

## INTISARI

Pemetaan jaringan pipa geotermal beserta penyangganya sangat penting dalam sistem informasi aset dan pemeliharaan integritas aset untuk mendukung ketahanan energi. Informasi mengenai jaringan pipa uap, pipa *brine*, penyangga, serta kondisi fisiknya harus dipantau secara berkala agar potensi kerusakan dapat terdeteksi sedini mungkin. Tantangan utama pemetaan jaringan pipa adalah cakupan panjang yang dapat mencapai puluhan hingga ratusan kilometer. Survei terestris menggunakan *Total Station*, dan GNSS-RTK merupakan metode yang umum digunakan, namun memiliki keterbatasan efisiensi. Oleh karena itu, alternatif teknologi pemetaan cepat, akurat, dan ekonomis perlu seperti WUNA yang dilengkapi sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR) maupun kamera untuk fotogrametri.

Penelitian ini mengkaji perbandingan kinerja WUNA LiDAR dan WUNA fotogrametri pada jaringan pipa geotermal sepanjang 3 km di wilayah Dieng dengan kondisi medan curam, kabut tebal, uap panas, dan cuaca yang dinamis. Analisis dilakukan pada empat parameter teknis, yaitu akurasi dan signifikansi geospasial, bentuk geometris pipa, deteksi posisi dan ketinggian, serta kemampuan representasi terrain. Data primer diperoleh melalui WUNA LiDAR berkapasitas 2 juta tembakan laser per detik yang terintegrasi dengan kamera udara 45 MP, GNSS *rover* 1 Hz, dan IMU 600 Hz. Foto udara direkam secara nadir dengan *overlap/sidelap* 80%/70% dan diolah dengan algoritma SfM-MVS di Agisoft Metashape Professional untuk menghasilkan *dense cloud*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua sistem mampu mendeteksi jaringan pipa dengan keunggulan berbeda. WUNA LiDAR lebih unggul dalam akurasi geometri dan perolehan *cloud ground* di bawah vegetasi sehingga informasi ketinggian pipa dan penopang lebih konsisten. WUNA fotogrametri memberikan nilai tambah pada aspek visualisasi berkat tekstur foto yang memudahkan identifikasi jalur pipa kecil seperti pipa *brine*, meskipun kualitas geometrisnya dipengaruhi oleh reflektansi material, kilauan permukaan, dan keterbatasan visibilitas. Uji akurasi menunjukkan WUNA LiDAR mencapai  $LE90 = 0,077$  m yang sesuai dengan standar peta kelas 1 skala 1:1000 pada SNI 9135-2:2023, sedangkan SfM-MVS fotogrametri hanya mencapai  $LE90 = 0,143$  m dan masuk dalam kelas 2 skala 1:100 pada SNI 9135-1:2022. Secara keseluruhan, pemilihan teknologi pemetaan jaringan pipa sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan: WUNA LiDAR digunakan ketika akurasi geometri tinggi diperlukan, sementara fotogrametri dapat mendukung identifikasi visual jalur pipa dengan efisiensi biaya yang lebih baik.

**Kata kunci:** UAV LiDAR, SfM-MVS, pipa geotermal, M3C2, geometri

## ***ABSTRACT***

Mapping of geothermal pipeline networks and their supports is crucial for asset information systems and asset integrity management in supporting energy resilience. Accurate information regarding steam pipelines, *brine* pipelines, supports, and their physical condition must be monitored regularly to ensure early detection of potential failures. The main challenge in pipeline mapping lies in the network length, which can extend for tens to hundreds of kilometers. Terrestrial surveys using Total Stations and GNSS-RTK are commonly applied but are limited in efficiency. Therefore, alternative mapping technologies that are fast, accurate, and cost-effective are required, such as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with LiDAR sensors or aerial photogrammetry.

This study compares the performance of UAV-based LiDAR and UAV-based photogrammetry on a 3 km geothermal pipeline network in Dieng, Central Java, characterized by steep terrain, dense fog, active steam emissions, and rapidly changing weather conditions. The aspects analyzed include the accuracy and significance of geospatial data; the geometric shape of the pipeline network; the ability to detect the position and elevation of the pipeline; and the capability to capture terrain morphology. Primary data were collected using a UAV LiDAR with a capacity of 2 million laser shots per second integrated with a 45 MP aerial camera, GNSS rover (1 Hz), and IMU (600 Hz). Aerial photographs were captured in nadir mode with 80% forward overlap and 70% sidelap, then processed using the SfM-MVS algorithm in Agisoft Metashape Professional to generate dense photogrammetric point clouds.

The results show that both systems successfully detected the pipeline network but with distinct advantages. UAV LiDAR outperformed in geometric accuracy and ground point acquisition beneath vegetation, providing more consistent information on pipeline and support heights. In contrast, SfM-MVS photogrammetry offered stronger visual interpretation due to aerial image texture, which facilitated the identification of smaller pipelines such as *brine* pipes, although its geometric quality was affected by material reflectance, surface shine, and visibility constraints. Accuracy testing demonstrated that UAV LiDAR achieved  $LE90 = 0.077$  m, meeting the Class 1 mapping standard at a 1:1000 scale (SNI 9135-2:2023), whereas SfM-MVS photogrammetry achieved  $LE90 = 0.143$  m, classified only as Class 2 at the same scale (SNI 9135-1:2022). Overall, the choice of mapping technology should be aligned with project requirements: UAV LiDAR is recommended when high geometric accuracy is essential, while photogrammetry provides added value for visual identification of pipeline networks with more cost efficiency.

**Keywords:** UAV LiDAR, SfM-MVS, geothermal pipeline, M3C2, geometry