

Pemetaan Digital Perbukitan Sukalilah: Teknologi Drone, Fotogrametri, dan (*Ground Control Point*) GCP untuk Kebun Buah & Drainase Mata Air Sukaesmi

Mohamad Sapari Dwi Hadian^{1*}, Raden Irvan Sophian², Taufik Rustikadara³, Cecep Yandri Sunarie⁴

¹⁻⁴Universitas Padjadjaran

Article Info

Article history:

Received April, 2025

Revised Juni, 2025

Accepted Juni, 2025

Kata Kunci:

Perbukitan, Sistem drainase, Pengembananan buah, pengelolaan sumber daya air, Digital model

Keywords:

Hills, Drainage system, Fruit development, water resources management, Digital model

ABSTRAK

Penggunaan teknologi drone dan fotogrametri semakin populer dalam berbagai aplikasi pemetaan dan survei, terutama di daerah yang memiliki topografi kompleks seperti perbukitan. Teknologi ini menawarkan solusi yang efisien dan akurat untuk menghasilkan peta digital dengan resolusi tinggi, yang sangat diperlukan dalam berbagai proyek pembangunan dan pengelolaan lahan. Pemanfaatan teknologi drone dan fotogrametri dengan kerangka *Ground Control Point* (GCP) untuk menghasilkan pemetaan digital yang akurat dan detail di daerah perbukitan Sukalilah, Kabupaten Garut. Studi kasus ini berfokus pada pengembangan kebun buah dan persiapan sistem drainase dari Mata Air Sukaesmi, Metode yang di gunakan dalam penelitian ini adalah mencoba mengembangkan data dari hasil foto udara dengan memanfaatkan data *Digital Surface Model* (DSM) yang di olah menjadi *Digital Terrain Model* (DTM), dimana data DSM masih berupa data ketinggian bangunan, pohon dan lain-lain, sehingga untuk menghasilkan *Digital Terrain Model* (DTM) diperlukan proses filtering menggunakan software *Saga Gis* untuk menghilangkan ketinggian pohon, bangunan, dan menganalisa jalur drainase air untuk meyiraman kebun, Data DTM tersebut dijadikan dasar untuk pemodelan 3D piping air, hasil yang diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengembangan kebun buah serta pengelolaan sumber daya air dan memberikan kontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat sehingga penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengelolaan lahan dan sumber daya air di daerah perbukitan Sukalilah, meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian, serta menyediakan model penerapan teknologi yang dapat direplikasi di wilayah lain.

ABSTRACT

The use of drone technology and photogrammetry is increasingly popular in various mapping and surveying applications, especially in areas that have complex topography such as hills. This technology offers an efficient and accurate solution for generating high-resolution digital maps, which are indispensable in various development and land management projects. Utilization of drone technology and photogrammetry with the *Ground Control Point* (GCP) framework to produce accurate and detailed digital mapping in the hilly area of Sukalilah, Garut Regency. This case study focuses on the development of fruit gardens and the preparation of drainage systems from Sukaesmi Spring, The method used in this study is to try to develop data from aerial photography by utilizing *Digital Surface Model* (DSM) data which is processed into a *Digital Terrain Model* (DTM), where

DSM data is still in the form of height data for buildings, trees and others, So that to produce a Digital Terrain Model (DTM) a filtering process is needed using Saga Gis software to remove the height of trees, buildings, and analyze water drainage paths to water gardens, the DTM data is used as a basis for 3D modeling of water piping, the results of which are expected to increase effectiveness and efficiency in the development of orchards and water resources management and contribute to improving community welfare local so this research makes a significant contribution to the management of land and water resources in the hilly area of Sukalilah, improves agricultural efficiency and productivity, and provides a model of technology application that can be replicated in other regions.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Name: Dr. Mohamad Sapari Dwi Hadian, ST., MT

Institution: Universitas Padjadjaran, Fakultas Teknik Geologi Jalan Soekarno km. 21 Jatinagor 45363

Email: sapari@unpad.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi drone dan fotogrametri dalam berbagai aplikasi pemetaan dan survei telah meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam menghasilkan peta digital dengan resolusi tinggi. Khususnya, di daerah yang memiliki topografi kompleks seperti perbukitan, teknologi ini menawarkan solusi yang efektif dan akurat untuk menghasilkan peta digital yang detail dan akurat. Dalam penelitian ini, pemanfaatan teknologi drone dan fotogrametri dengan kerangka Ground Control Point (GCP) (Peris et al., 2023) digunakan untuk menghasilkan pemetaan digital yang akurat dan detail di daerah perbukitan Sukalilah, Kecamatan Sukaresmi, Kabupaten Garut. Studi kasus ini berfokus pada pengembangan kebun buah dan persiapan sistem drainase dari Mata Air Sukaresmi. Metode yang digunakan melibatkan pengembangan data dari hasil foto udara dengan memanfaatkan data Digital Surface Model (DSM) (Peris et al., 2023) yang diolah menjadi Digital Terrain Model (DTM). Data DSM yang masih berupa data ketinggian bangunan, pohon, dan lain-lain memerlukan proses filtering menggunakan software Saga Gis untuk menghilangkan ketinggian pohon, bangunan, dan menganalisa jalur drainase air untuk memantau kebun. Data DTM tersebut digunakan sebagai dasar untuk pemodelan 3D perpipaan air.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengembangan kebun buah serta pengelolaan sumber daya air dan memberikan kontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat. Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengelolaan lahan dan sumber daya air di daerah perbukitan Sukalilah, meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian, serta menyediakan model penerapan teknologi yang dapat direplikasi di wilayah lain. Pemanfaatan teknologi dalam bidang pemetaan fotogrametri sangat berkembang. Hal tersebut ditunjukkan dengan pemanfaatan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Pardo-Igúzquiza & Dowd, 2021) dalam melakukan pemetaan untuk area skala kecil atau besar, dengan memanfaatkan teknologi tersebut diharapkan dapat membantu dalam melakukan akuisisi data dengan mudah, waktu yang lebih cepat, personil lebih sedikit dan hasil yang akurat.

Teknik pemetaan dengan teknologi fotogrametri, kini juga didukung dengan adanya teknik representasi penggambaran (plotting) dari berbagai software, yang pada awalnya hanya bisa

mempresentasikan berupa peta tampilan dua dimensi (2D), saat ini berkembang sampai visualisasi tiga dimensi (3D) (Subakti, 2017). Seiring dengan perkembangan selanjutnya diciptakan peta digital pemodelan tiga dimensi, yaitu sebuah inovasi representasi dari peta konvensional yang dibuat dengan tujuan memberikan kenampakan muka bumi beserta fitur yang ada di atasnya seperti bentuk bangunan, bentuk surface yang secara lebih nyata dan mampu memberikan sudut pandang yang lebih luas. Teknologi fotogrametri kian semakin berkembang dengan diciptakannya metode dan berbagai software pendukung.

Khususnya untuk pembuatan pemodelan 3D secara otomatis dari data foto udara, secara efektif dan efisien dengan memanfaatkan foto udara wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Rahman et al., 2021) Data yang dihasilkan dari UAV berupa foto udara yang kemudian akan diolah menjadi point cloud, DSM (Digital Surface Model) dan DTM (Digital Terrain Model). Data DTM (Digital Terrain Model) digunakan dalam pembuatan kontur. Hasil akhir yaitu pembuatan model 3D dari kontur yang diperoleh dari DTM (Natawidjaja et al., 2021)

Pemanfaatan Teknologi Drone dan Fotogrametri dengan Kerangka Ground Control Point (GCP) adalah Pemanfaatan Teknologi Drone dan Fotogrametri dengan Kerangka Ground Control Point (GCP) untuk Pemetaan Digital di Daerah Perbukitan Sukalilah: Studi Kasus Pengembangan Kebun Buah dan Persiapan Drainase dari Mata Air dan menghasilkan Pemetaan Digital Akurat: Menggunakan teknologi drone dan fotogrametri dengan dukungan GCP untuk menghasilkan peta digital berkualitas tinggi yang mencakup topografi dan fitur-fitur penting di lokasi penelitian.

Pengembangan Kebun Buah: Menyediakan data spasial yang detail untuk membantu perencanaan dan penataan kebun buah, termasuk penentuan lokasi tanam yang optimal, pengaturan pola tanam, dan perencanaan jalur akses dan Persiapan Sistem Drainase: Memetakan jalur drainase yang efektif dari Mata Air Sukaresmi, guna mencegah erosi dan mengelola aliran air secara efisien untuk mendukung keberlanjutan kebun buah dan mengurangi risiko longsor (Natawidjaja et al., 2021).

Optimalisasi Pengelolaan Sumber Daya Alam: Menggunakan data pemetaan digital untuk mengoptimalkan penggunaan lahan dan sumber daya air, serta memastikan bahwa pengembangan kebun buah dan sistem drainase dilakukan secara berkelanjutan. Menyediakan Basis Data untuk Perencanaan: Membuat basis data spasial yang dapat digunakan oleh pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, petani, dan pengembang, sebagai dasar dalam perencanaan dan pengambilan keputusan terkait pengelolaan lahan dan sumber daya air (Sudarmadji et al., 2016).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penggunaan Drone dalam Studi Geomorfologi

Drone telah menjadi alat penting dalam studi geomorfologi karena kemampuannya untuk mengumpulkan data spasial dengan resolusi tinggi dan cakupan yang luas (Westoby et al., 2012). Teknologi ini memungkinkan pemetaan morfologi lahan secara lebih rinci dibandingkan metode konvensional seperti survei terestrial dan citra satelit (Eltner et al., 2016). Pemanfaatan drone dalam penelitian geomorfologi, khususnya di daerah pegunungan, memberikan keuntungan dalam mengidentifikasi perubahan lahan, struktur geologi, dan proses geomorfologi yang sedang berlangsung (Smith et al., 2014).

2.2. Morfologi dan Geologi Pegunungan Garut

Daerah pegunungan di Garut memiliki karakteristik geomorfologi yang kompleks, terdiri dari bentang alam vulkanik dan struktural yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik serta erosi fluvial (Van Bemmelen, 1949). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kawasan ini memiliki potensi geoharitage yang signifikan, dengan berbagai fitur geologi seperti kubah lava, stratovolcano, serta teras sungai yang mencerminkan proses geomorfologi aktif (Rahmat et al., 2021). Pemetaan geologi dan analisis morfometri sangat penting untuk memahami dinamika lanskap serta potensi geohazard di wilayah tersebut (Hendrawan & Setiawan, 2019).

2.3. Metode Fotogrametri untuk Pemetaan Geomorfologi

Fotogrametri berbasis drone telah banyak digunakan dalam pemetaan geomorfologi karena kemampuannya menghasilkan model digital elevasi (DEM) dengan akurasi tinggi (James et al., 2017). Teknik ini mengandalkan pengolahan citra udara menggunakan perangkat lunak khusus seperti Agisoft Metashape dan Pix4D untuk merekonstruksi permukaan tanah dalam tiga dimensi (Fonstad et al., 2013). Selain itu, pendekatan ini dapat digunakan untuk analisis perubahan morfologi lahan akibat aktivitas geologi dan hidrologi (Tian et al., 2019).

2.4. Pengaruh Faktor Iklim dan Vegetasi terhadap Analisis Geomorfologi

Faktor iklim dan tutupan vegetasi memainkan peran penting dalam interpretasi data geomorfologi berbasis drone. Kondisi cuaca seperti hujan dan kabut dapat mempengaruhi kualitas citra yang diperoleh, sedangkan vegetasi lebat dapat menutupi fitur geomorfologi yang menjadi objek kajian (Lucieer et al., 2014). Oleh karena itu, pemilihan waktu survei dan metode pengolahan citra yang tepat menjadi aspek krusial dalam penelitian berbasis drone (Turner et al., 2015).

3. METODE PENELITIAN

Penginderaan jauh merupakan suatu sistem untuk memperoleh data yang lebih luas tanpa kontak langsung dengan objeknya. Penginderaan jauh memiliki kemampuan merekam permukaan bumi area yang luas dalam satu waktu perekaman. Deteksi objek penginderaan jauh untuk menentukan apakah citra udara atau satelit tertentu mengandung satu atau lebih objek yang termasuk dalam kelas yang diminati dan mencari posisi setiap objek yang diprediksi dalam gambar. Istilah 'objek' yang digunakan dalam survei ini mengacu pada bentuk umumnya, termasuk objek buatan manusia (misalnya kendaraan, kapal, bangunan, dan lain-lain) yang memiliki batas yang tajam dan lingkungan independen, serta objek lansekap, seperti penggunaan lahan/tutupan lahan yang memiliki batas-batas tidak jelas dan merupakan bagian dari lingkungan (Cheremisinoff et al., 2023)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah satuan sistem yang melibatkan informasi geografis untuk menjawab pertanyaan dan menentukan keputusan melalui analisis data, mengidentifikasi pola, dan mengevaluasi tren (Diatmiko, 2022). SIG mengintegrasikan hardware, software, data, user, dan workflows menjadi satu kesatuan paket yang komprehensif. (Ansori, 2008) mengemukakan SIG adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

Masyarakat luas mulai mengenal teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau pesawat tanpa awak, umumnya dikenal dengan drone merupakan teknologi terbaru yang melengkapi dan mendukung dalam aktivitas pemetaan dan pemotretan udara. UAV secara intensif terus dikembangkan oleh para ilmuwan, peneliti, dan praktisi baik nasional maupun internasional untuk aplikasi pemetaan. UAV dipilih sebagai alternatif teknologi akuisisi data inderaja dan spasial dengan alasan relatif lebih murah dan efisien. Selama satu dekade terakhir, UAV lazim digunakan dipasar komersial karena beragam kemampuan dan aplikatif di berbagai bidang (Stewart, 2021).

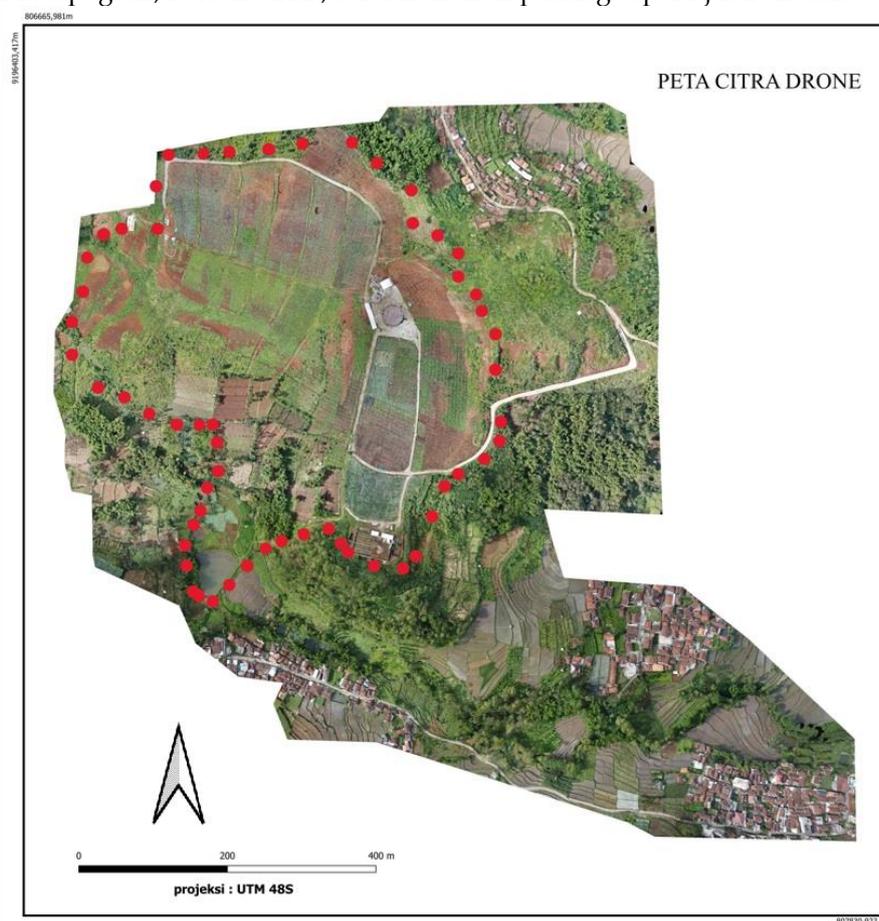
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengembangan kebun buah serta pengelolaan sumber daya air dan memberikan kontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat. Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengelolaan lahan dan sumber daya air di daerah perbukitan Sukalilah, meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian, serta menyediakan model penerapan teknologi yang dapat direplikasi di wilayah lain. Peta yang dihasilkan mencakup topografi, kontur tanah, serta fitur-fitur penting seperti jalur air dan vegetasi. Peta ini digunakan untuk perencanaan pengembangan kebun buah, termasuk penentuan lokasi optimal untuk penanaman, perencanaan

jalur irigasi, dan pengaturan pola tanam yang efisien. Selain itu, data pemetaan juga digunakan untuk merancang sistem drainase yang efektif dari Mata Air Sukaresmi, guna mengelola aliran air secara efisien, mencegah erosi, dan manajemen pengelolaan air (Hadian et al., 2016).

Penggunaan GCP terbukti meningkatkan akurasi data spasial yang diperoleh dari drone dan fotogrametri. Validasi di lapangan menunjukkan bahwa peta yang dihasilkan memiliki ketepatan posisi yang tinggi, sehingga dapat diandalkan untuk perencanaan dan pengambilan keputusan. Penelitian ini juga menghasilkan basis data spasial yang terintegrasi, mencakup informasi topografi, vegetasi, dan sumber daya air, yang dapat digunakan oleh berbagai pihak terkait. Drone dapat diprogram untuk melakukan penerbangan terencana dan pemantauan langsung terhadap tanaman.

Pemetaan Topografi Lahan yang dilakukan drones digunakan untuk membuat pemetaan topografi yang akurat dari lahan pertanian. Informasi ini dapat membantu dalam perencanaan sistem irigasi yang lebih efisien dan penataan lahan yang tepat juga digunakan untuk mengumpulkan sejumlah besar data yang memerlukan analisis lanjutan. Penggunaan kecerdasan buatan (AI) dan pemrosesan data lanjutan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam, seperti prediksi hasil panen, estimasi kebutuhan air, dan identifikasi masalah tanaman. Informasi lainnya adalah topografi, kontur tanah, serta fitur-fitur penting seperti jalur air dan vegetasi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian yang deliniasi kawasan kebun Jeruk dalam perencanaan manajemen air

Rencana penanaman berbasis pada kemiringan lereng dalam pengembangan kebun buah Jeruk, termasuk penentuan lokasi optimal untuk penanaman, perencanaan jalur irigasi, dan pengaturan pola tanam yang efisien. Peta ini memudahkan pengelolaan lahan dan meningkatkan produktivitas kebun buah Jeruk. Desain Sistem Drainase: Berdasarkan data pemetaan, penelitian ini berhasil merancang sistem drainase yang efektif dari Mata Air Sukaresmi dilakukan pengukuran perhitungan debit secara manual di dapat lebih dari 2.5 liter/det pengukuran tersebut bertujuan

untuk mengelola aliran air secara efisien, keberlanjutan kebun buah manajemen air agar bisa terukur dalam mendistribusikan air yang ada di lokasi tersebut.

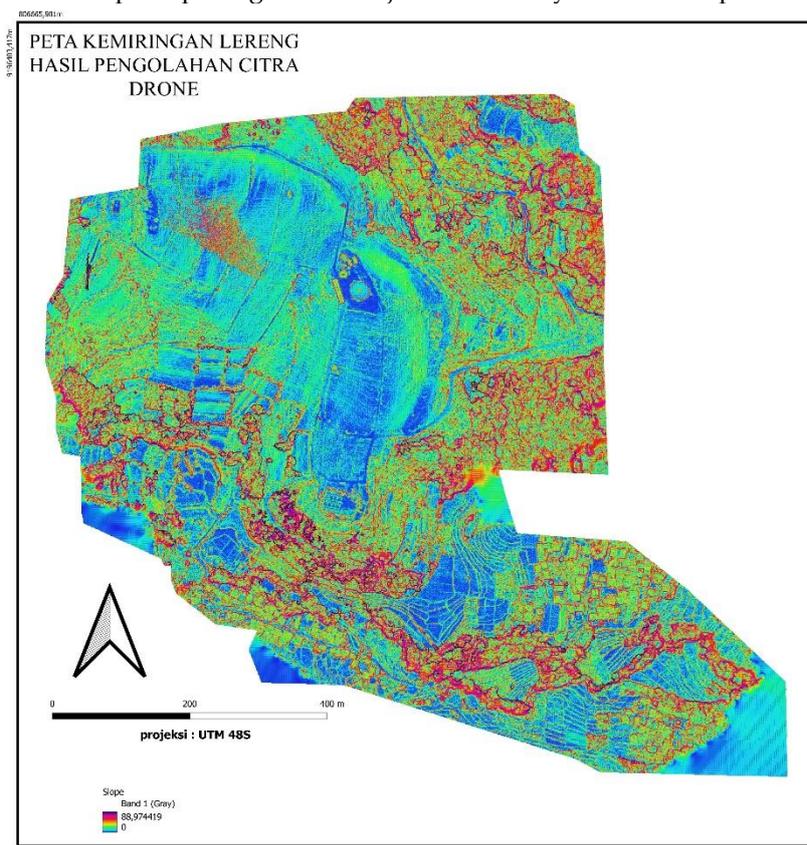
Validasi Akurasi Data: Penggunaan GCP terbukti meningkatkan akurasi data spasial yang diperoleh dari drone dan fotogrametri. Validasi di lapangan menunjukkan bahwa peta yang dihasilkan memiliki ketepatan posisi yang tinggi, sehingga dapat diandalkan untuk perencanaan dan pengambilan keputusan.

Basis Data Spasial Terintegrasi: Penelitian ini menghasilkan basis data spasial yang terintegrasi, mencakup informasi topografi, vegetasi, dan sumber daya air. Basis data ini dapat digunakan oleh berbagai pihak terkait, termasuk pemerintah daerah, petani, dan pengembang, sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan lahan.

Model Penerapan Teknologi: Studi kasus ini memberikan model penerapan teknologi drone, fotogrametri, dan GCP yang dapat diadopsi di daerah lain dengan kondisi topografi serupa. Model ini menunjukkan bagaimana teknologi tersebut dapat digunakan secara efektif untuk pemetaan digital dan pengelolaan lahan.

Rekomendasi Pengelolaan Lahan dan Sumber Daya Air: Berdasarkan hasil pemetaan dan analisis data, penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pengelolaan lahan dan sumber daya air di daerah perbukitan Sukalilah. Rekomendasi tersebut mencakup strategi penanaman, pengaturan irigasi, dan desain sistem drainase yang berkelanjutan.

Hasil-hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengembangan kebun buah serta pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Garut, sekaligus memberikan kontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat.



Gambar 2. Hasil Analisa Digital elevation model (DEM) Lokasi penelitian

Hasil Analisa DEM dapat bermanfaat dalam perencanaan pengelolaan lahan dan sumber daya air. Medapatkan peta digital yang sangat akurat dan detail. Peta ini sangat berguna dalam perencanaan dan pengelolaan lahan, memberikan informasi yang mendalam dan rinci mengenai

topografi, kontur tanah, serta fitur-fitur penting lainnya. Informasi ini mendukung pengelolaan kebun buah dan sistem irigasi yang lebih efisien dan tepat.

Peningkatan Produktivitas

Dengan informasi yang diperoleh dari pemetaan digital, pengelolaan kebun buah dapat dilakukan dengan lebih efisien. Data yang detail membantu menentukan lokasi penanaman yang optimal, mengatur pola tanam yang efisien, dan merencanakan sistem irigasi yang tepat. Semua ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian.

Sistem Drainase Efektif

Peta digital yang akurat juga memungkinkan desain sistem drainase yang efektif. Dengan memahami topografi dan aliran air alami, sistem drainase dapat dirancang untuk mengelola aliran air secara optimal, mengurangi risiko banjir, dan menghemat biaya pengelolaan. Hal ini sangat penting untuk menjaga keberlanjutan kebun buah dan melindungi lingkungan sekitar.

Pengelolaan Sumber Daya Alam

Basis data spasial yang dihasilkan dari pemetaan digital mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan lahan dan sumber daya air. Informasi yang komprehensif memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dan produktivitas yang lebih baik dalam pengelolaan sumber daya alam.

Peningkatan Kapasitas Teknologi Lokal

Penerapan teknologi drone dan fotogrametri juga meningkatkan keterampilan dan pengetahuan lokal. Para petani, teknisi, dan pengelola lahan mendapatkan pelatihan dan pengalaman dalam menggunakan teknologi ini, sehingga mereka lebih mampu mengelola lahan dan sumber daya air dengan cara yang lebih baik dan efisien.

Model untuk Daerah Lain

Penelitian ini memberikan model penerapan teknologi yang dapat direplikasi di wilayah lain. Dengan demikian, daerah lain yang memiliki kondisi topografi serupa dapat menerapkan teknologi ini untuk meningkatkan pengelolaan lahan dan sumber daya air mereka. Model ini menunjukkan bagaimana teknologi drone dan fotogrametri dapat digunakan secara efektif untuk pemetaan digital dan pengelolaan lahan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi drone dan fotogrametri dengan kerangka Ground Control Point (GCP) dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam pengelolaan lahan dan sumber daya air. Teknologi ini tidak hanya membantu dalam menghasilkan peta digital yang akurat dan detail, tetapi juga meningkatkan kapasitas teknologi lokal dan menyediakan model yang dapat direplikasi di berbagai wilayah lain.

Studi kasus ini memberikan model penerapan teknologi yang dapat diterapkan di daerah lain dengan topografi serupa. Pengalaman dan hasil dari penelitian ini menunjukkan bagaimana teknologi drone, fotogrametri, dan GCP dapat digunakan secara efektif untuk pemetaan digital dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa teknologi drone dan fotogrametri dengan dukungan GCP merupakan alat yang sangat berguna dan efisien untuk pemetaan digital di daerah perbukitan. Hasil penelitian ini tidak hanya mendukung pengembangan kebun buah dan sistem drainase yang lebih baik di Sukalilah, tetapi juga memberikan contoh yang dapat diadopsi di daerah lain untuk meningkatkan pengelolaan lahan dan sumber daya air. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat melalui pengelolaan yang lebih baik dan berkelanjutan.

Acknowledgment

Ucapan terimakasih kepada pihak yang memberikan support dalam menyelesaikan tulisan ini Wakil Dekan Fakultas Teknik Geologi Unpad dan bapak Katon Seno untuk menyiapkan data awal

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, C. (2008). *Menelusuri Jejak Dinamika Bumi pada Rangkaian Pegunungan Serayu dan Pantai Selatan Jawa*.
- Cheremisinoff, N. P., Bogardi, J. J., Gupta, J., Nandalal, K. D. W., Salamé, L., van Nooijen, R. R. P., Kumar, N., Tingsanchali, T., Bhaduri, A., Kolechkina, A. G., Dionisio Pérez-Blanco, C., Rey, D., Iftekhar, S., Kaushik, A., Escrivá-Bou, A., Calatrava, J., Adamson, D., Palomo-Hierro, S., Jones, K., ... Rodríguez-Labajos, B. (2023). Economics of water security. *Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples*, 10(1), 241–243. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1198/1/012013>
- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (2016). Image-based surface reconstruction in geomorphometry—Merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics*, 4(2), 359–389
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: A new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421–430.
- Hadian, M. S. D., Suganda, B. R., & Yuliawati, A. K. (2016). Geoheritage utilization in geotourism destination: A case study at batur global geopark, Bali. *Heritage, Culture and Society: Research agenda and best practices in the hospitality and tourism industry - Proceedings of the 3rd International Hospitality and Tourism Conference, IHTC 2016 and 2nd International Seminar on Tourism, ISOT 2016*.
- Hendrawan, A., & Setiawan, R. (2019). Geomorphological study and hazard assessment of volcanic areas in Indonesia. *Indonesian Journal of Geoscience*, 6(1), 21–35.
- James, M. R., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S., & Niethammer, U. (2017). Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology*, 280, 51–66.
- Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38(1), 97–116.
- Natawidjaja, D. H., Daryono, M. R., Prasetya, G., Udrek, Liu, P. L. F., Hananto, N. D., Kongko, W., Triyoso, W., Puji, A. R., Meilano, I., Gunawan, E., Supendi, P., Pamumpuni, A., Irsyam, M., Faizal, L., Hidayati, S., Sapiie, B., Kusuma, M. A., & Tawil, S. (2021). The 2018 Mw7.5 Palu “supershear” earthquake ruptures geological fault’s multisegment separated by large bends: Results from integrating field measurements, LiDAR, swath bathymetry and seismic-reflection data. *Geophysical Journal International*, 224(2), 985–1002. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa498>
- Pardo-Igúzquiza, E., & Dowd, P. A. (2021). The mapping of closed depressions and its contribution to the geodiversity inventory. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(4), 480–495. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.11.007>
- Peris, K., Fagnoli, M. C., Kaufmann, R., Arenberger, P., Bastholt, L., Seguin, N. B., Bataille, V., Brochez, L., del Marmol, V., Dummer, R., Forsea, A. M., Gaudy-Marqueste, C., Harwood, C. A., Hauschild, A., Höller, C., Kandolf, L., Kellerners-Smeets, N. W. J., Lallas, A., Leiter, U., ... Garbe, C. (2023). European consensus-based interdisciplinary guideline for diagnosis and treatment of basal cell carcinoma—update 2023. In *European Journal of Cancer* (Vol. 192). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2023.113254>
- Rahmat, R., Nugroho, H., & Sutikno, H. (2021). Geoheritage assessment in volcanic regions of West Java, Indonesia. *Journal of Geoscience and Environment*, 8(3), 45–59.
- Rahman, D., Moussouri, T., & Alexopoulos, G. (2021). The social ecology of food: Where agroecology and heritage meet. *Sustainability (Switzerland)*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/su132413981>
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2014). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 38(4), 411–439.
- Sudarmadji, Hadi, P., & Widyastuti, M. (2016). *Pengelolaan Sumber Daya Air* (Nomor June 2020, hal. 242).
- Tian, B., Chang, S., Liu, X., & Zhang, Y. (2019). UAV photogrammetry for monitoring gully erosion in semi-arid regions. *Remote Sensing*, 11(1), 54.
- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2015). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 7(2), 1584–1600.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia*. The Hague: Government Printing Office.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314.