

Korelasi Peningkatan Temperatur Permukaan Tanah dan Aktivitas Seismik di Gunung Anak Krakatau pada tahun 2018

Correlation of Increasing Land Surface Temperature and Seismic Activity in Gunung Anak Krakatau on 2018

Cholisina Anik Perwita, Sukir Maryanto, Muhammad Ghufon, Mudo Prakoso, Stevany Abigail, dan Usna
Zainun Nasrulloh Zamhar

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang
Jalan Veteran No. 01 Malang 45145 Indonesia

e-mail: cholisina@ub.ac.id

Naskah diterima 10 Maret 2020, selesai direvisi 10 Desember 2020, dan disetujui 15 Desember 2020

ABSTRAK

Pemantauan gunungapi merupakan hal yang krusial terutama bagi negara yang mempunyai banyak gunungapi seperti Indonesia. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam pemantauan gunungapi aktif adalah biaya yang cukup besar dan lokasi gunungapi yang sulit diakses. Pemantauan jarak jauh (*remote sensing*) sudah mulai diaplikasikan untuk kebutuhan ini. Dalam penelitian ini kami mencoba menggabungkan *remote sensing* pemantauan Gunungapi Anak Krakatau (GAK) dengan pemantauan seismik untuk memberikan gambaran mengenai aktivitas vulkanik yang terjadi. Korelasi yang kuat didapatkan antara kenaikan jumlah gempa tremor terhadap kenaikan suhu permukaan dengan nilai korelasi Pearson sebesar 0,53 untuk gempa tremor dan 0,47 untuk gempa letusan. Temperatur maksimal yang tercatat pada bagian puncak, naik dari 30°C menjadi 70°C. Selain itu, leleran lava yang terjadi di lereng GAK dapat tercitrakan dengan baik pada LST (*Land Surface Temperature*).

Kata kunci: Gunung Anak Krakatau, monitoring, *remote sensing*, temperatur

ABSTRACT

Volcanic monitoring is one of the crucial things for the country which has rich of volcanoes such as Indonesia. High-cost ground base for monitoring is a problem that should be overcome, moreover if the volcanic area is difficult to access. Remote monitoring has begun to be applied to respond the need. In this study, land surface temperature (LST) from remote sensing method and seismic method combined to know volcanic activity of Anak Krakatau Volcano (GAK). A strong correlation is obtained from an increase in the number of tremor events to an increase in surface temperature with Pearson Correlation value 0,53 for tremor event and 0,47 for eruption earthquake. The maximum temperature in summit was increase from 30°C to 70°C. In addition, the melting lava that came out from eruption on the slopes of GAK can be well- imaged on LST.

Keywords: Gunung Anak Krakatau, volcanic monitoring, *remote sensing*, temperature

PENDAHULUAN

Indonesia adalah rumah bagi sekitar 127 gunungapi, yang merupakan jumlah paling banyak di dunia. Dari jumlah tersebut, sebanyak 69 gunungapi yang aktif dipantau oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Badan Geologi (BG). Dengan

demikian, sistem pemantauan gunungapi merupakan hal mendesak dilakukan utamanya untuk gunungapi yang diklasifikasikan tipe A, yaitu yang meletus setelah tahun 1600 (www.vsi.esdm.go.id). Beberapa metode pemantauan yang digunakan pada di area gunungapi adalah dengan metode geofisika seperti metode seis-

mik, metode gaya berat, metode magnetik, metode geokimia, pengukuran deformasi serta pemantauan visual. Penggunaan *remote sensing* untuk pemantauan aktivitas vulkanik sudah mulai digunakan dalam beberapa tahun terakhir, dengan memanfaatkan data yang diambil dari udara, misalnya deformasi permukaan, sebaran emisi gas dan debu, aliran lava serta perubahan emisi panas (Ernst, Kervyn dan Teeuw, 2008). Metode *remote sensing* dapat diandalkan untuk memetakan perubahan fisik gunungapi terutama pada daerah yang sulit diakses karena morfologinya yang rumit maupun daerah yang jauh dari pemukiman penduduk. Secara berkelanjutan, metode ini tergolong lebih murah jika dibandingkan dengan metode yang harus melakukan pengukuran secara *ground base*.

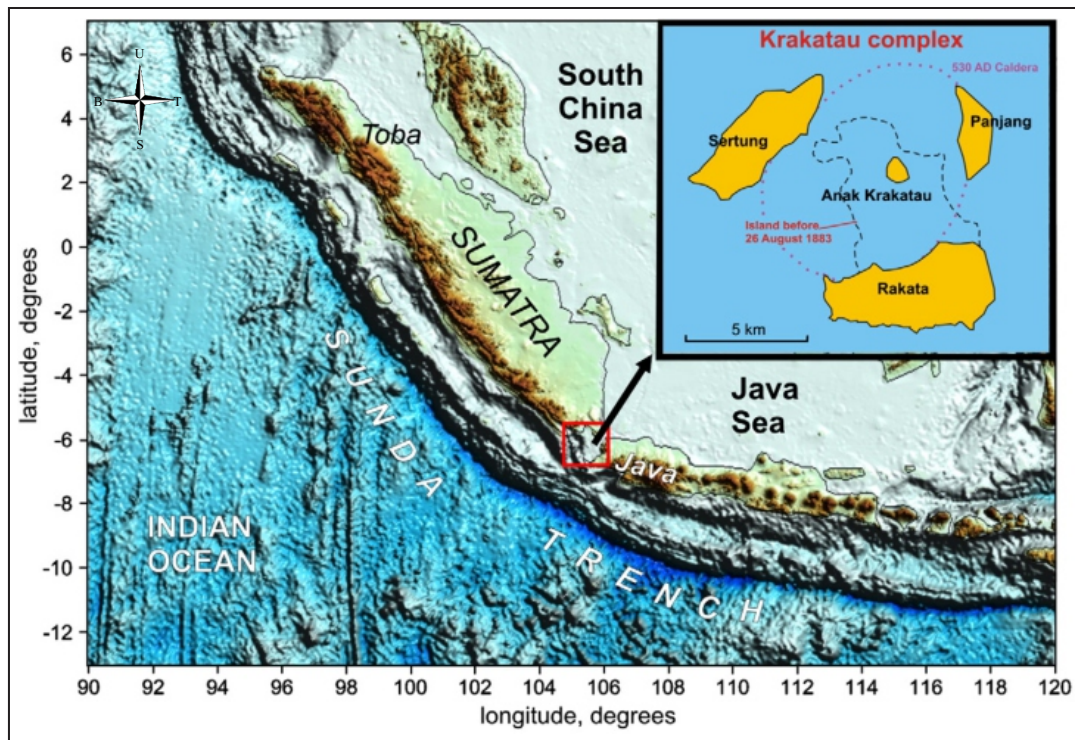
Satelit Landsat 8, yang merupakan capaian kerja sama antara *United State Geological Survey* (USGS) dengan *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) menyajikan data untuk metode *remote sensing* dengan resolusi cukup tinggi. Hasil Landsat dapat digunakan untuk mendeteksi aktivitas vulkanik, resolusi spasialnya yang tinggi dapat dimanfaatkan dalam eksplorasi panas bumi misalnya untuk menghitung *heat flux* dan mendeteksi area panas bumi (Eskandari, Rosa dan Amini, 2015). Landsat 8 yang diresmikan pada 2013 membawa dua sensor pencitra yaitu OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*). Sensor OLI terdiri atas 9 *band*, antara lain band sinar tampak, inframerah, gelombang pendek inframerah dengan resolusi spasial 30 meter, sedangkan TIRS memiliki 2 *band thermal* yang tidak dicitakan oleh OLI dengan resolusi spasial 100 meter (USGS, 2019). Meskipun mempunyai resolusi temporal rendah (sekitar 16 hari untuk mencitrakan area yang sama), data yang didapat *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang terpasang dalam Landsat memungkinkan secara efisien digunakan sebagai data awal untuk menghitung temperatur permukaan (*Land Surface Temperature/LST*) untuk area panas bumi (Qin, drr., 2011).

LST merupakan salah satu parameter fisis yang penting untuk menggambarkan energi permukaan dan kesetimbangan uap air di udara. Hasil dari LST dapat memberikan informasi tentang variasi temporal dan spasial dari keadaan kesetimbangan di permukaan tanah yang sangat penting secara fundamental untuk beberapa aplikasi (Li, drr., 2011). Selain panas bumi, pemantauan aktivitas gunungapi berhasil dilakukan dengan memanfaatkan data LST, misalnya, informasi tentang distribusi aliran lava aktif dan lokasi dari lava tubes di Gunung Kilauea, Hawaii; informasi mengenai *effusion rate* baik di Kilauea maupun Etna (Flynn, Harris dan Wright, 2001). *Thermal remote sensing* yang dilakukan secara terus menerus selama 9 tahun pada Gunung Kamchatka digabungkan dengan pengenalan karakteristik letusannya dapat membantu mengantisipasi/prediksi kejadian letusan yang besar (Girina, 2012).

Salah satu gunungapi di Indonesia yang merupakan kategori berada jauh dari pemukiman penduduk adalah Gunungapi Anak Krakatau (GAK) (Gambar 1). Gunungapi yang terletak di Selat Sunda ini bila dilihat dari sejarah aktivitasnya, letusannya dapat menimbulkan dampak yang cukup besar seperti tsunami yang terjadi pada tahun 1883 dan 2018. Pemanfaatan *remote sensing* terutama LST untuk sistem pemantauan gunungapi di Indonesia sendiri masih jarang dilakukan. Dalam penelitian ini, kami mencoba menyatukan pemantauan *ground base* yaitu metode seismik dan *satellite base* untuk mendapatkan gambaran yang mengenai aktivitas GAK di tahun 2018.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang berupa citra satelit Landsat 8. Area penelitian meliputi kompleks GAK, termasuk di dalamnya Pulau Sertung, Pulau Panjang dan Pulau Rakata dengan koordinat geografis berada pada -6,1021° Lintang Selatan (LS) dan 105,4230° Bujur



Gambar 1. Lokasi Kompleks Krakatau dengan Gunung Anak Krakatau (GAK) berada di Pulau Anak Krakatau (Jaxybulatov, dr. 2011).

Timur. Rentang data yang dipilih adalah mulai bulan Mei 2018 hingga-Desember 2018. Dalam rentang waktu tersebut, setiap bulan diambil data yang paling jelas dimana area penelitian tidak tertutup awan. Keberadaan awan yang menutupi area penelitian akan mengakibatkan kesulitan dalam pengolahan data sehingga temperatur permukaan tidak dapat terlihat jelas. Tutupan awan pada area penelitian sekitar 19 - 40% dimana dengan kriteria tutupan awan tidak berada pada pulau Anak Krakatau.

Penentuan LST dilakukan dengan memanfaatkan Band 4 yang merupakan Red band (0,64 - 0,67 μm) dan Band 5 yang merupakan Infrared band (0.85 - 0.88 μm) serta Band 10 yang merupakan thermal infrared (10.6 - 11.19 μm). Dalam penelitian ini, band 10 digunakan untuk mengestimasi kecerahan temperature (brightness temperature) sedangkan Band 4 dan 5 digunakan untuk menghitung *NDVI*.

Hasil metadata yang didapatkan dari pengunduhan data satelit kemudian digunakan untuk dikonversi dari digital number menjadi TOA (*Top of*

Atmosphere) reflektansi dengan mempertimbangkan sudut elevasi matahari menggunakan (1):

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} * Q_{cal} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{SE})} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana ρ_{λ} adalah *TOA planetary spectral reflectance*, M_{ρ} adalah faktor skala pengali reflektansi dari *band*, Q_{cal} adalah ilai pixel level 1 dalam digital number, A_{ρ} adalah faktor skala penambah reflektansi dari *band* dan θ_{SE} adalah sudut elevasi matahari. Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai emisivitas dengan menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* berdasarkan (2):

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan R_{nir} adalah nilai refleksi dari band 4 yang telah terkoreksi dan R_{red} adalah nilai refleksi dari band 5 yang telah terkoreksi. Nilai *NDVI*

ini untuk selanjutnya dapat digunakan dalam menentukan fraksi fegetasi sesuai dengan (3). Fraksi vegetasi memberikan estimasi dari setiap tutupan lahan.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

Penentuan nilai untuk $NDVI_{\min}$ dan $NDVI_{\max}$ didasarkan pada asumsi bahwa pada nilai $NDVI < 0.2$ lahan hampir tidak tertutup vegetasi sedangkan untuk nilai $NDVI > 0.5$ lahan hampir tertutup oleh vegetasi (Sobrino, Jimenez-Munoz dan Paolini, 2004). Nilai fraksi vegetasi inilah yang kemudian membantu didalam penghitungan emisivitas (ϵ) berdasarkan (4):

$$m = \epsilon_v - \epsilon \dots\dots\dots (4)$$

Dengan nilai m dan n adalah suatu nilai yang secara berturut-turut dapat dihitung berdasarkan (5) dan (6):

$$m = \epsilon_v - \epsilon_s - (1 - \epsilon_s) F \epsilon_v \dots\dots\dots (5)$$

$$n = \epsilon_s + (1 - \epsilon_s) F \epsilon_v \dots\dots\dots (6)$$

Nilai F merupakan faktor bentuk yang memiliki nilai rata-rata sekitar 0.55. Nilai ϵ_v di-pilih sebesar 0.99 yang menunjukkan emisivitas oleh vegetasi. Sedangkan nilai emisivitas oleh tanah sangat beragam sehingga dipilih nilai rata-rata untuk berbagai sampel tanah yaitu sebesar 0.973 (Sobrino, Jimenez-Munoz dan Paolini, 2004). Tahapan terakhir dari perhitungan LST adalah memanfaatkan *brightness temperature* yang didapatkan dari Band 10 dan kemudian digabungkan dengan emisivitas permukaan yang diturunkan dari Fraksi Vegetasi dan $NDVI$. Besarnya LST dapat dihitung menggunakan (7):

$$T_s = \frac{T_{\text{sensor}}}{1 + (\lambda x \frac{T_{\text{sensor}}}{\rho}) \ln(\epsilon)} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan T_{sensor} adalah kecerahan pada sensor yang menunjukkan temperatur, λ adalah panjang gelombang radiasi yang teremisikan yaitu sebesar $11.5 \mu m$. Nilai dari $\rho = \frac{hc}{\lambda}$, dimana h menunjukkan konstanta Plank (6.626×10^{-34}), c menunjukkan kecepatan cahaya (2.998×10^8 m/s), dan menunjukkan konstanta Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K).

Letusan gunungapi biasanya didahului dengan naiknya magma dari kedalaman menuju ke permukaan. Supply magma yang cukup besar ini akan membuat aliran panas meningkat serta akan menaikkan temperatur permukaan. Citra satelit untuk mendeteksi anomali panas yang meningkat sebelum erupsi pernah dilakukan di beberapa gunungapi di dunia seperti di Gunung Kamchatka, Rusia (Girina, 2012), Gunungapi As Jepang (Badrudodoza Mia, Fujimitsu, dan Nishijima, 2017) dan Bezymianny, Rusia (van Manen, drr., 2013). Dalam penelitian ini kami mencoba mencitrakan perubahan temperatur sebelum dan sesudah terjadinya erupsi menggunakan data satelit LST (*Land Surface Temperature*) untuk melihat seberapa besar perubahan suhu menjelang dan setelah erupsi GAK tahun 2018.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas Seismik GAK dipantau oleh PVMBG yang dilakukan dari Pos PGA GAK di Pasauran. Jenis aktivitas seismik yang terekam pada GAK cukup beragam, yaitu mulai gempa-gempa yang berasosiasi dengan aktivitas tektonik (gempa tektonik lokal dan gempa tektonik jauh), gempa-gempa yang berasosiasi dengan aktivitas vulkanik (gempa vulkanik dangkal, gempa vulkanik dalam), gempa yang berasosiasi dengan pergerakan fluida (gempa tornillo, gempa tremor harmonik, gempa tremor non-harmonik, gempa low frekuensi) maupun gempa-gempa yang berasosiasi dengan kegiatan vulkanik di permukaan (gempa hembusan maupun gempa letusan). Rekapitulasi jumlah gempa GAK dari April 2018 hingga Februari 2019 dapat dilihat pada Gambar 2.

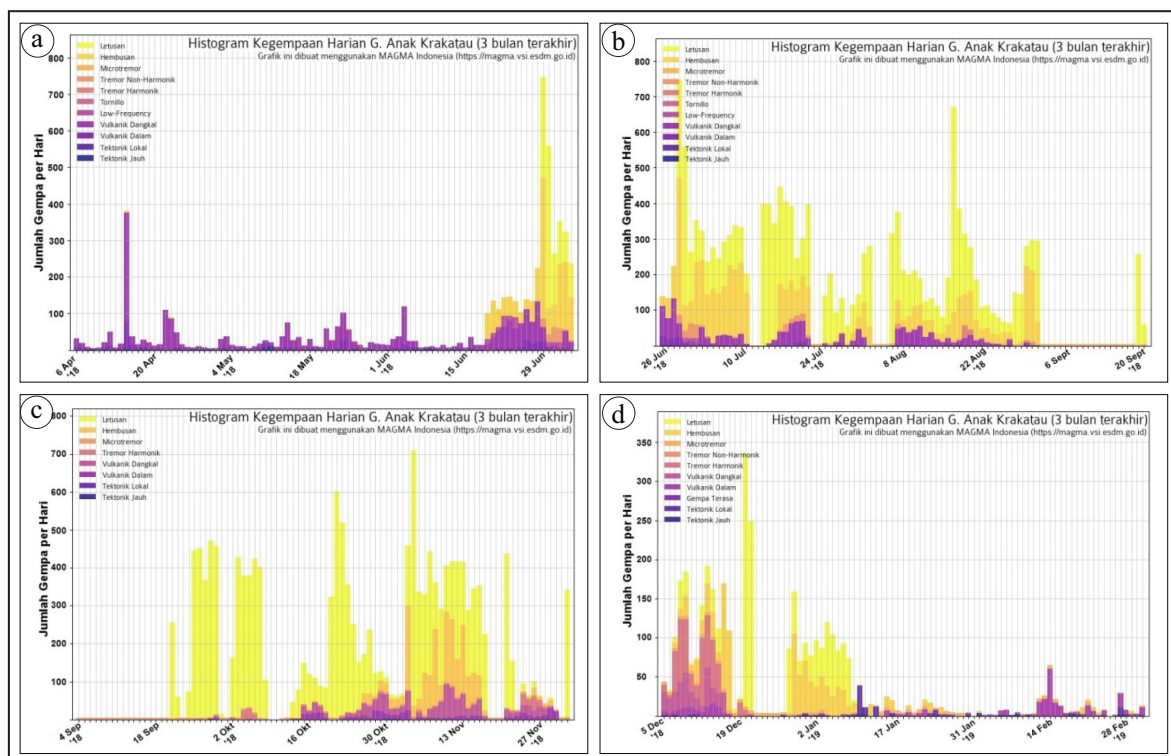
Pengolahan LST dilakukan pada Mei 2018 hingga Desember 2018, kecuali April 2018 dan Januari 2019, disebabkan tutupan awan mencapai 80% pada area penelitian. Distribusi temperatur ditunjukkan dengan skala warna, dari 0°C yang ditunjukkan dengan warna biru sampai dengan 80°C yang berwarna merah. Temperatur yang sangat rendah yaitu 0°C mengindikasikan adanya tutupan awan yang dominan sehingga suhu permukaan tidak dapat tercitrakan dengan baik.

Pada Mei 2018 temperatur GAK cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pulau-pulau di sekitarnya yang diindikasikan dengan warna lebih terang dibandingkan Pulau Rakata, Pulau Sertung dan Pulau Panjang (Gambar 3). Pusat aktivitas kompleks GAK yang berada pada pulau utama menyebabkan suhu permukaan cenderung lebih besar. Berdasarkan rilis pers aktivitas GAK dari PVMBG, letusan yang pernah terjadi di GAK di antaranya pada 20 Juni 2016, 19 Februari 2017 dan 29 Juni 2018. Aktivitas pendahuluan letusan tahun 2018 dapat dilihat dari banyaknya jumlah gempa *low frekuensi* dan

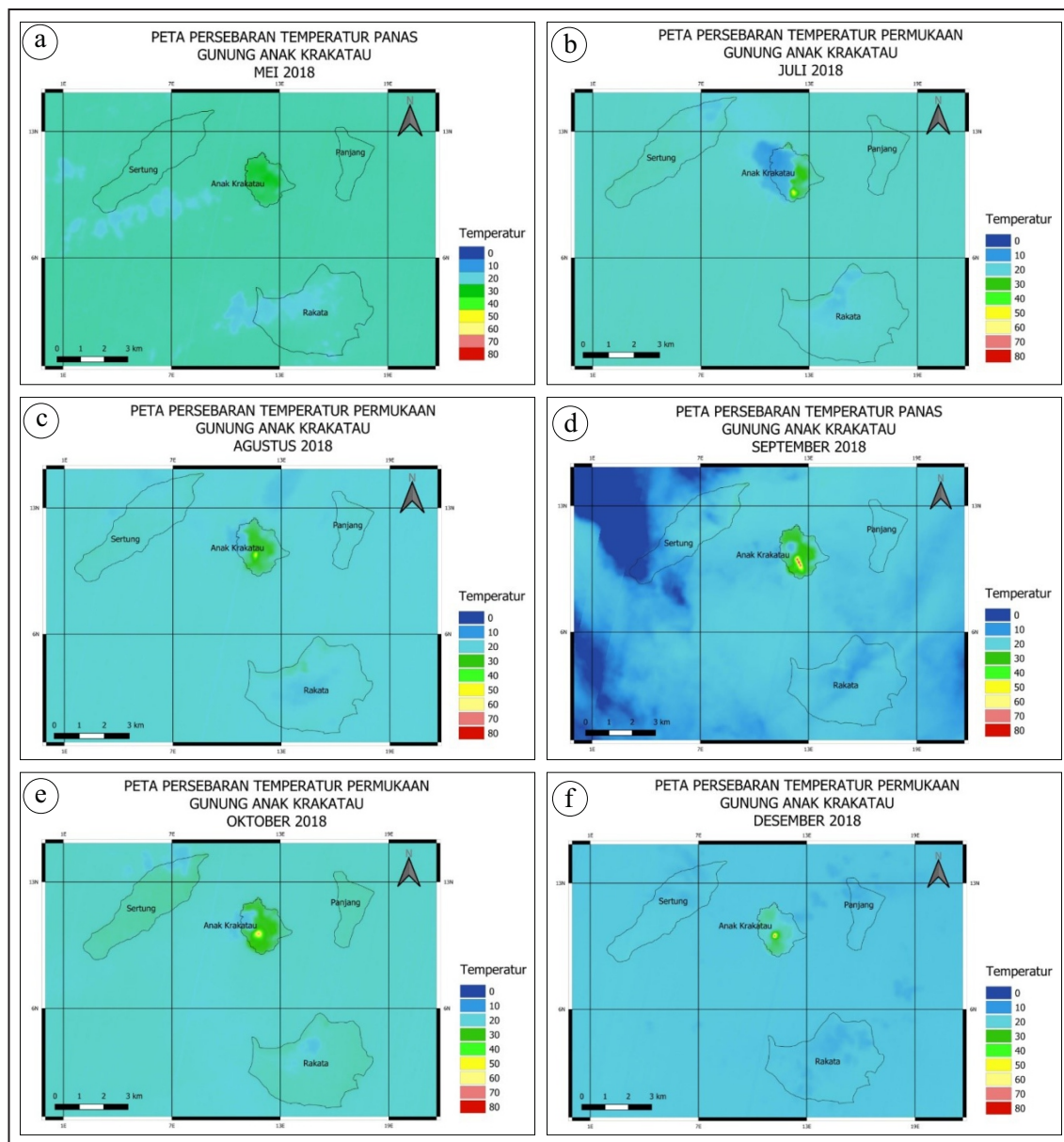
gempa tremor pada Juli 2018. Dalam beberapa studi dijelaskan bahwa gempa *low frekuensi* berkorelasi dengan gerakan fluida magmatik yang mengalir menuju ke permukaan, begitu pula dengan gempa tremor.

Pada Juni 2018, tutupan awan mencapai 45,88% sehingga kontras temperatur pada permukaan GAK tidak dapat teramati dengan baik. Pada Juli 2018, temperatur tertinggi tercatat pada suhu 50°C (warna kuning pada Gambar 3) yang terletak di bagian selatan Pulau Anak Krakatau. Pada bulan ini jumlah gempa letusan dan gempa tremor yang terekam masih cukup tinggi. Aktivitas vulkanik tersebut yang mungkin membuat suhu permukaan naik sebesar 30°C jika dibandingkan bulan-bulan sebelumnya. Pada Agustus 2018, titik panas bergeser sedikit ke arah utara jika dibandingkan dengan Juli 2018, tetapi jika dikorelasikan dengan posisi kawah GAK, titik panas ini masih berada di sekitar area kawah yang merupakan pusat aktivitas vulkanik.

Pada September 2018 titik panas menyebar dari area kawah ke arah tenggara. Selain itu,



Gambar 2. Histogram kegempaan harian GAK A. bulan April 2018 sampai Juni 2018, B. bulan Juni 2018-September 2018, C. bulan September 2018-November 2018, D. bulan Desember 2018-Februari 2018 (<https://magma.vsi.esdm.go.id>).



Gambar 3. Distribusi suhu di kompleks GAK berdasarkan pengolahan LST.

suhu yang teramati dari LST juga lebih tinggi dibandingkan sebelumnya yaitu mencapai 70°C. Pada bulan ini GAK masih tetap pada Level II atau waspada yang diberlakukan mulai Juni 2018. Berdasarkan pemantauan visual, pada bulan ini letusan masih berlangsung dan informasi dari PVMBG serta beberapa catatan personal menyebutkan bahwa letusan pada bulan ini disertai dengan suara dentuman yang terdengar hingga 50 km dan menggentarkan dinding serta kaca jendela di pos pemantauan. Leleran lava dari kawah yang merupakan hasil

letusan ini, teramati mengalir ke arah selatan-tenggara dan mencapai laut. Leleran lava pada bulan ini dapat teramati pada citra LST yakni terlihat adanya pola penyebaran memanjang dan bersuhu cukup tinggi dibanding sekitarnya. Pada Desember 2018, suhu maksimum yang teramati tidak lagi menyebar, yaitu berpusat pada daerah kawah GAK. Penyebab suhu tinggi ini bisa merupakan akibat dari gempa tremor yang terus menerus dengan kejadian cukup banyak yaitu lebih dari 50 kejadian per hari pada awal Desember 2018.

Korelasi antara aktivitas seismik (jumlah gempa harian dan temperatur permukaan), melalui korelasi Pearson didapatkan bahwa peningkatan aktivitas gunungapi mempunyai korelasi paling besar dengan aktivitas letusan dan aktivitas tremor, dengan nilai korelasi Pearson secara berturut-turut adalah 0,47 dan 0,53 (Tabel 1). Aktivitas letusan merupakan aktivitas yang terjadi di permukaan, sehingga pengaruhnya terhadap peningkatan temperatur permukaan sangat signifikan. Sedangkan tremor, baik tremor harmonik dan tremor nonharmonik, mengindikasikan adanya fluida yang naik ke permukaan. Berdasarkan catatan kegempaan harian yang dirilis pada website Magma, selain tremor harmonik dan nonharmonik juga tercatat tremor menerus yang terjadi sejak Juli 2018 dengan amplitudo sekitar 2-5mm (www.magma.esdm.go.id). Durasi yang panjang menunjukkan intensifnya fluida yang naik ke permukaan. Beberapa penelitian fluida ini dapat berupa gas/uap panas, air dan magma.

Suhu permukaan meningkat dan menyebar kian luas ke seluruh tubuh gunung dan kawasan sekitarnya, seiring bertambah aktifnya GAK. Dalam kasus GAK, suhu permukaan yang tercitrakan dalam LST akan semakin besar jika jumlah aktivitas letusan semakin meningkat, terlebih jika ada lava yang keluar dari puncak

pada puncak kawah aktif yakni sesuai penelitian Jaxybulatov, drr. (2011) yang mengilustrasikan adanya tingkatan kantung magma dengan pusat zona keluarnya berada di kawah GAK.

Pada 22 Desember 2018, terjadi tsunami yang melanda pantai-pantai di sekitar kepulauan GAK. Menurut pemodelan yang dilakukan oleh William, R, drr (2019), tsunami ini dipicu oleh longsoran lereng (*flank failure*) yang masuk ke laut dan longsoran ini lebih dipicu oleh kemiringan lereng yang curam dibandingkan dengan jumlah letusan yang tinggi. Tidak ada korelasi yang jelas antara kenaikan suhu permukaan dengan munculnya tsunami akibat aktivitas gunungapi jika dilihat dari citra LST. Oleh karena itu, pemantauan seismik masih sangat diandalkan dan perlu terus dilakukan mengingat pemantauan seismik merupakan pemantauan utama yang harus ada di setiap gunungapi aktif.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa temperatur permukaan tanah (LST) dapat digunakan sebagai salah satu cara pemantauan gunungapi dikombinasikan dengan pemantauan seismik agar mendapat gambaran yang lebih jelas dari suatu aktivitas vulkanik. Monitoring temperatur permukaan tanah berbasis satelit pada suatu area gunungapi cocok dilakukan pada gunungapi di Indonesia, utamanya karena tidak memerlukan biaya yang besar dan pada beberapa kasus, gunungapi berada pada kondisi yang berbahaya untuk didekati atau pada daerah yang sulit diakses. Berdasarkan studi kasus yang dilakukan pada GAK, peningkatan LST berkorelasi terhadap 2 hal; pertama meningkatnya gempa tremor/*low* frekuensi menandakan adanya fluida vulkanik yang naik ke permukaan sehingga mengakibatkan permukaan tanah memiliki suhu yang lebih tinggi. Kedua, leleran lava hasil erupsi yang keluar dari kawah, secara signifikan membuat kenaikan suhu lebih mudah terdeteksi, dan pola hotspot yang memanjang di tubuh gunungapi.

Tabel 1. Nilai Korelasi Pearson antara Jumlah Gempa dan Jenis Gempa

Jenis Aktivitas Gempa Terekam	Nilai Korelasi Pearson
Tektonik Jauh (TJ)	-0,71685
Tektonik Lokal (TL)	-0,73485
Vulkanik Dangkal	-0,83578
Vulkanik Dalam	0,056697
Hembusan	-0,1935
Letusan	0,479376
Gempa Tremor*	0,537039

* data gempa tremor yang digunakan dalam perhitungan ini ada jumlah total gempa tremor yang terdiri dari tremor harmonik, tremor non harmonik dan tremor menerus.

kawah meluncur menuruni lereng menuju ke laut. Posisi tercatatnya suhu maksimum berada

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada USGS yang telah menyediakan data Landsat 8 yang dapat diunduh secara bebas, PVMBG atas rilis beritanya sehingga melengkapi informasi yang didapat serta terima kasih pula kepada LPPM Universitas Brawijaya yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Peneliti Pemula (HPP) tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, O., 2018, <https://www.oystein-lundandersen.com/krakatau-volcano/krakatau-volcano-eruption-4-6-august-2018/> (diakses tanggal 11 Agustus 2019)
- Badruddoza Mia, M., Fujimitsu, Y. & Nishijima, J., 2017. "Thermal Activity Monitoring of an Active Volcano using Landsat 8/OLI-TIRS Sensor Images: A Case Study at the Aso Volcanic Area in Southwest Japan." *Geoscience*, 7(118).
- Ernst, G. G. J., M. Kervyn, dan R. M. Teeuw. 2008. "Advances in the remote sensing of volcanic activity and hazards, with special consideration to applications in developing countries." *International Journal of Remote Sensing*, p.6687-6723.
- Eskandari, Amir, Rosanna De Rosa, dan Sadraddin Amini. 2015. "Remote sensing of Damavand volcano (Iran) using Landsat imagery: Implications for the volcano dynamics." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, p.41-57.
- Flynn, Luke F, Andrew J.L Harris, dan Robert Wright. 2001. "Improved identification of volcanic features using Landsat 7 ETM+." *Remote Sensing of Environment*, p.180-193.
- Girina, O.A. 2012. "On Precursor of Kamchatkan Volcanoes Eruptions Based on Data from Satellite Monitoring." *Journal of Volcanology and Seismology*, 6 (3), p.14-22.
- Jaxybulatov, K. drr., 2011. Evidence for high fluid/melt content beneath Krakatau volcano (Indonesia) from local earthquake tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 206, p. 96-105
- Li, Zhao-Liang, Bo-Hui Tang, Hua Wu, Huazhong Ren, Guangjian Yan, Zhengming Wan, I. F. Trigo, and Jose A Sobrino. 2011. "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives." *Remote Sensing Environment*, p.14-37.
- Qin, Qiming, Ning Zhang, Peng Nan, dan Leilei Chai. 2011. "Geothermal area detection using Landsat ETM plus thermal infrared data and its mechanistic analysis-A case study in Tengchong, China." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, p.552-559.
- Sobrino, Jose A, Juan C. Jimenez-Munoz, dan Leonardo Paolini. 2004. "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5." *Remote Sensing of Environment*, 90 (4): p.434-440.
- USGS. 2019. Landsat 8 Data User Handbook. USA: Department of the Interior USGS.
- Williams, R., Rowley, P., dan Garthwaite, M.C., 2019, "Reconstructing the Anak Krakatau flank collapse that caused the December 2018 Indonesian tsunami". *Geology*, 47 (10):973–976, <https://doi.org/10.1130/G46517.1>
- Badan Geologi, 2018, <http://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/aktivitas-gunungapi/2445-pers-rilis-aktivitas-gunungapi-anak-krakatau-rabu-3-oktober-2018#> (diakses 20 Agustus 2019).