fase pertumbuhan kembali, tidak terjadi secara instan mengikuti ritme getaran, melainkan memiliki jeda waktu karena merupakan produk akhir dari proses geologi masif seperti akumulasi endapan tefra dan progradasi aliran lava. Disimpulkan bahwa pemantauan fisis menggunakan citra Landsat 8 memiliki keterbatasan resolusi dan penetrasi awan, sehingga evaluasi morfologi gunung api yang lebih presisi membutuhkan integrasi penginderaan jauh beresolusi tinggi.

Kata kunci: Amplitudo, Anak Krakatau, *Flank Collapse*, Landsat 8, Luas Wilayah, Penginderaan Jauh.

1. PENDAHULUAN

Gunung Anak Krakatau di Selat Sunda merupakan salah satu gunung api paling aktif di dunia yang terus mengalami pertumbuhan pesat sejak muncul pada sekitar tahun 1930 setelah letusan katastrofis Krakatau 1883 [1], [2], [3]. Aktivitas vulkanik yang dinamis secara konsisten memicu deformasi morfologi, berupa penambahan material kubah serta perubahan luas daratan akibat erupsi dan aliran lava.

Memasuki pertengahan tahun 2018, intensitas aktivitas vulkanik Gunung Anak Krakatau meningkat secara signifikan dan terus menerus dideteksi sejak Juni 2018 [4]. Aktivitas tinggi ini diiringi pelepasan energi seismik berupa getaran amplitudo secara konstan serta efusi material aliran lava bersuhu tinggi yang menumpuk di lereng [1], [4], [5]. Akumulasi material vulkanik masif ini memicu ketidakstabilan struktur internal tubuh gunung api [1].

Ketidakstabilan struktural semakin diperparah oleh kemiringan lereng yang sangat curam akibat arah pertumbuhan geomorfologi dominan ke barat daya [6]. Kombinasi penambahan massa material di permukaan dan kemiringan lereng ekstrem memicu pembebanan berlebih (*oversteepening*) pada tubuh

gunung [6]. Kondisi inilah yang menjadi faktor pemicu utama deformasi masif berupa runtuhnya sebagian tubuh gunung (*flank collapse*) [1], [5].

Puncaknya pada malam 22 Desember 2018, erupsi kuat memicu longsoran sektor barat daya Gunung Anak Krakatau dengan volume material runtuh mencapai kurang dari 0.25 km³ [7]. Longsoran bawah laut mendadak ini seketika memicu tsunami besar di sepanjang pesisir Selat Sunda [8], [9]. Bencana ini melanda pantai barat Banten dan pesisir selatan Lampung, menimbulkan kerusakan infrastruktur parah serta korban jiwa [10].

Peristiwa katastrofis tersebut mengubah total morfologi Gunung Anak Krakatau secara instan [5]. Ketinggian puncak daratan menyusut drastis dari 338 meter menjadi kurang lebih 110 meter di atas permukaan laut [11]. Selain penurunan elevasi, luas total area daratan pulau ini mengalami reduksi besar akibat hilangnya sektor barat daya yang amblas ke laut [12].

Dalam kajian modern, pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh sangat lazim dan diandalkan dalam penelitian kebencanaan geologi, kegempaan, serta deformasi kerak bumi [13], [14]. Penggunaan Citra Landsat 8 OLI/TIRS berkat sensor inframerah gelombang pendek (SWIR-1 dan

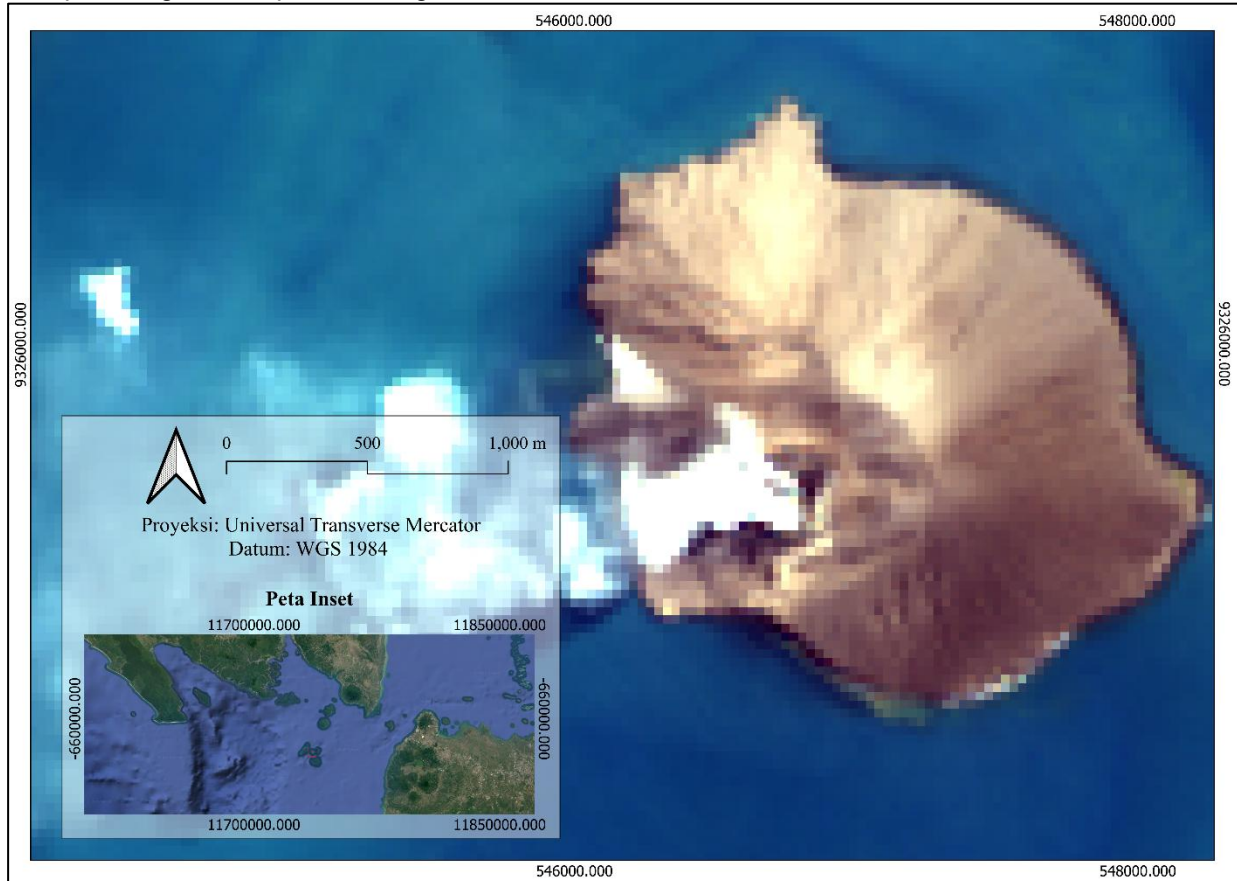
SWIR-2) memungkinkan pemantauan termal dan pemetaan garis pantai secara berkala dari jarak aman [15].

Oleh karena itu, penelitian ini penting dilaksanakan melalui integrasi analisis spasial multi-temporal citra satelit Landsat 8 dan rekaman data getaran amplitudo. Studi ini diharapkan mampu menguraikan pola hubungan fisis antara

perubahan luas wilayah daratan pulau dengan fluktuasi intensitas getaran seismik vulkanik Gunung Anak Krakatau pada fase sebelum erupsi 2018 maupun pasca-erupsi 2019.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Secara geografis, wilayah penelitian ini sesuai pada gambar 1 yang berlokasi di kawasan vulkanik aktif Gunung Anak Krakatau dan perairan sekitarnya yang terletak di Selat Sunda, di antara Pulau Sumatra dan Pulau Jawa. Secara administratif, kawasan ini masuk dalam wilayah Cagar Alam Krakatau. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik morfologinya yang sangat dinamis, di mana pasca-erupsi dan longsoran sektor (*flank collapse*) pada Desember 2018, tubuh gunung mengalami perubahan dimensi daratan dan konfigurasi garis pantai yang signifikan. Cakupan spasial analisis difokuskan pada tubuh pulau dan zona perairan sekitarnya pada rentang tahun 2018 hingga 2019.

2.2 Citra yang Digunakan

Pengamatan perubahan garis pantai dan dinamika morfologi daratan Gunung Anak Krakatau pada periode 2018–2019 menggunakan data Citra Landsat 8 OLI/TIRS. Pemilihan data ini didasarkan pada ketersediaan

kanal multispektral yang memadai serta resolusi temporal yang konsisten untuk pemantauan multi-temporal. Dalam proses interpretasi visual dan pengamatan kondisi permukaan secara faktual, citra ini menggunakan metode komposit band 4, 3, dan 2 (*Natural Color*), yang masing-masing merepresentasikan kanal Merah (*Red*), Hijau (*Green*), dan Biru (*Blue*). Penggunaan kombinasi band ini menghasilkan kenampakan warna objek yang sesuai dengan kondisi aslinya (*true color*), sehingga sangat memudahkan dalam identifikasi visual awal, pengenalan bentuk lahan, serta pemisahan antara daratan dan badan air secara intuitif.

2.3 Pengolahan Citra Satelit

Tahapan pengolahan citra satelit dimulai dengan koreksi radiometrik dan atmosferik untuk mengkalibrasi nilai digital (*Digital Number / DN*) menjadi nilai pantulan permukaan (*Surface Reflectance*). Selanjutnya, dilakukan penggabungan kanal menggunakan komposit band 4, 3, dan 2 (*True Color Composite*) untuk

menghasilkan kenampakan warna objek yang sesuai dengan kondisi aslinya sehingga memudahkan interpretasi visual batas daratan dan perairan. Ekstraksi batas daratan dilakukan melalui metode digitasi menggunakan perangkat lunak QGIS, dengan hasil luasan yang dikonversi ke dalam satuan hektar menggunakan kalkulasi matematis berbasis atribut vektor. Data parameter fisis berupa rekaman nilai getaran gempa bumi (amplitudo) kemudian dikumpulkan dari situs resmi MAGMA Indonesia yang terletak pada [16] sehingga kedua data utama berupa luas wilayah daratan serta getaran gempa bumi disatukan ke dalam lembar kerja Microsoft Excel untuk dianalisis lebih lanjut.

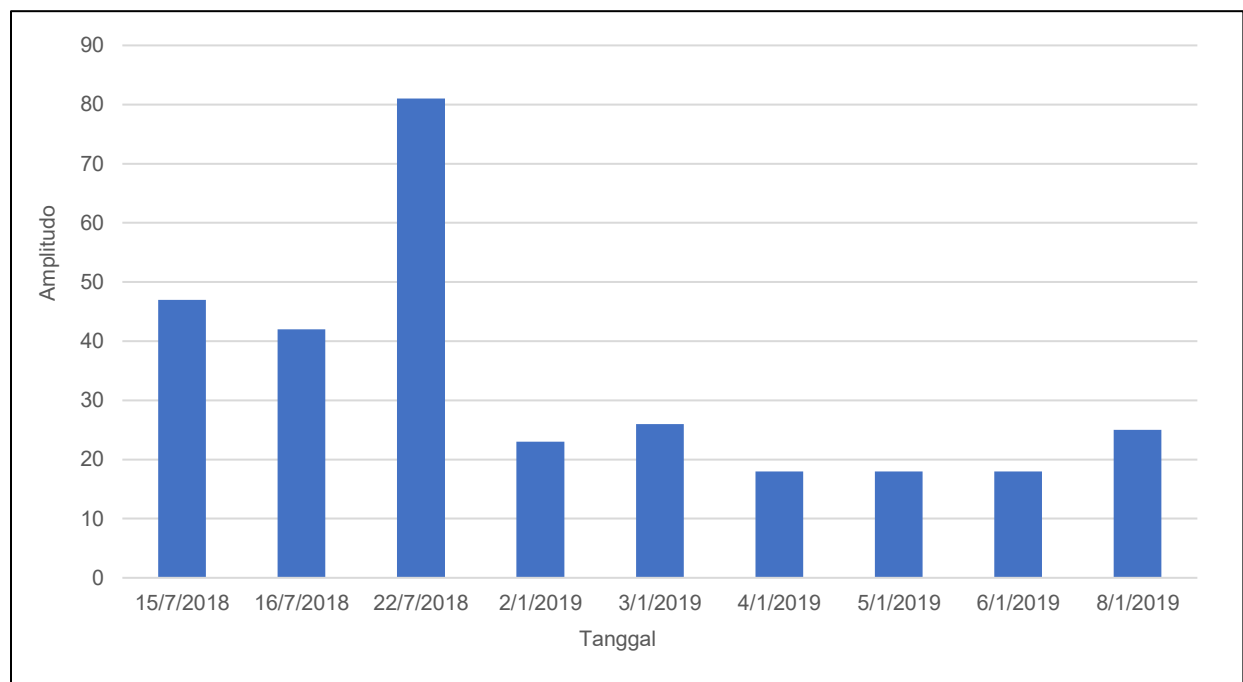
2.4 Uji Hasil

Untuk memastikan tingkat akurasi dari ekstraksi garis pantai dan estimasi luas daratan yang dihasilkan oleh Citra Landsat 8, tahap validasi dilakukan melalui dua pendekatan utama. Pendekatan pertama adalah uji konsistensi silang data spasial dengan membandingkan hasil delineasi garis pantai terhadap data sekunder, peta geologi resmi, serta laporan ilmiah dan dokumentasi dari lembaga berwenang seperti PVMBG dan riset

literatur terkait Gunung Anak Krakatau pada periode 2018–2019. Pendekatan kedua dilakukan melalui analisis komparasi parameter fisis dengan mencocokkan tren temporal hasil ekstraksi luas daratan dengan rekaman data getaran amplitudo seismik harian atau bulanan, guna menguji keselarasan fisik antara dinamika vulkanik internal dan respons morfologi eksternal di permukaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik amplitudo harian Gunung Anak Krakatau selama periode 2018–2019 merepresentasikan dinamika transisi aktivitas vulkanik yang sangat komprehensif, ditandai dengan perubahan struktural fisis dan pergeseran mekanisme erupsi. Hal ini sesuai dengan pada gambar 2 dimana pada fase pra-erupsi hingga pertengahan Desember 2018, data amplitudo menunjukkan kenaikan nilai amplitudo, yang mengartikan bahwa intensitas erupsi tipe Strombolian yang secara kontinu berkontribusi pada penumpukan material vulkanik serta peningkatan beban gravitasi secara masif pada lereng bagian barat daya.



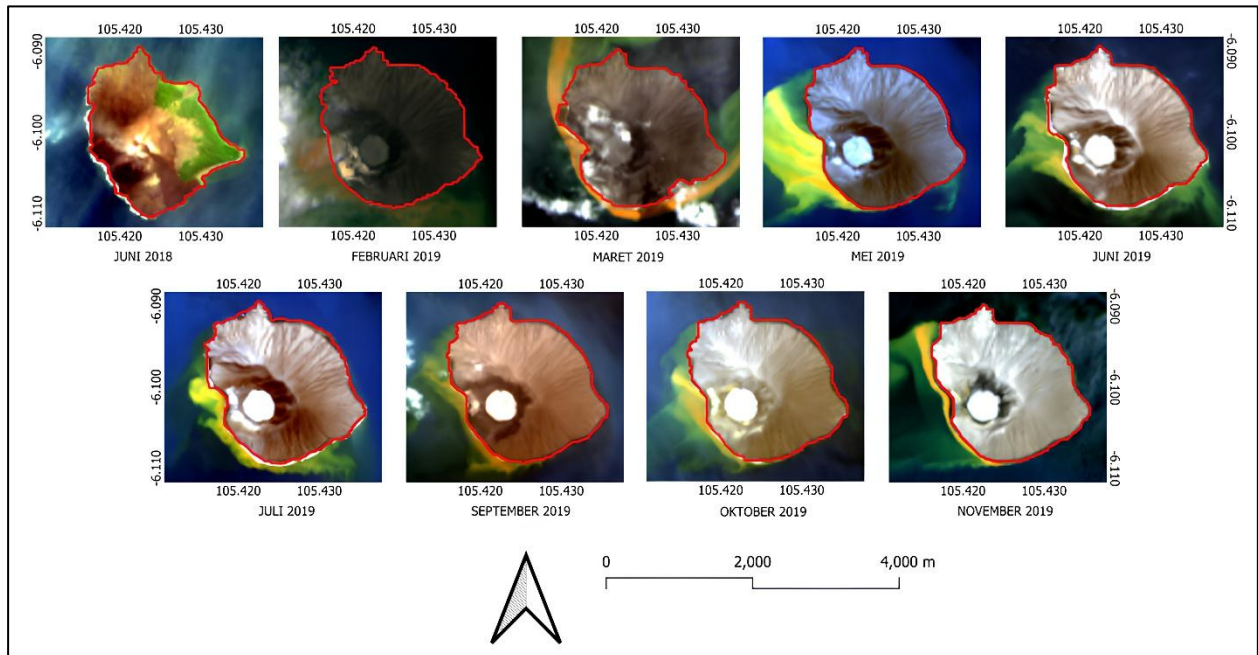
Gambar 2. Grafik Intensitas Getaran Gunung Anak Krakatau

Akumulasi ketidakstabilan lereng tersebut mencapai titik kritisnya pada 22 Desember 2018, yang terekam sebagai anomali lonjakan energi seismik berfrekuensi rendah tanpa disertai fase kedatangan gelombang badan (*body-wave*) yang jelas, sebuah rupa sinyal seismik atipikal yang secara spesifik mengindikasikan pelepasan

energi kinetik berskala besar akibat runtuhnya kerucut vulkanik (*flank collapse*) ke perairan Selat Sunda. Memasuki periode pasca-erupsi sepanjang tahun 2019, rekaman seismik memperlihatkan transisi pola amplitudo yang memperlihatkan pola fluktuasi dengan sifat dasar yang berlainan diakibatkan oleh destruksi sebagian besar morfologi tubuh

gunung yang menyebabkan sistem saluran magma utama (*conduit*) terpapar secara terbuka terhadap intrusi air laut, sehingga secara langsung memicu pergeseran dominasi

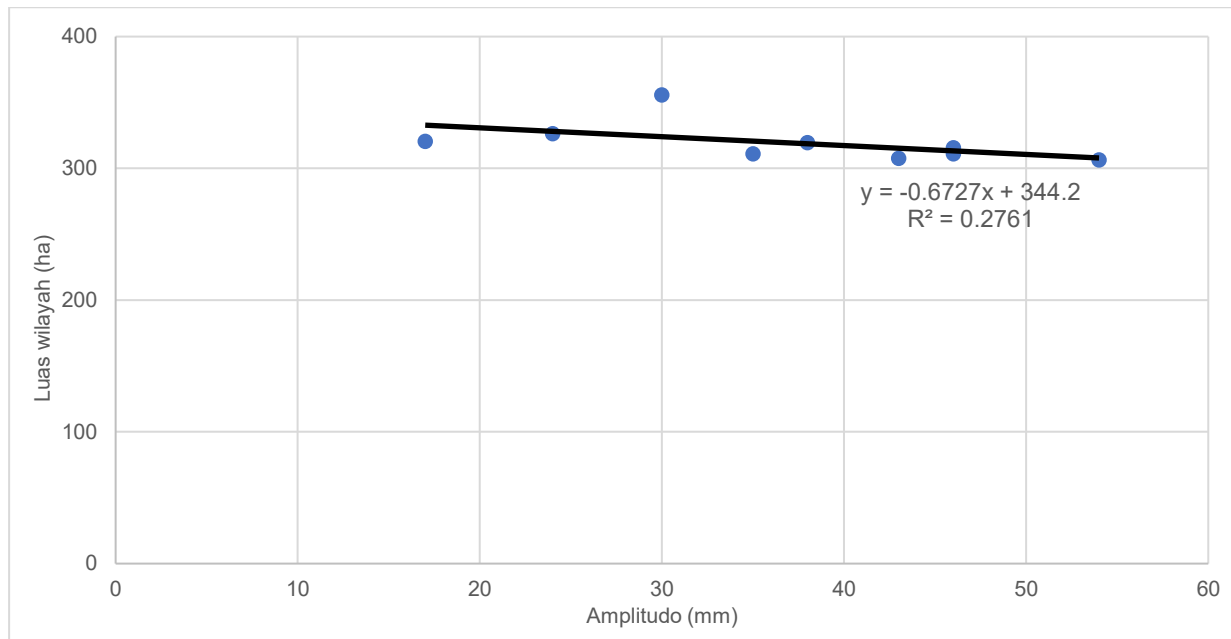
aktivitas dari magmatik murni menjadi serangkaian erupsi freatomagmatik dan interaksi hidrotermal yang intensif.



Gambar 3. Visualisasi bentuk Pra-Pasca Erupsi Gunung Anak Krakatau 2018-2019

Visualisasi spasial perubahan luas Gunung Anak Krakatau sepanjang periode 2018–2019 yang disajikan dalam Gambar 3 memperlihatkan perubahan akibat aktivitas erupsi. Citra *true color* dari satelit Landsat 8 menunjukkan perbedaan kondisi tutupan lahan sebelum erupsi besar pada Juni 2018 dibandingkan dengan kondisi pasca-runtuhnya tubuh gunung pada Februari 2019 hingga akhir tahun 2019. Garis merah yang memutar area pulau menggambarkan adanya penyusutan luas wilayah secara drastis setelah peristiwa bencana tersebut, disusul oleh dinamika perubahan garis pantai yang terus berkembang akibat penambahan material vulkanik. Perubahan warna permukaan pulau yang terekam secara temporal mencerminkan pergantian material permukaan, mulai dari vegetasi yang masih terlihat pada pertengahan 2018 hingga dominasi endapan vulkanik segar dan abu pada periode pasca-erupsi.

Secara geomorfologis peristiwa ini menyebabkan penurunan pada luasan daratan di atas permukaan laut di mana sebagian besar wilayah daratan kerucut aktif vulkanik luruh dalam sekejap dan berpindah menjadi material longsor bawah laut (*submarine landslide*) di dasar Selat Sunda. Penghancuran masif tubuh gunung ini tidak sekadar mengubah garis pantai pulau secara drastis, melainkan juga menyisakan kawah kaldera berbentuk tapal kuda yang terendam air laut. Dari perspektif dinamika struktural, pengurangan luasan area akibat hilangnya penopang utama di arah barat daya ini mengurangi volume fisis tubuh gunung secara ekstrem, yang secara langsung mengubah distribusi tegangan (*stress orientation*) internal dan menciptakan ketidakstabilan lereng sisa yang sangat rentan terhadap deformasi lanjutan.



Gambar 4. Relasi Antara Luas Wilayah dengan Getaran Amplitudo Gunung Anak Krakatau Pra-Pasca Erupsi

Hubungan antara fluktuasi luas area dan amplitudo harian Gunung Anak Krakatau sepanjang periode 2018–2019 yang disajikan pada gambar 4 mengartikan dinamika fisis yang kompleks antara proses penumpukan material dan destruksi kerucut vulkanik. Pada fase pra-erupsi di tahun 2018, terekam korelasi fisis yang selaras di mana luasan area berada pada titik puncak ekspansinya seiring dengan tingginya fluktuasi amplitudo seismik yang rapat. Kondisi ini mencerminkan dominasi aktivitas erupsi tipe Strombolian yang terus menerus dalam mengakumulasi material vulkanik serta memicu pembebanan gravitasi ekstrem pada lereng gunung. Hubungan tersebut berubah menjadi korelasi negatif yang sangat ekstrem pada momen keruntuhan sektoral tanggal 22 Desember 2018. Pada saat itu, kurva luas area anjlok drastis akibat hilangnya lebih dari separuh tubuh subaerial gunung ke dasar laut (*flank collapse*), sementara amplitudo seismik melonjak ke titik ekuilibrium tertingginya sebagai manifestasi pelepasan energi kinetik berskala masif dari material longsorannya tersebut.

Memasuki fase rekonstruksi pasca-erupsi 2019, interaksi kedua parameter ini beralih pada pola fluktuasi yang lebih stabil, di mana kurva luas area kembali menunjukkan tren peningkatan secara bertahap (*regrowth*) yang diikuti oleh lonjakan amplitudo periodik. Fenomena ini merepresentasikan fase pembangunan kembali kerucut vulkanik yang didorong oleh serangkaian erupsi freatomagmatik intensif serta progradasi lava efusif dari sistem saluran yang kini berinteraksi langsung dengan intrusi air laut. Selain itu, hasil analisis garis linear terhadap hubungan antara amplitudo getaran dan luas wilayah Gunung Anak Krakatau disajikan dalam gambar 4 di atas. Secara visual, grafik tersebut menunjukkan garis tren yang

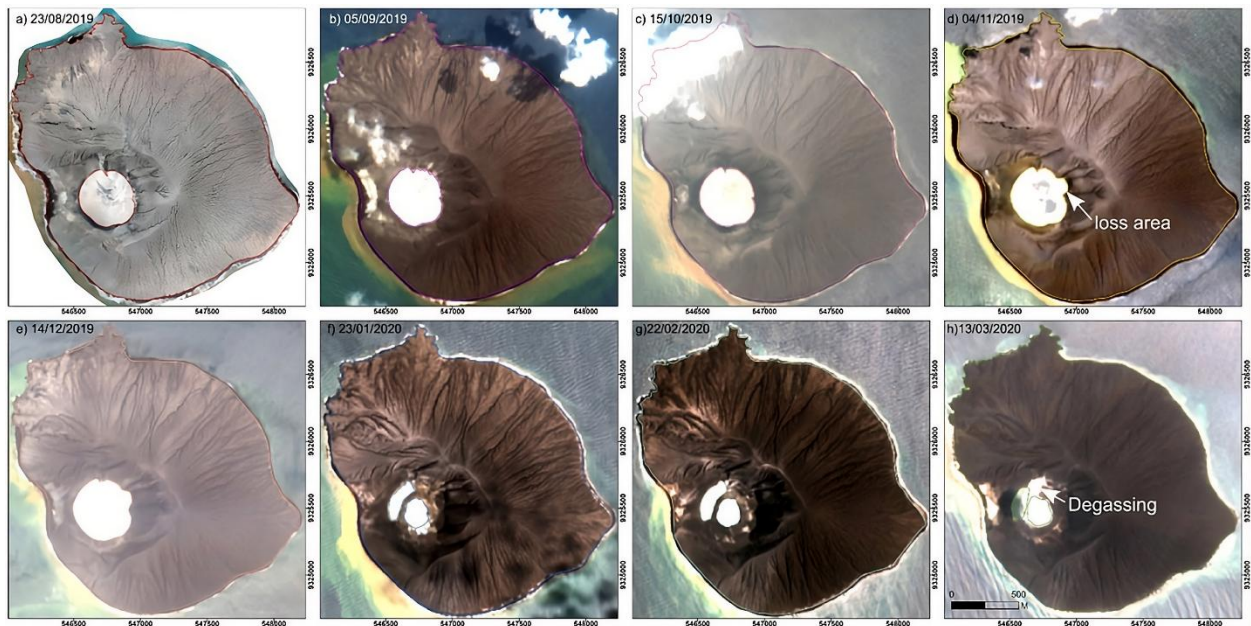
cenderung mendatar dengan kemiringan negatif yang sangat tipis. Nilai koefisien determinasi R^2 yang diperoleh dari analisis data ini adalah sebesar 0.2761, yang secara matematis merepresentasikan bagian dari regresi linier sederhana $y = mx + c$ di mana y adalah luas wilayah, x adalah amplitudo getaran, m adalah kemiringan garis, dan c adalah konstanta. Data ini mengindikasikan bahwa variasi luas wilayah Gunung Api Anak Krakatau hanya dipengaruhi oleh amplitudo getaran sebesar 27,61% saja.

Interpretasi statistik menunjukkan bahwa nilai $R^2 = 0.2761$ mengindikasikan bahwa amplitudo getaran memang memberikan pengaruh terhadap perubahan luas wilayah, meskipun pengaruh tersebut cenderung lemah. Hal ini berarti perubahan amplitudo getaran berperan kecil dalam menjelaskan pengurangan daratan Gunung Api Anak Krakatau selama periode 2018-2019. Perubahan luas wilayah tidak sepenuhnya bergantung pada besaran amplitudo, namun terdapat kontribusi yang dapat terukur dari aktivitas seismik tersebut. Secara kuantitatif, faktor lain di luar amplitudo memberikan kontribusi yang lebih besar dalam menentukan dinamika morfologi pulau. Dengan ini, data getaran amplitudo dapat dipandang sebagai salah satu indikator perubahan morfologi yang bersifat parsial.

Fenomena ketergantungan yang lemah ini bisa terjadi karena perubahan luas wilayah lebih didominasi oleh proses geologi lain yang lebih masif dibandingkan sekadar aktivitas getaran amplitudo. Proses akresi material vulkanik melalui akumulasi lava dan endapan piroklastik, serta laju erosi pantai yang intensif, menjadi faktor utama yang membentuk morfologi luas wilayah. Sementara itu, amplitudo getaran bersifat fluktuatif dan sering kali hanya merepresentasikan pelepasan energi di

bawah permukaan yang tidak selalu diikuti oleh ekstrusi material secara langsung ke permukaan. Selain itu, jeda waktu antara aktivitas seismik dan proses pengurangan material menyebabkan

hubungan antar-keduanya menjadi tidak bersifat instan.



Gambar 5. Rekonstruksi Morfologi Fisis Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi [17]

Secara umum, dengan metode yang serupa tidak diterapkan pada gunung api lain, referensi literatur yang paling mendekati penelitian ini adalah kajian [17]. Perbedaan mendasar antara hasil penelitian ini dan penelitian terdahulu [17] terletak pada fokus evaluasi serta pendekatan resolusi data yang digunakan dalam mengkaji dinamika Gunung Anak Krakatau. Penelitian [17] secara spesifik membahas rekonstruksi morfologi fisis dan laju pertumbuhan kembali (*regrowth*) kerucut vulkanik pada fase pasca-erupsi tahun 2019–2020. Penelitian ini menggunakan integrasi data penginderaan jauh beresolusi sangat tinggi, seperti fotogrametri UAV, Sentinel-2, dan citra Pleiades. Di sisi lain, penelitian ini menitikberatkan pada uji korelasi antara variabel luas daratan dari citra Landsat 8 beresolusi menengah dan fluktuasi getaran seismik berupa amplitudo pada rentang tahun 2018–2019.

Dalam studinya, penelitian [17] menemukan bahwa ekspansi luasan daratan terjadi secara nyata akibat kejadian geologi langsung di lapangan. Serangkaian peristiwa hidrotermal dan letusan freatomagmatik besar yang segera diikuti oleh letusan efusif terbukti mengubah morfologi Anak Krakatau secara signifikan. Perubahan tersebut tampak secara khusus pada erupsi 10 April 2020 yang menghasilkan endapan tefra dan aliran lava sehingga memperluas area lereng barat. Sementara itu, hasil analisis pada penelitian ini menyimpulkan bahwa korelasi temporal secara langsung antara getaran amplitudo dan

perluasan wilayah tergolong lemah. Lemahnya korelasi tersebut dijelaskan oleh fakta bahwa perubahan luas daratan tidak terjadi secara instan mengikuti ritme getaran seismik.

Perubahan wilayah daratan ini justru didominasi oleh proses geologi masif, seperti akumulasi material vulkanik yang memerlukan jeda waktu tertentu sebelum tampak di permukaan.

Konklusi tersebut secara empiris sangat sejalan dengan pembuktian oleh penelitian [17] bahwa penambahan area daratan merupakan produk akhir dari progradasi lava dan penumpukan tefra pasca-erupsi. Oleh karena itu, dinamika luas daratan bukan sekadar respons instan dari tingginya aktivitas seismik di bawah permukaan semata.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis spasial multi-temporal menggunakan Citra Landsat 8 dan data seismik harian, korelasi temporal langsung antara amplitudo getaran dan luas daratan Gunung Anak Krakatau selama periode 2018–2019 tergolong lemah. Variasi luas wilayah tidak merespons secara instan terhadap besaran amplitudo seismik bawah permukaan, melainkan dikendalikan secara dominan oleh proses geologi masif berupa akumulasi material vulkanik, runtuhnya sebagian tubuh gunung (*flank collapse*), serta laju erosi pantai yang memerlukan jeda waktu (*time lag*) tertentu sebelum bermanifestasi ke permukaan. Implikasi dari adanya jeda waktu pada proses geologi ini

menunjukkan bahwa data getaran amplitudo sebaiknya dipandang sebagai indikator parsial, sehingga sistem pemantauan mitigasi bencana ke depan perlu mengintegrasikan data penginderaan jauh beresolusi lebih tinggi dan rentang waktu multi-temporal yang panjang guna memetakan dinamika volume kerucut vulkanik dan laju pertumbuhan kembali (*regrowth*) secara lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Geologi UNILA 2024 dan semua pihak yang telah membantu serta memberikan saran dan masukan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. R. Walter, M. Haghsheenas Haghighi, F. M. Schneider, D. Coppola, M. Motagh, J. Saul, and P. Gaebler, "Complex hazard cascade culminating in the Anak Krakatau sector collapse," *Nature Communications*, vol. 10, no. 1, p. 4339, 2019.
- [2] I. S. Sutawidjaja, "Pertumbuhan Gunung Api Anak Krakatau setelah letusan katastrophis 1883," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 1, no. 3, pp. 143–153, 2006.
- [3] A. S. Pratomo, Y. Prasetyo, and S. Subiyanto, "Analisis Deformasi Dan Pemetaan Potensi Dampak Aliran Lava Pada Kawasan Gunung Agung," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 7, no. 4, pp. 119–127, 2018.
- [4] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), "Pers Rilis Aktivitas Gunung Anak Krakatau Minggu, 23 Desember 2018," Kementerian ESDM, Dec. 2018. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/pers-rilis-aktivitas-gunung-anak-krakatau-minggu-23-desember-2018>
- [5] D. K. Syahbana, K. Kasbani, G. Suantika, O. Prambada, A. S. Andreas, U. B. Saing, and M. R. Daryono, "The 2018 eruption and flank collapse of Anak Krakatau," *Bulletin of Volcanology*, vol. 81, no. 8, pp. 1–13, 2019.
- [6] H. Darmawan, B. W. Mutaqin, Wahyudi, A. Harijoko, H. E. Wibowo, N. Haerani, M. Surmayadi, Syarifudin, R. Jati, Suratman, and W. Asriningrum, "Topography and structural changes of Anak Krakatau due to the December 2018 catastrophic events," *Indonesian Journal of Geography*, vol. 52, no. 3, pp. 402–410, 2020, doi: 10.22146/ijg.53740
- [7] L. Ye, H. Kanamori, L. Rivera, T. Lay, Y. Zhou, D. Sianipar, and K. Satake, "The 22 December 2018 tsunami from flank collapse of Anak Krakatau volcano during eruption," *Science Advances*, vol. 6, no. 3, p. eaaz1377, 2020.
- [8] S. T. Grilli, D. R. Tappin, S. Carey, S. F. L. Watt, S. N. Ward, A. R. Grilli, and M. Muin, "Modelling of the tsunami from the December 22, 2018 lateral collapse of Anak Krakatau volcano in the Sunda Straits, Indonesia," *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, p. 11946, 2019.
- [9] R. Williams, P. Rowley, and M. C. Garthwaite, "Reconstructing the Anak Krakatau flank collapse that caused the December 2018 Indonesian tsunami," *Geology*, vol. 47, no. 10, pp. 973–976, 2019.
- [10] Syamsidik, Benazir, M. Luthfi, A. Suppasri, and L. K. Comfort, "The 22 December 2018 Mount Anak Krakatau volcanogenic tsunami on Sunda Strait coasts, Indonesia: tsunami and damage characteristics," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 20, pp. 549–565, 2020, doi: 10.5194/nhess-20-549-2020.
- [11] I. Saputra, R. Fadly, and A. Armijon, "Analisis Perubahan Topografi Gunung Anak Krakatau Pasca Erupsi Tanggal 22 Desember 2018 Menggunakan Data Foto Udara Dan Demnas," *Journal of Geodesy and Geomatics*, vol. 1, no. 2, pp. 43–55, 2021.
- [12] K. Meredew, S. F. Watt, M. Cassidy, A. F. Shomim, M. E. Nurshal, M. Abdurrachman, and D. K. Syahbana, "Forecasting future instability hazards at Anak Krakatau volcano, Indonesia, using archival reconstructions of edifice evolution," *Bulletin of Volcanology*, vol. 88, no. 5, 2026.
- [13] A. F. Mamonto, M. Lahay, R. Hermawan, I. Panai, R. Puh, S. Maryati, and N. Sune, "Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dalam Bidang Geologi," *Jurnal Riset dan Pengabdian Interdisipliner*, vol. 3, no. 1, pp. 54–60, 2026.
- [14] Y. Chen, J. S. Xia, C. Yu, and B. Q. Chen, "Editorial: InSAR crustal deformation monitoring, modeling and error analysis," *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, p. 1009492, 2022.
- [15] Suwarsono, D. Triyono, M. R. Khomarudin, and Rokhmatuloh, "Surface temperature changes of the crater of Agung Volcano from Landsat-8 TIRS during 2017-2018 eruption," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1528, no. 1, p. 012052. IOP Publishing, Apr. 2020.
- [16] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Laporan Aktivitas Gunung Api Anak Krakatau," MAGMA Indonesia, 2026. [Online]. Available: <https://magma.esdm.go.id/v1/gunung-api/laporan>
- [17] H. Darmawan, Suratman, Wahyudi, A. Harijoko, H. E. Wibowo, B. W. Mutaqin, N. Haerani, Syarifuddin, M. A. U. Albab, R. Jati, and W. Asriningrum, "Morphological changes of Anak Krakatau after the 22 December 2018 flank collapsed," *Geoscience Letters*, vol. 12, no. 42, pp. 2–14, 2025.