Identifikasi Retakan untuk Deteksi Deformasi pada Gunung Api dengan Kamera Termal pada UAV Berbasis *Machine Learning*

Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat, dan Inovasi (PPMI)

Suprijadi[1], Maria Evita[1], I Kadek Agus Sara Sawita[1], Muhammad Kamal[1], Syifa Aulia Vernando[1], Nadila Gusriyani[1], Ikbar Fauzul Mubin Ruhimat[1], Atra Ardiyanto Alam Purnama[1], Adiyasa Pratama[1].

[1] Fakultas MIPA/Institut Teknologi Bandung

Latar Belakang

Indonesia memiliki 127 gunung api aktif, 77 di antaranya Tipe A, sehingga pemantauan gunung api menjadi prioritas mitigasi bencana. Deformasi permukaan sering mendahului erupsi, dan manifestasi paling informatifnya adalah retakan (fissure, rift, radial, concentric, dan retakan termal) serta aktivitas hidrotermal. Pencitraan inframerah termal efektif mendeteksi manifestasi yang tidak terlihat secara visual, dan UAV memungkinkan akuisisi beresolusi tinggi yang fleksibel. Namun, belum ada metodologi terintegrasi yang menggabungkan citra termal UAV dengan machine learning untuk mengidentifikasi kelima jenis retakan dan aktivitas hidrotermal secara otomatis di gunung api Indonesia.

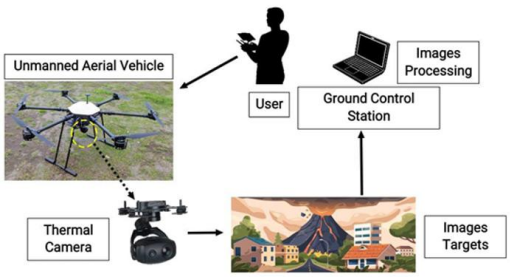
Kata kunci: deformasi gunung api, retakan vulkanik, kamera termal, UAV, machine learning, YOLOv8, hidrotermal

Tujuan

Mengembangkan sistem deteksi deformasi gunung api berbasis kamera termal pada UAV dengan membandingkan pendekatan *end-to-end* (YOLOv8) dan *multi-classifier machine learning* (Random Forest, SVM, CNN, KNN) untuk mengklasifikasikan jenis retakan vulkanik dan manifestasi hidrotermal.

Metode Penelitian

Data citra termal diakuisisi dengan UAV berbasis ArduPilot yang dilengkapi kamera termal beresolusi 320 × 240 piksel pada gimbal tiga sumbu di empat gunung api Jawa Barat (Guntur, Papandayan, Galunggung, dan Tangkuban Parahu). Dataset terdiri atas 11.500 citra beranotasi dengan 23 sub-kelas (lima jenis retakan dan tiga kategori permeasi air hidrotermal) (Gambar 1). Dataset diproses di Roboflow (anotasi, *resize* 640 × 640, augmentasi) dan dibagi 70% latih, 20% validasi, dan 10% uji. Lima model dilatih pada komputer ber-GPU, lalu diuji secara *real-time* melalui *live streaming* ke stasiun kendali darat (GCS). Kinerja dinilai dengan *precision, recall, F1-score*, dan *accuracy* (Gambar 2).



Gambar 1. Konfigurasi sistem.



Gambar 2. Konfigurasi model machine learning diterapkan dalam sistem.

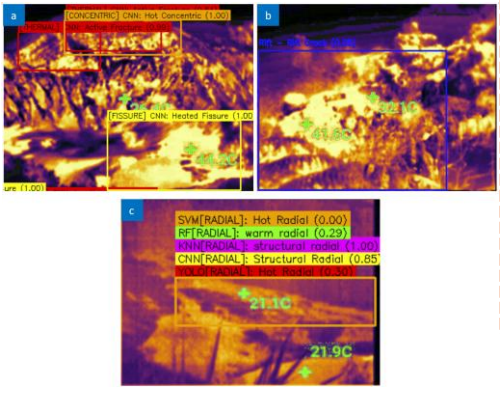
Hasil dan Pembahasan

Pada pelatihan, Random Forest dan CNN unggul (akurasi 0,96-1,00), sedangkan YOLOv8 lebih rendah (0,51-0,67) karena menangani lokalisasi dan klasifikasi sekaligus. Pada uji lapangan, kinerja pelatihan hanya sebagian tereplikasi:

Model	Precision	Recall	Accuracy
SVM	0,9641	0,8128	0,7889
CNN	0,9511	0,8031	0,7712
KNN	0,9521	0,7914	0,7611
YOLOv8	0,9505	0,7528	0,7244
Random Forest	0,9292	0,7559	0,7147

Hasil Uji *Machine Learning*

SVM terbaik secara keseluruhan, sedangkan Random Forest terendah meskipun unggul saat pelatihan. YOLOv8 mencapai deteksi sempurna (precision = recall = 1,000) pada kategori Thermal dan Gabungan Retakan dengan kecepatan 1,6 ms/citra (±625 FPS), sehingga cocok sebagai lapisan deteksi awal sebelum klasifikasi rinci oleh SVM atau CNN. Di lapangan, fitur termal dan hidrotermal dominan di Tangkuban Parahu dan Galunggung (*confidence* 0,575-0,812), sedangkan di Guntur retakan *rift* dominan (0,682). Kelemahan tersisa terdapat pada *Concentric* (YOLOv8, recall 0,337) dan *Rift* (Random Forest, recall 0,386).



Gambar 3. Hasil live streaming gabungan retakan di Gunung: (a) Tangkuban Parahu, (b) Guntur, dan (c) Galunggung menggunakan machine learning.

Hasil Uji *Live Streaming*

Uji *live streaming* di Tangkuban Parahu, Guntur, dan Galunggung (Gambar 3) menunjukkan bahwa seluruh model mendeteksi kategori Gabungan Retakan dengan *recall* 1,000. YOLOv8 mencapai *precision* dan *recall* sempurna dengan kecepatan ±625 FPS, sedangkan SVM terbaik secara keseluruhan (*accuracy* 0,7889).

Kesimpulan

Pendekatan kamera termal UAV berbasis machine learning terbukti layak untuk mengidentifikasi retakan dan manifestasi hidrotermal sebagai indikator deformasi gunung api. SVM unggul pada kinerja lapangan keseluruhan, sedangkan YOLOv8 unggul sebagai deteksi awal berkecepatan tinggi, sehingga strategi bertingkat (YOLOv8 lalu SVM/CNN) direkomendasikan. Kinerja pelatihan yang tinggi tidak selalu sebanding dengan kinerja lapangan, dan peningkatan deteksi kategori retakan struktural spesifik menjadi arah pengembangan selanjutnya. Tahapan penelitian selanjutnya meliputi deteksi pelapukan dan perubahan permukaan tanah untuk mendukung penentuan deformasi gunung api serta integrasi seluruh sistem yang dikembangkan.

Luaran Penelitian

1. Maria Evita, Muhammad Kamal, Suprijadi, Mitra Djamal. *Stereo-Inertial Navigation and Comparative Depth Estimation for a Volcano-Monitoring Robot at Mount Galunggung.* IJOST. 2024. **(Review)**
2. Muhammad Kamal; Maria Evita; Arief Suryadi Satyawan; Mitra Djamal. Implementation of a lightweight monocular metric depth estimation network in mobile robot for volcano monitoring application. AIP Conference Proceedings. Volume 3504, Issue 1, 31 July 2026. 2026. **(Published)**
3. Muhammad Kamal; Maria Evita; Arief Suryadi Satyawan; Mitra Djamal. Implementation of a lightweight deep stereo matching network in mobile robot for volcano monitoring application. AIP Conference Proceedings. Volume 3504, Issue 1, 31 July 2026. 2026. **(Published)**
4. Adiyasa Pratama, Maria Evita. Deteksi Objek Pohon Secara Real-Time dari Udara Menggunakan YOLOv8 dengan Pendekatan Fine-Tuning pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Aplikasi Penentuan Kerapatan Vegetasi Hutan. Jurnal Fisika Unand. Vol 15 No 5. 2026. **(Published)**
5. Nadila Gusriyani, Maria Evita. Deteksi Gempa Bumi Real-Time Menggunakan Sensor MPU6050 dengan Koreksi Drift Adaptif dan Sistem ESP32 Berbasis IoT. Jurnal Fisika Unand. Vol 15 No 4. 2026. **(Published)**
6. Saidah Nuraini, Kemal Riviriazka Narda, Maria Evita, I Kadek Agus Sarasawita. Volcano Temperature Monitoring System Based on ESP32 with DHT11 Sensor and Fuzzy Logic Controller. Indonesian Journal of Physics. 2026. **(Submitted)**
7. Randall Samiya Supriatna, Syifa Aulia Vernando, Maria Evita, I Kadek Agus Sara Sawita, Mitra Djamal, Development of a Temperature Monitoring System for Volcanic Thermal Activity Using DHT22 Sensor and ESP32-Based Power Management. Indonesian Journal of Physics. 2026. **(Submitted)**
8. Ahmad Raihan Kurniawan, Raihan Muhammad Ihsan1, Maria Evita, I Kadek Agus Sara Sawita, Mitra Djamal, Volcanic Temperature Monitoring System with ESP32, BME280, and Kalman Filter. Indonesian Journal of Physics. 2026. **(Submitted)**
9. Ravady Adra Kautsar, Muhammad Haidar Fadhilah, Maria Evita, Mitra Djamal, I Kadek Agus Sara Sawita. Distributed Volcano Temperature Monitoring System Based on ESP32 Mesh and LoRa Communication. Indonesian Journal of Physics. 2026. **(Submitted)**
10. Muhammad Kamal, Maria Evita, Arief Suryadi Satyawan, and Mitra Djamal. Comprehensive Literature Review of Stereo Vision for 3D Scene Perception. Indonesian Journal of Physics. 2026. **(Submitted)**
11. I Kadek Agus Sara Sawita, Abdul Muid, Maria Evita, Wahyu Srigutomo, Mitra Djamal, Suprijadi. An Initial Feasibility Assessment of Unmanned Aerial Vehicles for Object Transport in Disaster-Prone Volcanic Areas of Indonesia. Journal of Engineering and Technological Sciences. 2026. **(Accepted)**
12. Maria Evita, I Kadek Agus Sara Sawita, Darell Timothy Tarigan, Muhammad Kamal, Alfi Nur Albab, Abdul Muid, Mitra Djamal, Suprijadi. YOLOv8-based Thermal Image Analysis for Large Object Detection in Volcanic Deformation of West Java Volcanoes. Journal of Engineering and Technological Sciences. 2026. **(Review)**
13. I Kadek Agus Sara Sawita, Maria Evita, Suprijadi, Wahyu Srigutomo, Suprijadi. Comparative Evaluation of Five Machine Learning Models for Thermal Image Recognition of Volcanic Cracks and Hydrothermal Features, with an Exploratory Field Assessment. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS). 2026. **(Draft)**
14. Atra Ardiyanto Alam Purnama, Yafi Zainul Muttaqin, Maria Evita. Development of an Adaptive Mobile Robot Using PID Control and a Layered Machine Learning Architecture for Inclined Terrain Navigation at Mount Tangkuban Parahu. Journal of Robotics and Control. 2026. **(Draft)**
15. Ikbar Fauzul Mubin Ruhimat, Kayla Sabira Yusuf, Maria Evita. Development of an Internet of Things and Machine Learning-Based Water Pipeline Leak Detection System Using Flow, Pressure, and Acoustic Sensors. International Journal on Informatics Visualization. 2026. **(Draft)**

Acknowledgement

Penelitian ini didukung penuh oleh PPMI KK FMIPA ITB 2026 dan PVMBG yang telah memberikan izin penelitian.