



Evaluasi Performa DEM Sensor Visual (RGB) terhadap DEM Sensor LiDAR melalui Perbandingan Elevasi dan Volume Sedimen di Bendung Kamijoro

M. Aziz Anggara^{1*}, Afif Ari Wibowo², Aditya Saputra², Jumadi²

¹Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia.

²Pusat Studi Mintigasi Bencana, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1731>

Article Info:

Received : 12 Januari 2026
Revised : 26 Januari 2026
Accepted : 18 Februari 2026
Published : 27 Februari 2026

Correspondence:

M. Aziz Anggara

Phone: +6285337129526

Abstract: Sediment mapping is an important aspect of dam management because sediment accumulation can reduce storage capacity and interfere with intake performance. This study aims to compare the performance of Digital Elevation Models (DEM) derived from visual sensors (RGB) with LiDAR DEMs through elevation difference analysis and sediment volume estimation at the Kamijoro Dam. Data were obtained through Unmanned Aerial Vehicle (UAV) surveys at a flight altitude of 120 m, then processed to generate DEMs from each sensor. The analysis was conducted by calculating the elevation difference at the comparison points and comparing the estimated sediment volumes produced. The results showed that the visual DEM was able to represent the general surface elevation pattern, but showed greater elevation variation compared to the LiDAR DEM. The minimum elevation difference recorded was -4.3046 m, the maximum was 9.4975 m, with an average value of 1.0323 m. In the sediment volume estimation, the LiDAR DEM produced a volume of $85,612.456$ m³, while the visual DEM produced $128,596.23$ m³. This difference indicates a tendency for overestimation in the visual DEM, which is thought to be caused by limitations in separating the ground surface from vegetation and non-surface objects. Relative to the LiDAR DEM, these results show that the visual DEM has higher elevation variability in complex surface conditions.

Keywords: DEM LiDAR; sensor visual; sedimentation; UAV

Citation: Anggara, M. A., Wibowo, A. A., Saputra, A., & Jumadi. (2026). Evaluasi Performa DEM Sensor Visual (RGB) terhadap DEM Sensor LiDAR melalui Perbandingan Elevasi dan Volume Sedimen di Bendung Kamijoro. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 630–637. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1731>

Pendahuluan

Pemetaan sedimentasi merupakan aspek fundamental dalam pengelolaan infrastruktur sumber daya air, khususnya pada bendungan dan sistem irigasi. Proses sedimentasi yang berlangsung secara terus-menerus dapat menyebabkan pendangkalan sungai dan bendung, yang berdampak langsung pada penurunan kapasitas tampung, terganggunya fungsi intake, serta menurunnya efisiensi operasional bangunan air (Escobar Villanueva et al., 2019). Dalam jangka panjang, kondisi ini berpotensi meningkatkan risiko kegagalan fungsi bendung dan menurunkan ketersediaan air untuk kebutuhan irigasi maupun air baku. Oleh karena itu, kegiatan pemantauan dan pemetaan sedimentasi secara berkala menjadi kebutuhan yang sangat penting

dalam mendukung pengelolaan infrastruktur air yang berkelanjutan (Hidayat et al., 2021).

Metode pemetaan sedimentasi secara konvensional umumnya dilakukan melalui survei darat dan pengukuran langsung di lapangan. Meskipun metode ini mampu menghasilkan data dengan tingkat ketelitian yang baik, pelaksanaannya sering kali dihadapkan pada berbagai kendala, seperti kebutuhan waktu yang relatif lama, biaya operasional yang tinggi, serta risiko keselamatan bagi petugas survei, terutama pada lokasi dengan medan yang sulit dan kondisi hidrologi yang dinamis (Curcio et al., 2022). Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan pemetaan berbasis penginderaan jauh mulai banyak diterapkan sebagai alternatif yang lebih efisien, aman, dan fleksibel.

Email: aaw346@ums.ac.id

Salah satu teknologi yang berkembang pesat dalam bidang pemetaan topografi dan spasial adalah pemanfaatan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau drone (Alexiou et al., 2024).

UAV mampu menghasilkan data spasial beresolusi tinggi dengan tingkat detail yang baik, serta dapat dioperasikan pada ketinggian rendah sesuai kebutuhan survei. Salah satu UAV profesional yang banyak digunakan dalam kegiatan pemetaan adalah DJI Matrice 300 RTK (M300). Drone ini dilengkapi dengan sistem Real-Time Kinematic (RTK) yang memungkinkan penentuan posisi dengan ketelitian hingga tingkat sentimeter, sehingga sangat mendukung kebutuhan survei topografi presisi tinggi (DJI, 2020). Selain itu, M300 mendukung integrasi berbagai payload sensor, termasuk Zenmuse L1, yang menggabungkan sensor Visual (RGB) dan sensor LiDAR dalam satu sistem akuisisi data, sehingga memungkinkan perbandingan langsung antarjenis sensor dalam satu kerangka pemetaan yang sama (Kovanič et al., 2023).

Sensor Visual (RGB) bekerja dengan merekam citra permukaan bumi yang selanjutnya diolah menggunakan metode fotogrametri, seperti Structure from Motion (SfM), untuk menghasilkan model permukaan digital (Digital Surface Model/DSM) dan orthophoto (Specht, 2025). Metode ini dikenal mampu menghasilkan resolusi spasial yang sangat tinggi dan detail visual yang baik, sehingga sangat efektif untuk pemetaan area terbuka, seperti bar pasir, tepi sungai, dan area sedimentasi yang tidak tertutup vegetasi. Namun demikian, hasil pemetaan Sensor Visual sangat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, tekstur permukaan, sudut pengambilan citra, serta keberadaan vegetasi dan permukaan berair (Moe et al., 2020). Ketergantungan terhadap faktor-faktor tersebut menyebabkan akurasi model elevasi hasil Sensor Visual cenderung menurun pada area dengan tutupan vegetasi rapat atau kondisi lingkungan yang kurang ideal (Alexiou et al., 2024; Wang et al., 2021).

Berbeda dengan Sensor Visual, teknologi LiDAR (Light Detection and Ranging) bekerja secara aktif dengan memancarkan pulsa laser ke permukaan bumi dan mengukur waktu pantulannya untuk membentuk point cloud tiga dimensi. Keunggulan utama LiDAR terletak pada kemampuannya menembus vegetasi ringan hingga sedang, sehingga mampu merepresentasikan kondisi permukaan tanah yang sebenarnya dan menghasilkan Digital Terrain Model (DTM) "bare-earth" yang lebih akurat. Kemampuan ini menjadikan LiDAR sangat andal dalam pemetaan topografi pada wilayah dengan tutupan vegetasi kompleks, seperti kawasan riparian sungai dan daerah sekitar bendung (Zhu et al., 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan keandalan teknologi Sensor Visual dan

LiDAR dalam pemetaan geospasial. Julian & Harintaka (2019) menunjukkan bahwa integrasi data orthofoto dan LiDAR mampu menghasilkan akurasi ekstraksi bangunan otomatis hingga 94,93% dibandingkan delineasi manual. Sementara itu, Tarmizi (2019) mengungkapkan bahwa tingkat ketelitian orthofoto UAV sangat dipengaruhi oleh karakteristik penutup lahan, di mana area sungai dan sawah menunjukkan nilai RMSE yang lebih tinggi dibandingkan lahan kosong.

Penelitian lain oleh Dimas Ardsenda Tridasakti (2019) menegaskan bahwa orthofoto yang menggunakan titik kontrol tanah dari LiDAR Intensity Image mampu memenuhi standar ketelitian peta skala 1:2500, baik secara horizontal maupun vertikal. Selain itu, Dewi (2022) membuktikan bahwa akuisisi data UAV dengan kamera non-metrik tetap mampu menghasilkan orthofoto dengan ketelitian geometri yang sangat baik. Dari sisi performa sistem, Firdaus (2024) menegaskan pentingnya evaluasi keandalan LiDAR melalui pendekatan simulasi untuk menjamin ketepatan pengukuran jarak. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada uji ketelitian geometrik, ekstraksi objek, dan evaluasi sistem, serta belum secara spesifik membandingkan hasil volume sedimen dan perbedaan model elevasi yang dihasilkan oleh Sensor Visual dan LiDAR pada konteks pemetaan sedimentasi bendung.

Akurasi data elevasi yang dihasilkan dari UAV, baik berbasis Sensor Visual maupun LiDAR, tidak terlepas dari pengaruh faktor eksternal, seperti ketinggian terbang, kondisi medan, serta karakteristik topografi wilayah pemetaan. Penelitian menunjukkan bahwa ketinggian terbang UAV memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai Root Mean Square Error (RMSE) data elevasi. Pada area dengan topografi relatif datar, RMSE DTM hasil UAV LiDAR berkisar antara 0,015 hingga 0,105 meter, sedangkan pada area dengan kemiringan medan yang tinggi nilai RMSE dapat meningkat hingga 0,343 meter. Mohamed et al. (2024) juga melaporkan bahwa DTM hasil LiDAR memiliki korelasi yang sangat kuat dengan data elevasi satelit dengan nilai R^2 sebesar 0,955, yang menegaskan tingginya tingkat akurasi data LiDAR dalam merepresentasikan elevasi permukaan bumi. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi topografi dan parameter penerbangan menjadi faktor kunci dalam menentukan kualitas hasil pemetaan menggunakan UAV LiDAR (Saparini et al., 2021).

Secara administratif, Bendung Kamijoro terletak di Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, dan berada di bawah kewenangan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak dengan luas layanan sekitar 2.370 hektare. Bendung ini selesai dibangun pada Desember 2018 dan direncanakan

sebagai sumber utama air irigasi Daerah Irigasi Kamijoro, menggantikan peran Bendung Pijenan, serta untuk memenuhi kebutuhan air baku Bandara Internasional Yogyakarta. Sungai Progo sebagai sumber air utama memiliki debit yang relatif besar sepanjang tahun, sehingga dinamika aliran dan proses sedimentasi menjadi faktor penting yang memengaruhi kinerja bendung tersebut (Firdaus, 2024).

Permasalahan sedimentasi di Bendung Kamijoro terutama terjadi pada sisi kiri hulu intake, di mana akumulasi sedimen menyebabkan tertutupnya saluran irigasi. Upaya penanganan awal berupa penggalan sedimen telah dilakukan untuk membuka kembali intake, namun belum memberikan solusi jangka panjang karena sedimentasi kembali terjadi dalam waktu relatif singkat. Kondisi ini diduga kuat berkaitan dengan letak intake yang berada pada tikungan sungai, sehingga memicu proses deposisi sedimen secara berulang (Lin et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam untuk memahami pola sedimentasi, karakteristik morfologi sungai, serta efektivitas metode pemetaan yang digunakan.

Berdasarkan kondisi tersebut, pemanfaatan teknologi UAV dengan sensor Visual dan LiDAR menjadi pendekatan yang relevan untuk mendukung analisis sedimentasi di Bendung Kamijoro. Data orthophoto hasil Sensor Visual dapat digunakan untuk mengamati perubahan morfologi sedimen secara spasial dan visual, sementara data LiDAR memberikan informasi topografi detail yang memungkinkan perhitungan volume sedimen secara lebih akurat, termasuk pada area yang tertutup vegetasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan volume sedimen yang dihasilkan dari data DEM berbasis sensor LiDAR dan Sensor Visual, menilai tingkat kesesuaian serta akurasi elevasi yang dihasilkan oleh kedua metode melalui titik-titik pembandingan, serta mengevaluasi efektivitas masing-masing sensor dalam mendukung analisis sedimentasi di Bendung Kamijoro sebagai dasar perencanaan penanganan sedimentasi yang lebih tepat dan berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode survei dengan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial. Lokasi penelitian berada di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan fokus kajian pada Bendung Kamijoro. Data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Pemanfaatan UAV dipilih karena mampu menghasilkan data spasial beresolusi tinggi secara efisien serta memungkinkan pengambilan data pada area yang sulit dijangkau secara langsung. Untuk mengidentifikasi perbedaan

karakteristik dan tingkat akurasi data elevasi, penelitian ini menerapkan pendekatan studi perbandingan (*comparative study*) antara dua metode pemetaan, yaitu orthophoto berbasis Sensor Visual (RGB) dan LiDAR (Hidayat et al., 2021). Objek penelitian mencakup area bendung dan zona sedimentasi di sekitar intake. Proses sedimentasi di lokasi ini dipengaruhi oleh kondisi morfologi sungai, khususnya keberadaan tikungan alur sungai yang memicu perlambatan aliran dan deposisi material sedimen. Akumulasi sedimen yang bersifat dinamis menyebabkan distribusinya tidak merata dan berubah dari waktu ke waktu. Kondisi tersebut menuntut penggunaan metode pemetaan topografi yang memiliki ketelitian tinggi, efisien, dan dapat dilakukan secara berulang untuk memantau perubahan kondisi secara spasial dan temporal.

Penelitian difokuskan pada analisis karakteristik sedimentasi melalui pemetaan topografi berbasis UAV dengan dua jenis sensor, yaitu sensor LiDAR dan sensor Visual (RGB). Kedua sensor digunakan untuk menghasilkan model digital elevasi (Digital Elevation Model/DEM) yang selanjutnya dibandingkan guna menilai perbedaan hasil, tingkat kesesuaian elevasi, serta efektivitas masing-masing metode dalam mendukung analisis sedimentasi pada infrastruktur sumber daya air. Pengambilan data dilakukan menggunakan UAV DJI Matrice 300 RTK yang dilengkapi sensor Zenmuse L1. Akuisisi data dilakukan melalui dua metode, yaitu pemetaan orthophoto dan pemetaan LiDAR, dengan ketinggian terbang UAV sebesar 120 meter. Ketinggian tersebut dipilih untuk memperoleh cakupan wilayah yang optimal sekaligus menjaga keseimbangan antara resolusi spasial, ketelitian data elevasi, dan efisiensi waktu pengambilan data di lapangan.

Tahapan pengumpulan data diawali dengan persiapan lapangan yang meliputi survei awal lokasi, penentuan jalur terbang UAV (*flight plan*), serta persiapan peralatan pendukung. Peralatan yang digunakan meliputi UAV, sistem GNSS, statif, yallon, dan perlengkapan teknis lainnya. Perencanaan jalur terbang disesuaikan dengan kondisi topografi dan luas area sedimentasi agar seluruh area kajian dapat terliput secara optimal dan meminimalkan kekosongan data.

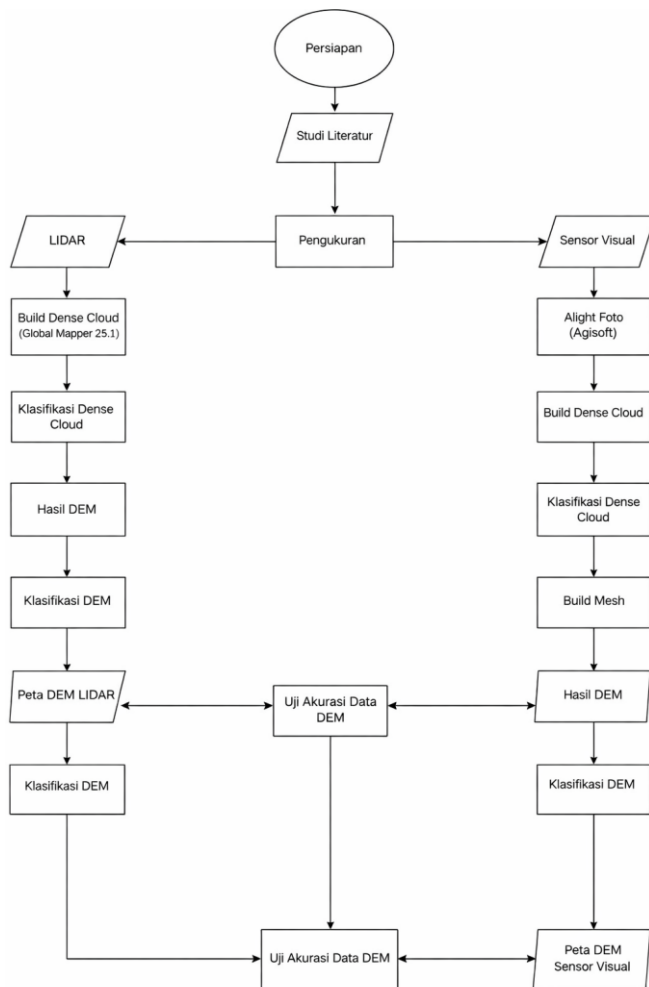
Tahap berikutnya adalah pemasangan sistem GNSS pada statif yang ditempatkan di atas *control point* (CP). Posisi alat dipastikan stabil melalui pengecekan nivo kotak dan nivo tabung. GNSS kemudian dihubungkan dengan *remote controller* untuk pengikatan koordinat dan sinkronisasi sistem. *Base station* (BM) ditempatkan pada lokasi terbuka tanpa gangguan tutupan lahan guna memastikan kualitas sinyal yang optimal. Setelah seluruh sistem siap, UAV diterbangkan untuk merekam data LiDAR dan Sensor Visual sesuai jalur terbang yang telah direncanakan.

Data hasil akuisisi selanjutnya dipindahkan ke tahap pengolahan untuk menghasilkan informasi spasial yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Data LiDAR diolah menggunakan perangkat lunak DJI Terra dan Global Mapper, sementara data Sensor Visual diproses menggunakan Agisoft Metashape. Proses pengolahan ini mencakup tahapan prapemrosesan, rekonstruksi tiga dimensi, serta pembuatan model elevasi, dengan tujuan mengonversi data mentah menjadi produk spasial berupa *point cloud*, *orthophoto*, dan Digital Elevation Model (DEM) yang memiliki kualitas geometrik dan ketelitian yang memadai untuk analisis lebih lanjut.

dalam format LAS/LAZ serta data raster foto udara hasil pemetaan menggunakan Sensor Visual yang diperoleh melalui pengukuran lapangan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perbandingan akurasi elevasi dan analisis volume sedimen.

Pengolahan data LiDAR dilakukan melalui tahapan pembangunan *dense cloud*, klasifikasi *point cloud* untuk memisahkan *ground*, vegetasi, dan bangunan, serta pembentukan DEM. Sementara itu, pengolahan data Sensor Visual meliputi proses *align photo*, klasifikasi *dense cloud* untuk menentukan *ground point*, pembangunan *mesh*, dan pembuatan DEM dari hasil *orthophoto* yang telah diklasifikasikan.

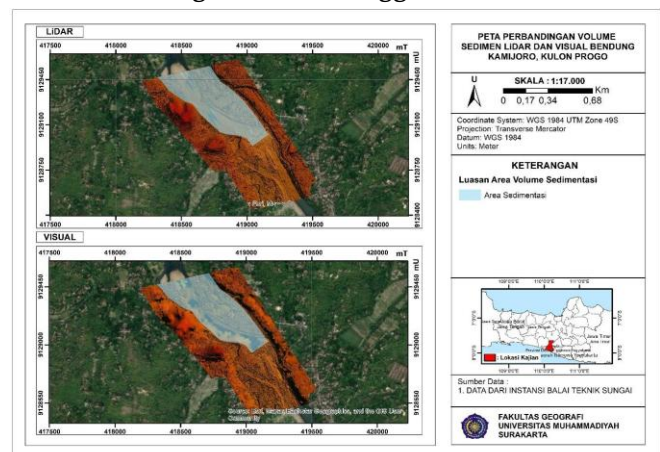
Analisis data dilakukan untuk dua tujuan utama. Pertama, membandingkan volume sedimen yang dihasilkan dari DEM berbasis LiDAR dan Sensor Visual melalui analisis selisih elevasi dan statistik deskriptif. Kedua, mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan hasil kedua metode, seperti resolusi spasial, kerapatan titik, tutupan vegetasi, kondisi pencahayaan, serta parameter penerbangan UAV. Alur keseluruhan tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 1 untuk memberikan gambaran sistematis mengenai proses penelitian.



Gambar 1. gambaran sistematis mengenai proses penelitian.

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) sebagai wahana pengambilan data udara, Global Navigation Satellite System (GNSS) untuk pengikatan posisi dan koreksi koordinat, statif sebagai penopang GNSS guna menjaga kestabilan pengukuran, serta meteran untuk pengukuran tinggi alat terhadap permukaan tanah. Adapun bahan penelitian terdiri atas data DEM LiDAR

Hasil dan Diskusi Peta Perbandingan Titik Ketinggian Elevasi



Gambar 2. Peta Perbandingan Titik Ketinggian Elevasi

Peta perbandingan menunjukkan hasil pengukuran ketinggian elevasi menggunakan dua metode, yaitu LiDAR dan Sensor Visual, pada area Bendung Kamijoro. Titik-titik perbandingan tersebar relatif merata dengan jarak antar titik sekitar 120 meter di seluruh area kajian, sehingga mampu merepresentasikan variasi elevasi permukaan secara menyeluruh dan mengurangi potensi bias spasial akibat distribusi titik yang tidak merata. Pola sebaran ini memungkinkan analisis komparatif dilakukan secara objektif pada berbagai kondisi permukaan, baik pada area bendung, alur sungai, maupun zona sedimentasi di

sekitarnya. Berdasarkan peta elevasi berbasis LiDAR, pola permukaan tampak lebih halus, kontinu, dan konsisten. Hal ini mencerminkan kemampuan sensor LiDAR dalam menangkap detail mikro-topografi secara presisi, termasuk variasi elevasi kecil yang sulit terdeteksi oleh metode lain. Perbedaan gradasi warna pada peta menunjukkan variasi elevasi yang mengikuti bentuk alami permukaan lahan, terutama pada area alur sungai, lereng tebing, dan sekitar struktur bendung, sehingga memberikan representasi topografi yang lebih realistis.

Sementara itu, hasil visualisasi elevasi berbasis Sensor Visual (RGB) menunjukkan pola elevasi yang secara umum serupa dengan LiDAR, namun pada beberapa titik tertentu terdapat perbedaan nilai elevasi yang cukup signifikan. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh keterbatasan metode visual, seperti resolusi spasial citra, sudut dan overlap pengambilan foto, serta adanya gangguan objek penutup lahan, seperti vegetasi dan bangunan, yang dapat memengaruhi akurasi ekstraksi titik permukaan tanah. Kondisi pencahayaan dan bayangan saat akuisisi data juga berpotensi menyebabkan distorsi elevasi pada DEM berbasis Sensor Visual.

Tabel 1. Perbandingan Titik dan Selisih Angka

No.	Elevasi LiDAR (m)	Elevasi Visual (m)	Selisih Angka (m)
1	26,0976	25,7815	0,3161
2	25,3816	24,4874	0,8942
3	34,9619	34,6071	0,3548
4	35,1452	34,2562	0,8890
5	25,1257	29,4303	-4,3046
6	24,2625	24,3829	-0,1204
7	23,8107	21,9448	1,8659
8	25,9625	25,3624	0,6001
9	25,4776	24,8596	0,6180
10	32,5522	32,4568	0,0954
11	31,7086	29,5384	2,1702
12	37,4103	34,9461	2,4642
13	52,8417	47,1750	5,6667
14	30,9844	27,0352	3,9492
15	24,7111	25,3782	-0,6671
16	25,0418	24,8738	0,1680
17	25,0691	25,1522	-0,0831
18	35,1191	34,8116	0,3075
19	54,6625	51,6771	2,9854
20	37,0449	38,1837	-1,1388
21	23,7549	23,0639	0,6910
22	23,7496	14,2521	9,4975
23	25,1892	25,8419	-0,6527
24	24,6807	24,7347	-0,0540
25	34,6262	33,9544	0,6718
26	34,3456	34,4222	-0,0766
27	38,7551	35,6679	3,0872

28	25,6776	26,2914	-0,6138
29	29,0473	29,0974	-0,0501
30	21,4217	12,7176	8,7041
31	23,1552	23,1845	-0,0293
32	38,9670	39,5241	-0,5571
33	38,0860	35,6456	2,4404
34	28,2177	28,2180	-0,0003
35	21,7747	21,9347	-0,1600
36	19,6325	19,0702	0,5623
37	41,3405	35,3513	5,9892
38	24,5381	24,2561	0,2820
39	20,9842	21,4421	-0,4579
40	21,2284	22,6494	-1,4210
41	29,8076	29,7214	0,0862
42	33,2181	32,2913	0,9268
43	29,8092	29,5355	0,2737
44	22,8423	22,0904	0,7519
45	23,3445	23,5823	-0,2378
46	19,6119	18,4275	1,1844
47	33,2768	32,8617	0,4151
48	23,6383	21,0300	2,6083
49	21,3157	21,6240	-0,3083

Selisih minimum (m) : -4,3046

Selisih maksimum (m) : 9,4975

Rata-rata selisih (m) : 1,0323204

Perbandingan antar titik pengukuran menunjukkan bahwa selisih elevasi antara data LiDAR dan Sensor Visual relatif kecil pada area terbuka dengan permukaan tanah yang homogen. Pada area semacam ini, kedua metode mampu merepresentasikan elevasi dengan tingkat kesesuaian yang cukup baik karena minimnya gangguan objek penutup lahan. Namun demikian, selisih elevasi cenderung meningkat pada area dengan tutupan vegetasi rapat atau keberadaan struktur buatan, seperti bangunan bendung dan elemen infrastruktur lainnya, yang berpotensi memengaruhi proses ekstraksi elevasi permukaan tanah.

Nilai selisih minimum sebesar -4,3046 m menunjukkan bahwa pada beberapa titik tertentu, ketinggian hasil pemodelan LiDAR lebih rendah dibandingkan dengan ketinggian yang dihasilkan oleh Sensor Visual. Kondisi ini dapat terjadi akibat kemampuan LiDAR dalam menembus celah vegetasi hingga mencapai permukaan tanah, sehingga elevasi yang dihasilkan merepresentasikan ground level secara lebih akurat. Sebaliknya, data Sensor Visual pada titik-titik tersebut kemungkinan masih merekam bagian atas vegetasi atau objek penutup lainnya, sehingga menghasilkan nilai elevasi yang relatif lebih tinggi.

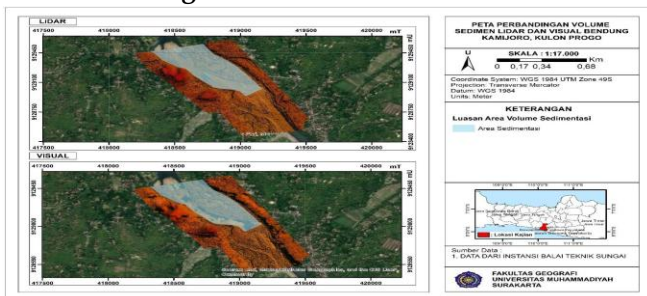
Sebaliknya, nilai selisih maksimum sebesar 9,4975 m mengindikasikan adanya titik-titik dengan perbedaan elevasi yang cukup signifikan, di mana ketinggian hasil LiDAR lebih tinggi dibandingkan dengan data Sensor Visual. Perbedaan ini diduga kuat dipengaruhi oleh

keterbatasan ketelitian metode visual, terutama pada area dengan kompleksitas objek yang tinggi. Resolusi spasial citra, sudut pengambilan gambar, serta kualitas overlap foto dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam proses pemodelan permukaan, sehingga elevasi yang dihasilkan menjadi kurang representatif.

Selain itu, keberadaan objek non-permukaan tanah, seperti bangunan bendung, talud, dan vegetasi tinggi, cenderung terekam lebih jelas dan detail oleh sensor LiDAR. Kemampuan LiDAR dalam menghasilkan kerapatan titik yang tinggi memungkinkan deteksi bentuk dan ketinggian objek secara lebih presisi. Sebaliknya, metode berbasis Sensor Visual sangat bergantung pada kondisi pencahayaan dan tekstur permukaan, yang pada beberapa kasus dapat menimbulkan distorsi atau smoothing berlebihan pada model elevasi.

Nilai rata-rata selisih elevasi sebesar 1,0323 m menunjukkan bahwa secara umum perbedaan ketinggian antara data LiDAR dan data Sensor Visual relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi untuk analisis topografi skala menengah. Nilai rata-rata yang positif mengindikasikan adanya kecenderungan hasil ketinggian LiDAR sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan hasil metode Sensor Visual. Temuan ini menunjukkan bahwa kedua metode masih dapat digunakan secara komplementer, dengan mempertimbangkan karakteristik wilayah dan tujuan analisis, khususnya dalam kajian sedimentasi pada infrastruktur sumber daya air.

Peta Perbandingan Volume Sedimen



Gambar 3. Peta Perbandingan Volume Sedimen

Berdasarkan hasil analisis perbandingan volume sedimen di Bendung Kamijoro menggunakan metode LiDAR dan Sensor Visual, diperoleh perbedaan nilai volume sedimen yang cukup signifikan. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa total volume sedimen berdasarkan data LiDAR sebesar 85.612,456 m³, sedangkan estimasi menggunakan metode Sensor Visual menghasilkan total volume sedimen sebesar 128.596,23 m³. Perbedaan nilai ini secara langsung menunjukkan adanya disparitas kemampuan masing-masing metode dalam merepresentasikan kondisi permukaan dan menghitung akumulasi sedimen.

Perbedaan volume sedimen tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik sensor dan metode pemodelan yang digunakan sangat memengaruhi hasil estimasi. Metode LiDAR dan Sensor Visual memiliki prinsip akuisisi data yang berbeda, sehingga menghasilkan representasi elevasi yang tidak selalu sepadan, terutama pada area dengan kompleksitas medan tinggi. Oleh karena itu, hasil perhitungan volume sedimen perlu dianalisis secara kritis dengan mempertimbangkan karakteristik teknis dari masing-masing sensor.

Nilai volume sedimen hasil LiDAR mencerminkan kemampuan sensor ini dalam merepresentasikan kondisi topografi dasar sungai dan area intake secara lebih akurat. Kemampuan LiDAR dalam menghasilkan kerapatan titik yang tinggi memungkinkan pemodelan permukaan tanah yang lebih detail, termasuk pada area dengan kontur tidak beraturan. Hal ini sangat relevan pada Bendung Kamijoro yang memiliki karakter morfologi sungai berkelok serta variasi elevasi yang cukup tajam di sekitar bangunan bendung.

Selain itu, keunggulan utama LiDAR terletak pada kemampuannya dalam memisahkan permukaan tanah (*bare earth*) dari objek di atasnya, seperti vegetasi dan bangunan. Proses klasifikasi *point cloud* memungkinkan penyaringan objek non-permukaan tanah sehingga DEM yang dihasilkan lebih merepresentasikan elevasi aktual sedimen. Akibatnya, estimasi volume sedimen yang diperoleh bersifat lebih konservatif, namun memiliki tingkat realisme yang lebih tinggi terhadap kondisi sedimentasi sebenarnya.

Estimasi volume sedimen berbasis LiDAR juga dinilai lebih andal untuk mendukung analisis teknis pengelolaan bendung, khususnya dalam perencanaan pengerukan dan pemeliharaan area intake. Pendangkalan berulang yang terjadi di Bendung Kamijoro memerlukan informasi volume sedimen yang presisi agar tindakan teknis yang dilakukan dapat tepat sasaran dan efisien secara biaya. Dalam konteks ini, penggunaan data LiDAR memberikan keuntungan signifikan dari sisi ketelitian dan keandalan data.

Sebaliknya, volume sedimen yang dihasilkan oleh metode Sensor Visual menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan hasil LiDAR. Hal ini mengindikasikan bahwa DEM berbasis Sensor Visual cenderung merepresentasikan permukaan campuran antara sedimen, vegetasi, dan objek non-permukaan lainnya. Pada area dengan vegetasi riparian yang rapat, Sensor Visual kesulitan membedakan antara elevasi tanah dan tajuk vegetasi, sehingga nilai elevasi yang dihasilkan menjadi lebih tinggi dari kondisi sebenarnya.

Selain faktor vegetasi, dinamika permukaan air sungai juga turut memengaruhi akurasi estimasi volume sedimen berbasis Sensor Visual. Pantulan cahaya,

bayangan, serta variasi tingkat kekeruhan air dapat mengganggu proses rekonstruksi permukaan pada citra fotogrametri. Kondisi ini berpotensi menghasilkan distorsi pada model elevasi, terutama di area peralihan antara daratan dan perairan, yang pada akhirnya meningkatkan nilai estimasi volume sedimen.

Keterbatasan lain dari metode Sensor Visual terletak pada ketergantungannya terhadap kualitas citra dan parameter penerbangan UAV. Resolusi spasial, tingkat overlap foto, sudut pengambilan gambar, serta kondisi pencahayaan saat akuisisi data sangat menentukan kualitas DEM yang dihasilkan. Ketidaksihesuaian pada salah satu parameter tersebut dapat menyebabkan kesalahan kecil pada elevasi permukaan, yang kemudian terakumulasi menjadi perbedaan volume sedimen yang cukup besar.

Kondisi ini menjadi krusial mengingat perhitungan volume sedimen sangat sensitif terhadap perubahan elevasi, terutama pada area analisis yang luas seperti Bendung Kamijoro. Selisih elevasi dalam skala sentimeter hingga meter dapat berdampak signifikan terhadap hasil estimasi volume, sehingga pemilihan metode pemetaan menjadi faktor penentu dalam keakuratan analisis sedimentasi.

Secara keseluruhan, perbedaan volume sedimen antara metode LiDAR dan Sensor Visual menunjukkan bahwa permasalahan utama dalam pemetaan sedimentasi di Bendung Kamijoro tidak hanya terletak pada keberadaan dan distribusi sedimen, tetapi juga pada tingkat ketelitian model elevasi yang digunakan sebagai dasar perhitungan volume. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan metode pemetaan yang sesuai dengan karakteristik wilayah dan tujuan analisis, serta menunjukkan bahwa data LiDAR lebih unggul dalam mendukung analisis sedimentasi yang membutuhkan tingkat akurasi tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan ketinggian elevasi dan volume sedimen menggunakan data LiDAR dan Sensor Visual di Bendung Kamijoro, dapat disimpulkan bahwa kedua metode mampu merepresentasikan pola elevasi permukaan secara umum, namun memiliki tingkat ketelitian yang berbeda. Peta perbandingan menunjukkan bahwa data LiDAR menghasilkan model elevasi yang lebih halus dan konsisten, sedangkan data Sensor Visual menunjukkan variasi nilai elevasi yang lebih besar pada titik-titik tertentu.

Hasil analisis selisih ketinggian pada titik perbandingan menunjukkan nilai selisih minimum sebesar -4,3046 m, selisih maksimum sebesar 9,4975 m, dan nilai rata-rata selisih sebesar 1,0323 m. Nilai rata-rata tersebut mengindikasikan bahwa secara umum perbedaan elevasi antara data LiDAR dan data Sensor

Visual relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi untuk analisis topografi skala menengah. Namun demikian, keberadaan nilai selisih maksimum yang cukup besar menunjukkan adanya ketidaksihesuaian signifikan pada beberapa titik, khususnya pada area dengan tutupan vegetasi rapat, bangunan, serta kondisi permukaan yang kompleks.

Pada analisis volume sedimen, diperoleh perbedaan yang cukup signifikan antara kedua metode. Volume sedimen hasil pengolahan data LiDAR sebesar 85.612,456 m³, sedangkan metode Sensor Visual menghasilkan volume sedimen sebesar 128.596,23 m³. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode Sensor Visual cenderung menghasilkan estimasi volume yang lebih besar akibat keterbatasan dalam memisahkan permukaan tanah dari objek non-permukaan, seperti vegetasi dan struktur buatan. Sebaliknya, data LiDAR mampu merepresentasikan kondisi permukaan tanah secara lebih akurat melalui pemisahan bare earth, sehingga estimasi volume sedimen yang dihasilkan bersifat lebih konservatif dan realistis terhadap kondisi aktual sedimentasi di Bendung Kamijoro.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa data LiDAR memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan Sensor Visual dalam pemodelan elevasi dan estimasi volume sedimen, sehingga lebih andal digunakan sebagai dasar analisis sedimentasi dan perencanaan pengelolaan bendung.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Program Studi Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak serta Balai Teknik Sungai yang telah memberikan izin, data, dan dukungan teknis dalam proses pengambilan data lapangan di Bendung Kamijoro. Selain itu, penulis mengapresiasi seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam proses pengumpulan data, pengolahan, serta pemberian masukan konstruktif sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- Alexiou, S., Papanikolaou, I., Schneiderwind, S., Kehrle, V., & Reicherter, K. (2024). Monitoring and quantifying soil erosion and sedimentation rates in centimeter accuracy using UAV-photogrammetry, GNSS, and t-LiDAR in a post-fire setting. *Remote Sensing*, 16(5), 802. <https://doi.org/10.3390/rs16050802>
- Curcio, A. C., Peralta, G., Aranda, M., & Barbero, L. (2022). Evaluating the performance of high spatial resolution UAV-photogrammetry and UAV-LiDAR for salt marshes: the Cádiz Bay

- study case. *Remote Sensing*, 14(15), 3582. <https://doi.org/10.3390/rs14153582>
- Dewi, C. (2022). Kajian akurasi geometri orthophoto dari akuisisi data pesawat tanpa awak. *Journal of Syntax Literate*, 7(3).
- DJI. (2020). DJI Matrice 300 RTK User Manual. DJI Technology Co., Ltd.
- Escobar Villanueva, J. R., Iglesias Martínez, L., & Pérez Montiel, J. I. (2019). DEM generation from fixed-wing UAV imaging and LiDAR-derived ground control points for flood estimations. *Sensors*, 19(14), 3205. <https://doi.org/10.3390/s19143205>
- Firdaus, R. A. (2024). Analisis kinerja sistem LiDAR (Light Detection and Ranging) dalam pengukuran jarak dengan pendekatan simulasi: Evaluasi ketepatan dan keandalan pengukuran. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(5), 1569–1576.
- Hidayat, R., Setiawan, B., & Prabowo, Y. (2021). Evaluasi efektivitas metode UAV dalam pemetaan sedimentasi bendungan. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(1), 45–54.
- Julian, H. D., & Harintaka, H. (2019). Kajian keandalan hasil ekstraksi bangunan secara otomatis menggunakan data ortofoto dan LiDAR di Kota Pontianak. *Elipsoida: Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 2(2), 85–91.
- Kovanič, L., Topitzer, B., Peřovský, P., Blišťan, P., Bindzárová Gergeľová, M., & Blišťanová, M. (2023). Review of photogrammetric and LiDAR applications of UAV. *Applied Sciences*, 13(11), 6732. <https://doi.org/10.3390/app13116732>
- Lin, Y.-C., Cheng, Y.-T., & Zhou, T. (2019). Evaluation of UAV LiDAR for mapping coastal environments. *Remote Sensing*, 11(24), 2893. <https://doi.org/10.3390/rs11242893>
- Moe, K. T., Owari, T., Furuya, N., Hiroshima, T., & Morimoto, J. (2020). Application of UAV photogrammetry with LiDAR data to facilitate the estimation of tree locations and DBH values for high-value timber species. *Remote Sensing*, 12(17), 2865. <https://doi.org/10.3390/rs12172865>
- Mohamed, A., Hassan, Q. K., & Dewan, A. (2024). Accuracy assessment of UAV-based LiDAR-derived DTM over complex terrain. *Remote Sensing*, 16(2), 315.
- Saparini, E., Prasetyo, Y., & Hani'ah, H. (2021). Pengaruh ketinggian terbang UAV LiDAR terhadap ketelitian DTM. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 101–110.
- Specht, O. (2025). Comparison of UAV-based LiDAR and photogrammetric systems for terrain detection. *Science of Remote Sensing*, 11, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100191>
- Tarmizi, A. F. (2019). Uji akurasi ketelitian peta orthophoto menggunakan pesawat UAV untuk tata guna lahan (Studi Kasus: Kecamatan Purworejo, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah). Institut Teknologi Nasional Malang.
- Wang, X., Li, M., & Yang, B. (2021). Comparison of UAV photogrammetry and LiDAR data in terrain modeling under forest canopies. *Remote Sensing*, 13(3), 412.
- Zhu, L., Zhang, Y., & Chen, H. (2022). Performance assessment of UAV-mounted LiDAR and RGB sensors for topographic mapping. *Sensors*, 22(7), 258.