



Pemetaan Zona Bahaya Aliran Piroklastik Gunung Merapi, Jawa Tengah dan Sekitarnya menggunakan Aplikasi Titan2D

Dinar Astari¹, Najib¹, Narulita Santi^{1*}, Wilfridus F.S. Banggur²

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

²Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung

Abstrak

Salah satu bahaya primer erupsi gunungapi adalah aliran piroklastik. Pada bulan Desember 2020, sejak letusan Gunung Merapi menghasilkan *ash plumes*, *ash fall*, dan aliran piroklastik selama Oktober 2019-Maret 2020, tingkat aktivitas Gunung Merapi masih relatif tinggi. Oleh karena itu, simulasi aliran piroklastik dilakukan sebagai salah satu upaya untuk bersiap menghadapi erupsi suatu gunungapi terutama dalam menentukan zona atau daerah yang berpotensi terdampak aliran piroklastik. Aliran piroklastik Gunung Merapi disimulasikan menggunakan perangkat lunak Titan2D dengan *input* berupa data DEM (*Digitalized Elevation Model*) yang merepresentasikan bentuk morfologi Gunung Merapi dengan resolusi 8 m, memanfaatkan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). *Output* yang dihasilkan berupa representasi dinamis dari kecepatan aliran piroklastik, ketebalan deposit, dan daerah terdampak. Tipe aliran piroklastik yang disimulasikan adalah tipe guguran yang berasal dari runtuhnya kubah lava Gunung Merapi dengan skenario volume 2 juta m³ dan 5 juta m³ di mana sudut internal friksi sebesar 30° dengan sudut basal friksi 13° dan 15°. Hasil simulasi memperlihatkan aliran piroklastik mengalir ke arah selatan-barat daya Gunung Merapi dengan kisaran kecepatan 32,8 m/det sampai 75,8 m/det dengan jarak jangkauan mencapai 7,7 km melewati batas wilayah Kawasan Rawan Bencana 2 Gunung Merapi.

Kata kunci: aliran piroklastik; Gunung Merapi; Simulasi; Titan2D.

Abstract

One of the primary hazards of volcanic eruptions is pyroclastic flows. As of December 2020, since the explosion produced ash plumes, ashfall, and pyroclastic flows during October 2019-March 2020, the activity level of Mount Merapi is still relatively high. Therefore, pyroclastic flow simulations are carried out as an effort to prepare for the eruption of a volcano, especially in determining zones or areas that are potentially affected by pyroclastic flows. The pyroclastic flow of Mount Merapi is simulated using Titan2D software with input in the form of DEM (Digitalized Elevation Model) data, which represents the morphological shape of Mount Merapi with a resolution of 8 m, utilizing the Geographic Information System (GIS) application. The resulting output is a dynamic representation of the pyroclastic flow velocity, deposit thickness, and area of impact. The simulated pyroclastic flow type is the avalanche type originating from the collapse of the lava dome of Mount Merapi with a volume scenario of 2 million m³ and 5 million m³ where the internal angle of friction is 25 ° with a basal angle of friction of 13° and 15°. The simulation results show that pyroclastic flows flow to the south-southwest of Mount Merapi with a speed range of 32.8 m/s to 75.8 m/s with a range of up to 7.7 km over the KRB 2 area of Mount Merapi.

Keywords: pyroclastic flow; Mount Merapi; Simulation; Titan2D.

*) Korespondensi: narulita.santi@live.undip.ac.id

Diajukan: 12 Mei 2021

Diterima: 4 April 2022

Diterbitkan: 20 April 2022

PENDAHULUAN

Tatanan geologi Indonesia yang terletak di zona pertemuan 3 lempeng utama; Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik (Katili, 1980) menyebabkan adanya banyak sekali gunungapi di Indonesia. Mengacu pada data PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi) tahun 2019, terhitung 127 gunungapi aktif tersebar di seluruh Indonesia. Hal tersebut menyebabkan Indonesia sangat berisiko terjadi bencana vulkanik.

Merapi adalah salah satu gunungapi strato paling aktif dan berbahaya di Indonesia yang terletak di daerah dengan densitas populasi tinggi (Selles dkk., 2012), yang secara administratif terletak di Kabupaten Sleman, DI Yogyakarta dan sisanya berada di Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Gunung Merapi terus menerus aktif selama waktu Holocene (Newhall dkk., 2000). Letusan terakhir Gunung Merapi terjadi pada 21 Juni 2020. Sementara itu, letusan pada tahun 1872 dan 2010 merupakan letusan terbesar di dalam 200 tahun terakhir dengan VEI (*Volcanic Explosivity Index*) = 4 (Nakada dkk., 2019).

Lokasi penelitian aliran piroklastik Gunung Merapi secara geografis terletak pada posisi 7° 32' 05" LS dan 110° 26' 05" BT dengan puncak berada di ketinggian 2.986 mdpal. Sementara itu, secara administratif Gunung Merapi terletak di empat Kabupaten (lihat Gambar 1.1 halaman 5), yaitu Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Klaten, dan Kabupaten Magelang Provinsi Jawa Tengah (BAPPENAS dan BNPB, 2011).

Simulasi aliran piroklastik dilakukan menggunakan aplikasi Titan2D. Penelitian rutin menggunakan Titan2D telah diterapkan secara luas untuk mengevaluasi aliran piroklastik skala kecil, *block-ash flow*, dan longsoran batuan untuk beberapa gunung berapi. Aplikasi-aplikasi yang biasa dipakai untuk mensimulasikan aliran massa geofisika seperti Titan2D, VolcFlow, LAHARZ, dan $\Delta H/L$ atau model kerucut energi, masing-masing menggunakan reologi atau hubungan empiris yang berbeda dalam simulasi aliran piroklastik. Hasil menunjukkan bahwa Titan2D mampu mereproduksi daerah genangan dengan baik menggunakan sumber fluks, meskipun kecepatannya seringkali terlalu tinggi. Untuk tujuan penilaian kerentanan bencana

suatu daerah, model geofisika seperti Titan2D dapat berguna untuk menghasilkan peta daerah bahaya berbasis skenario atau probabilistik, tetapi harus dijalankan berkali-kali dengan berbagai parameter *input*.

Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah mengetahui seberapa luas aliran piroklastik hasil erupsi Gunung Merapi berdasarkan suatu skenario tertentu, mengetahui arah, jangkauan, dan luasan sebaran aliran piroklastik berdasarkan model yang dibuat, menentukan luasan kawasan di sekitar Gunung Merapi yang berpotensi terkena dampak aliran piroklastik. Penelitian ini lebih spesifik menggunakan simulasi dan Titan 2D daripada penelitian sebelumnya.

Aliran Piroklastik

Aliran piroklastik adalah aliran campuran material dari batuan vulkanik lepas berasal dari erupsi gunung api yang mengalir mengikuti bentuk morfologi, dengan pola sebaran aliran piroklastik hampir sepenuhnya dikontrol oleh topografi, dan pergerakan alirannya akan berhenti pada daerah yang relatif datar hingga datar (daerah kaki gunung) (Blong, 1984 dalam Afatia dkk, 2012) Batuan piroklastik merupakan bentuk endapan lepasan yang sudah mengeras, memadat, atau terkompresi. Aliran piroklastik dapat terjadi akibat runtuhnya tiang asap erupsi plinian, letusan langsung ke satu arah, guguran kubah lava atau lidah lava dan aliran pada permukaan tanah (*surge*).

Digital Elevation Model

Digital Elevation Model (DEM) adalah representasi kuantitatif dari medan dan penting untuk ilmu bumi dan aplikasi hidrologi. DEM dapat dihasilkan menggunakan fotogrametri, interferometri, survei tanah dan laser, dan teknik lainnya (Mukherjee dkk, 2013). DEM adalah bentuk representasi digital topografi yang paling sederhana. DEM digunakan untuk menentukan atribut medan seperti ketinggian di titik, kemiringan, dan aspek mana pun. Saat ini, aplikasi GIS (Geographic Information System) bergantung terutama pada DEM (Balasubramanian, 2017).

Kawasan Rawan Bencana

Kawasan Rawan Bencana (KRB) gunungapi adalah kawasan yang pernah terlanda atau diidentifikasi berpotensi terancam bahaya

letusan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi adalah peta petunjuk tingkat kerawanan bencana suatu daerah apabila terjadi erupsi/kegiatan gunungapi (BAPPENAS & BNPB, 2013). Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi mencakup jenis dan sifat bahaya gunungapi, daerah rawan bencana, arah jalur penyelamatan diri, lokasi pengungsian dan pos-pos penanggulangan bencana.

Kawasan rawan bencana Gunung Merapi dibagi ke dalam 3 tingkatan, yaitu: Kawasan Rawan Bencana III, Kawasan Rawan Bencana II, dan Kawasan Rawan Bencana I (peta detail dalam Gambar 1).

Pembagian kawasan rawan bencana melalui penyusunan peta kawasan rawan bencana didasarkan kepada geomorfologi, geologi, sejarah kegiatan, distribusi produk erupsi terdahulu, penelitian dan studi lapangan.

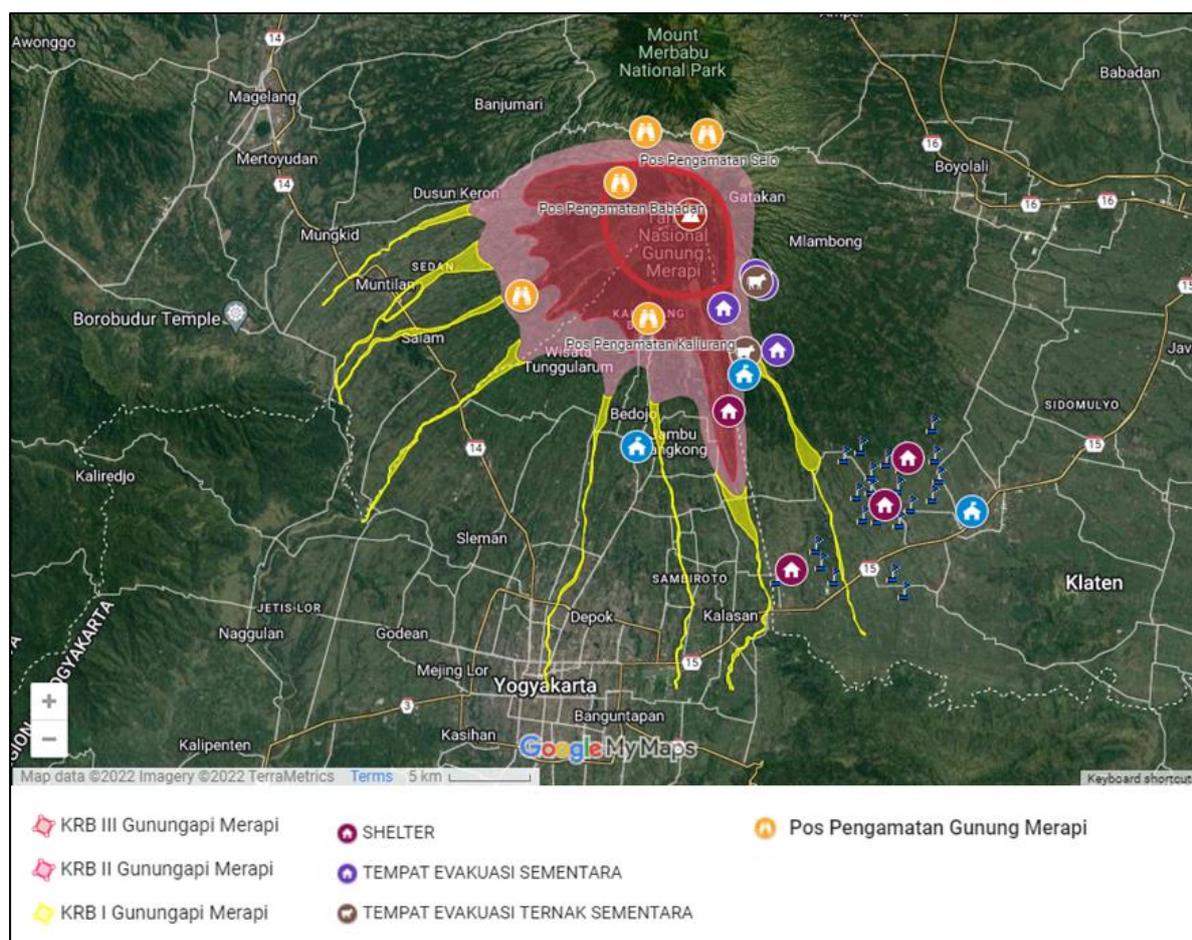
Kawasan Rawan Bencana III, adalah kawasan yang letaknya dekat dengan sumber

bahaya yang sering terlanda awan panas, aliran lava, guguran batu, lontaran batu (pijar) dan hujan abu lebat. Dalam rangka upaya pengurangan risiko bencana, perlu dilakukan pengendalian tingkat kerentanan.

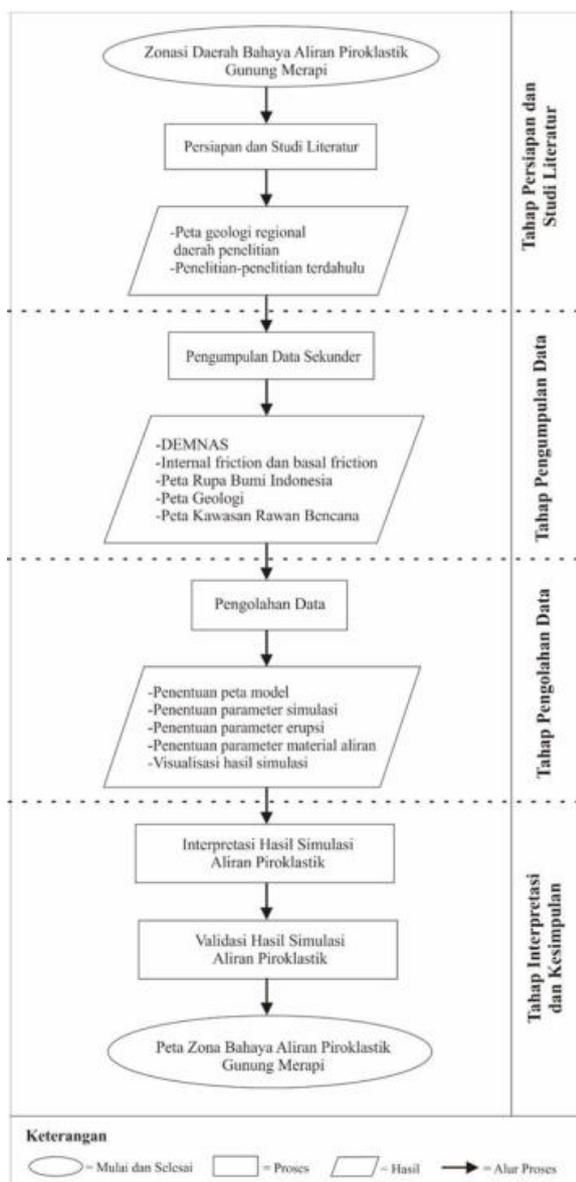
METODOLOGI

Pada Titan2D, parameter simulasi terdiri atas 2 macam input, yaitu informasi peta DEM dalam bentuk file GRASS dan parameter komputasi dengan panjang skala 4.000 m. Aliran piroklastik yang disimulasikan adalah tipe guguran yang berasal dari runtuh kubah lava dengan volume aliran 3 dan 5 juta m³ berkecepatan awal nol (akibat gravitasi), nilai internal friksi dan basal friksi dianggap tetap, serta tidak memperhitungkan adanya jatuhnya piroklastik, *surge*, viskositas magma atau kubah lava, maupun faktor cuaca (hujan dan angin). Langkah pengerjaan simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam penelitian ini terdapat dua parameter



Gambar 1. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021).



Gambar 2. Metodologi Penelitian

yang divariasikan, yaitu volume kubah lava dan basal friksi. Besar volume kubah lava diatur dalam input parameter simulasi. Parameter yang dimasukkan berupa kedalaman, lebar, dan panjang kubah lava.

HASIL

Simulasi Titan2D tidak sensitif terhadap sudut internal friksi, sehingga besaran sudut internal friksi untuk material granular umumnya 30° sebagaimana yang juga digunakan oleh peneliti lainnya. Stinton dkk. (2004 dalam Charbonnier dan Gertisser, 2009) juga merujuk penjelasan bahwa simulasi Titan2D sangat sensitif terhadap basal friksi dan sangat bisa ditingkatkan dengan menggabungkan variasi besaran basal friksi

secara spasial, karena besaran basal friksi tunggal untuk pemodelan di atas topografi yang kompleks, material permukaan yang berbeda, dan melalui berbagai kemiringan *channel* juga morfologi dapat menyebabkan beberapa perbedaan dengan kejadian sebenarnya.

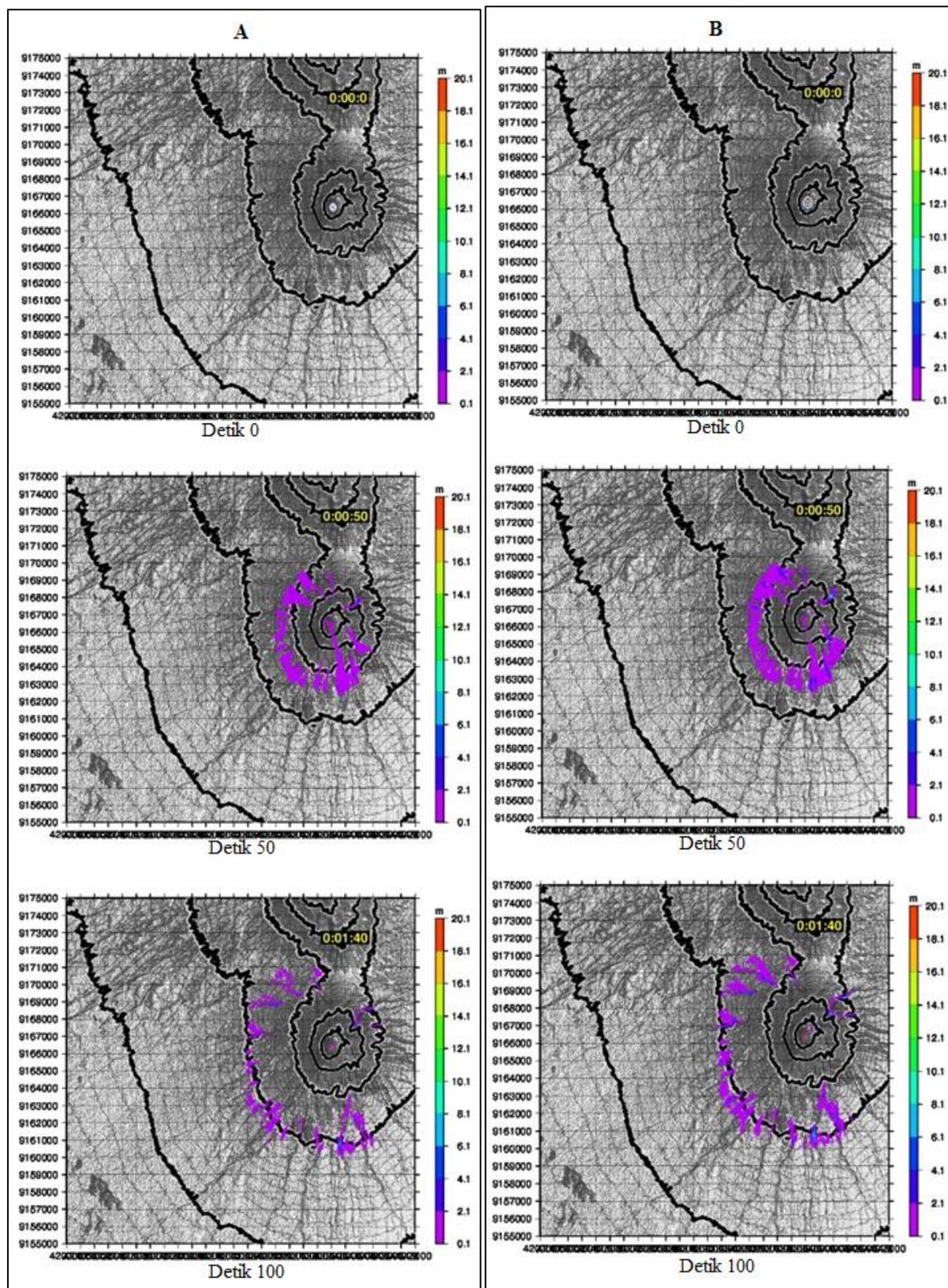
Sudut gesekan atau friksi yang diukur dalam aliran piroklastik dan longoran vulkanik dengan *runout* jauh, seperti pada banyak batuan, abu, dan pasir lainnya, adalah sekitar 30° . Besar sudut internal friksi juga dapat ditentukan melalui pengukuran di lapangan dengan menggunakan sudut istirahat atau *repose angle* dari endapan, namun apabila nilai ini digunakan untuk sudut internal friksi dalam simulasi numerik, endapan simulasi yang dihasilkan hanyalah tumpukan yang terakumulasi di kaki bekas *detachment scar* atau dekat dengan kawah dan tidak menyerupai endapan longoran vulkanik dengan *runout* jauh atau aliran piroklastik. *Runout* yang natural pada simulasi dibuat dengan basal friksi lebih kecil daripada sudut internal friksi, yaitu 1° sampai 5° untuk longoran vulkanik dengan *runout* jauh dan 10° sampai 15° untuk aliran piroklastik.

Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan volume kubah lava tidak runtuh sekaligus maka terdapat dua variasi volume kubah lava yang digunakan dalam simulasi ini, yaitu mendekati 2 juta m^3 dan mendekati 5 juta m^3 dengan input data DEM dengan sudut sudut internal friksi 30° serta basal friksi 13° dan 15° .

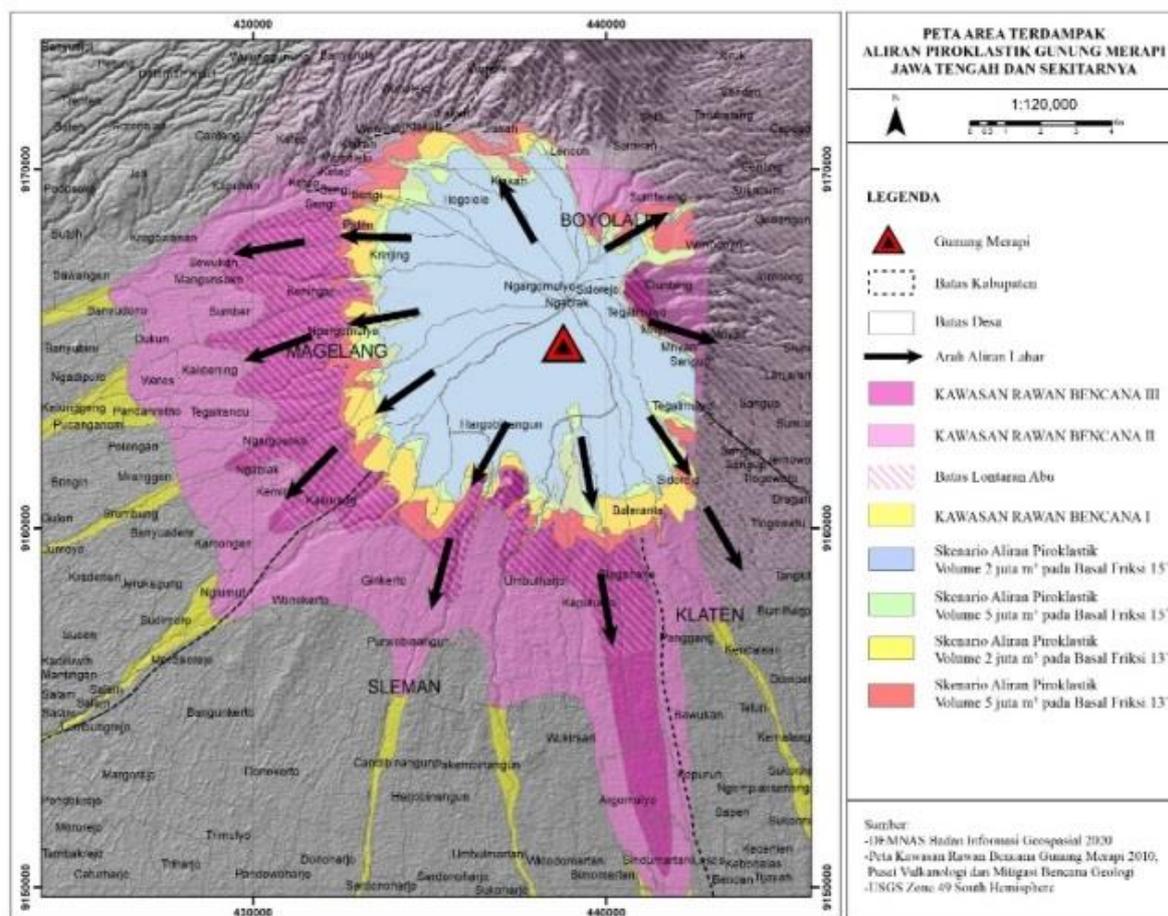
Pada simulasi pertama dan kedua, input parameter berupa volume kubah lava dipasang sekitar 2 juta m^3 dengan nilai sudut internal friksi sebesar 30° dan nilai basal friksi sebesar 13° . Pada percobaan ketiga dan keempat, input parameter berupa volume kubah lava mendekati 5 juta m^3 dengan nilai sudut internal friksi sebesar 30° dan nilai basal friksi sebesar 13° serta 15° . Perbandingan hasil simulasi aliran antara skenario volume kubah lava sebesar 2 juta m^3 dan 5 juta m^3 dengan basal friksi 13° ditunjukkan pada Gambar 3.

Zonasi Daerah Terdampak

Setelah masing-masing simulasi selesai dilakukan dan jangkauan aliran piroklastik sudah diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan zonasi sehingga daerah terdampak aliran piroklastik dapat ditentukan. Daerah-daerah tersebut secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 3. Hasil simulasi aliran piroklastik selama 100 detik dengan rentang waktu 50 detik dan basal friksi sebesar 13°, (A) pada volume 2 juta m³ dan (B) pada volume 5 juta m³.



Gambar 4. Peta Area Terdampak Aliran Piroklastik Gunung Merapi Jawa Tengah dan sekitarnya.

Tabel 1. Luas Area Terdampak Aliran Piroklastik Gunung Merapi.

Skenario	Luas Area (km ²)
Volume kubah lava 2 juta m ³ dengan sudut basal friksi 15°	60
Volume kubah lava 5 juta m ³ dengan sudut basal friksi 15°	71
Volume kubah lava 2 juta m ³ dengan sudut basal friksi 13°	76
Volume kubah lava 5 juta m ³ dengan sudut basal friksi 13°	93

Berdasarkan hasil *overlay* peta jangkauan dari keempat simulasi, diinterpretasikan *trend* aliran piroklastik secara keseluruhan meluncur dominan ke arah selatan-barat laut dan secara

keseluruhan hasil simulasi menunjukkan daerah terdampak yang sama. Perbedaan dari hasil simulasi terletak pada besar persentase luas daerah yang terdampak (Tabel 1), dalam hal ini luas wilayah desa-desa di Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Klaten, dan Kabupaten Sleman. Hal tersebut dikarenakan bentuk desa-desa di sekitar Gunung Merapi secara administratif mengikuti morfologi Gunung Merapi itu sendiri (mengelilingi gunung dan memusat ke bagian puncak gunung).

KESIMPULAN

Seluruh hasil simulasi aliran piroklastik menggunakan aplikasi Titan2D pada menunjukkan pergerakan aliran ke segala arah, tetapi dominan ke arah selatan-barat laut (desa-desa di Kabupaten Sleman dan Kabupaten Magelang) di mana 11 dari total 25 desa terdampak merupakan desa yang termasuk dalam Kawasan Rawan Bencana III. Aliran piroklastik berpotensi melanda 9 desa di Kabupaten Magelang, 6 desa di Kabupaten

Sleman, 3 desa di kabupaten Klaten, dan 7 desa di Kabupaten Boyolali. Aliran piroklastik Gunung Merapi pada simulasi skenario volume kubah lava 2 juta m³. Luasan area terdampak Aliran Piroklastik Merapi dengan ke tempat skenario adalah 60 km², 71 km², 76 km², 93 km².

DAFTAR PUSTAKA

- Afatia, N.N, Deliar, A., dan Virtriana., R., 2012. Skenario matriks perbandingan berpasangan dalam analisis risiko aliran piroklastik Gunung Api Semeru, Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 3(3), 211–227.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021. *Cek Posisi Merapi*. Diakses pada Desember 2021. https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1x_yr195HxNUSN_yQLTYlhEvErT2V4TXv&ll=7.627298721149426%2C110.40391907910156&z=11.
- Balasubramanian, A., 2017. *Digital Elevation Model (DEM) in GIS*. Mysore: University of Mysore. DOI: 10.13140/RG.2.2.23976.47369.
- Charbonnier, S. dan Gettiser, R., 2009. Numerical simulations of block-and-ash flows using the Titan2D flow model: examples from the 2006 eruption of Merapi Volcano, Java, Indonesia. *Bulletin of Volcanology*, 71, 953–959.
- Katili, J.A. (1980). *Geotectonics of Indonesia: a Modern View*. Jakarta: Direktorat Jendral Pertambangan.
- Mukherjee, S., Joshi, P.K., Mukherjee, S., Anirudha, G., Garg, R.D., Mukhopadhyay, A., 2013. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 205–217. DOI: 10.1016/j.jag.2012.09.004
- Nakada, S., Maeno, F., Yoshimoto, M., Hokanishi, N., Shimano, T., Zaennudin, A., Iguchi, M., 2019. Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia. *Journal of Disaster Research*, 14(1), 40-50. doi: 10.20965/jdr.2019.p0040.
- Newhall, C.G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N.G., Bahar, I., del Marmol, M.A., Hadisantono, R.D., Holcomb, R.T., McGeehin, J., Miksic, J.N., Rubin, M., Sayudi, S.D., Sukhyar, R., Andreastuti, S., Tilling, R.I., Torley, R., Trimble, D., Wirakusumah, A.D., 2000. 10,000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java: Archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100(1-4), 9-50. DOI: 10.1016/S0377-0273(00)00132-3.
- Selles, A., Deffontaines, B., Hendrayana, H., & Violette, S., 2012. Characterisation of the volcano-sedimentary deposits of an active strato-volcano: the Merapi case example (Central Java, Indonesia). *Proceedings, 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN*.