

Pemantauan Kondisi Fisik Bendungan Sermo Bertipe Beton Melalui Model Tiga Dimensi Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Monitoring Physical Condition of Sermo Concrete-Type Dam Through Three-Dimensional Modeling Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Tiara Alda Megapratwi^{1*}, Maulana Yudinugroho¹, dan Rofika Dyah Maharani²

¹Teknik Geomatika, Fakultas Teknologi Mineral & Energi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Indonesia.

²Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak, Indonesia.

*Corresponding Author: tiaraalda14@gmail.com

Article Info:

Received: 29 - 10 - 2025

Accepted: 22 - 10 - 2025

Published: 10 - 12 - 2025

Kata kunci: 3D;
Bendungan; Identifikasi;
SfM; UAV

Keywords: 3D; Dam;
Identification; SfM; UAV

Abstrak: Bendungan merupakan infrastruktur penting dalam mengatur aliran air dan membentuk waduk, serta memiliki berbagai manfaat seperti irigasi air baku, PLTA, dan pengendalian banjir. Setiap bendungan memiliki resiko mengalami deformasi akibat pembebanan struktur dan beban air, yang jika melebihi batas toleransi maka dapat menyebabkan kerusakan serius dan dalam mengurangnya perlu dilakukan pemantauan untuk resiko *multidisaster* di Bendungan Sermo. Maka dilakukan pemantauan kesehatan bendungan untuk mendeteksi dan mengurangi kerusakan pada kondisi fisik Bendungan Sermo. Pemantauan kerusakan dilakukan menggunakan wahana UAV dalam pemotretan objek bendungan bertipe beton dengan rekonstruksi data foto udara menjadi model tiga dimensi. Penelitian ini dilakukan dengan metode pendekatan algoritma SfM-MVS untuk pemodelan tiga dimensi untuk dapat dilakukan identifikasi dan pengukuran kerusakan secara visual melalui model tiga dimensi. Akurasi pada model tiga dimensi dengan metode *Missing Line Measurement* (MLM) menghasilkan nilai RMSE 0,052 meter dan hasil kerusakan yang terdeteksi melalui model tiga dimensi yaitu terdapat lima rembesan di hilir, satu retakan, 11 endapan, dan dua vegetasi liar serta terdapat kerusakan yang tidak terdeteksi melalui model tiga dimensi yaitu dua pengelupasan dan satu retakan. Oleh karena itu, pendekatan ini efektif untuk pemantauan fisik Bendungan Sermo karena memberikan visual objek dan dapat menjangkau area yang sulit dilalui manusia sehingga berpotensi mendukung upaya mitigasi kerusakan.

Abstract: A dam is a crucial infrastructure for regulating water flow and forming reservoirs, offering various benefits such as irrigation, raw water supply, hydropower, and flood control. Each dam carries the risk of deformation due to structural loads and water pressure, which, if exceeding the tolerance limits, can lead to severe damage. To mitigate this, monitoring is essential to address multi-disaster risks at the Sermo Dam. Therefore, dam health monitoring is needed to detect and reduce damage of physical condition of the Sermo Dam. Damage monitoring utilizes UAVs to capture images of the concrete-type dam structure, followed by the reconstruction of aerial photo data into a three-dimensional model. This study uses a Structure from Motion–Multi-View Stereo (SfM–MVS) algorithmic approach for 3D modeling, enabling visual identification and measurement of damage through the 3D model. The accuracy of the 3D model, obtained using the Missing Line Measurement (MLM) method, resulted in an RMSE value of 0.052 meters, or 5.2 cm, with accuracy model LOD 3, allowing the model to be used for damage identification. The damages detected through the 3D model include five seepages on the downstream face, one crack, 11 sediment deposits, and two wild vegetation growth. However, some damages were not detected through the 3D model, including two instances of surface peeling and one crack.

How to Cite:

Megapratwi, T. A., Yudinugroho M., Maharani, R. D. (2025). Pemantauan Kondisi Fisik Bendungan Sermo Bertipe Beton Melalui Model Tiga Dimensi Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 5(2), 113-126. <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i2.15960>.

1. PENDAHULUAN

Bendungan sebagai infrastruktur yang menahan atau membatasi aliran air dan menaikkan muka air sehingga membentuk waduk, danau, atau tanggul sebagai pengelolaan sumber daya air, irigasi, penyediaan air baku, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), pengendali banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air (Aji et al., 2016; Ishak & Udin, 2024). Semua bendungan dapat berpotensi mengalami deformasi akibat pembebanan struktur, beban air waduk, dan beban lainnya, tetapi jika deformasi tersebut melebihi batas toleransi, dapat menimbulkan bahaya berupa retak, rembesan berlebih, rekahan hidrolis, berkurangnya atau hilangnya *freeboard* sehingga berpotensi menyebabkan limpasan hingga runtuhnya bendungan (Hutami et al., 2023). Bahaya yang terjadi pada bendungan telah terbukti pada kasus kerusakan tiga bendungan di Luwuk, Kabupaten Banggai pada tahun 2014 yang dilansir pada (Radar Sulteng, 2014) kerusakan terjadi akibat usia tua dan faktor alam, namun tidak ditindaklanjuti oleh pemerintah pusat. Hal ini menunjukkan adanya dampak serius dari kurangnya pemeliharaan dan pemantauan bendungan karena mengalami kebocoran dan amblesan yang dibiarkan terlalu lama tanpa penanganan teknis, sehingga mengganggu fungsi irigasi.

Oleh karena itu, pemantauan atau pemeliharaan yang tidak efektif dapat menyebabkan kegagalan atau kerusakan yang secara signifikan memengaruhi sekitar, sehingga sistem pemantauan kesehatan bendungan menjadi sangat penting untuk mendeteksi dan mengurangi dampak kerusakan dini (Zhao et al., 2024). Hal tersebut dapat terjadi pada Bendungan Sermo yang memiliki resiko *multidisaster* melalui pergerakan titik kontrol berdasarkan data pengamatan *Global Positioning System* (GPS) tahun 2015-2020 oleh Ulinuha et al (2021) yang menyatakan perlu pemantauan secara berkala dan analisis tambahan untuk mengurangi resiko *multidisaster*. Salah satunya dengan *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) yang memungkinkan untuk perekaman geometri objek dan menghasilkan informasi struktural, khususnya dalam kondisi fisik infrastruktur (Munir et al., 2024). Teknologi UAV untuk pemantauan dapat menyajikan kondisi dan karakteristik pada bendungan dengan menerapkan keilmuan geospasial dan mengidentifikasi kondisi fisik sehingga dapat menghindari kerusakan dan bencana alam akibat pembangunan bendungan (Zhao et al., 2024). Dalam pemantauan untuk melihat bentuk objek secara detail pada suatu bangunan yaitu dengan pemodelan tiga dimensi melalui metode perekaman fotogrametri jarak dekat atau *Close Range Photogrammetry* (CRP) (Jardini & Hariyanto, 2024). Berdasarkan penelitian oleh Zhao, et al (2021) yang melakukan pemodelan tiga dimensi pada bendungan bertipe beton dengan perekaman menggunakan UAV untuk pemantauan dan inspeksi bendungan dengan metode *Structure from Motion* (SfM) yang bekerja dengan mencocokkan fitur pada foto yang saling *overlap*. Hasil dari model tiga dimensi tersebut dilakukan identifikasi visual kerusakan dengan mengenali perubahan bentuk geometris dan perbedaan tekstur yang didapatkan jenis kerusakan berupa endapan, noda, retakan, hingga rembesan serta memberikan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi pemantauan dan inspeksi bendungan serta ditemukan beberapa kerusakan bendungan melalui model tiga dimensi.

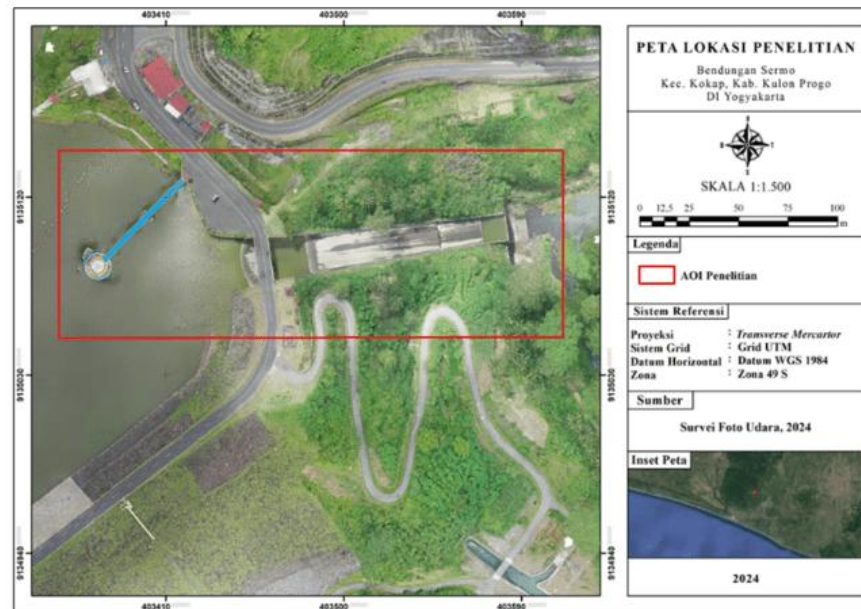
Pada penelitian ini melakukan pemantauan kondisi fisik Bendungan Sermo pada bagian bendungan bertipe beton yang didasarkan pada karakteristik permukaannya yang kaku dan memiliki tekstur visual yang jelas jika terdapat perubahan berupa kerusakan sehingga dapat lebih memudahkan pengidentifikasian kerusakan. Maka menggunakan wahana UAV yang menghasilkan data foto dapat dilakukan rekonstruksi foto udara menjadi model tiga dimensi melalui metode *Structure from Motion* (SfM) yang menghasilkan model tiga dimensi pada Bendungan Sermo untuk keperluan pemantauan dan inspeksi dalam membantu perawatan bendungan jangka panjang yang sesuai dengan kebutuhan dan pencegahan kerusakan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Data dan Lokasi

Data yang digunakan untuk model tiga dimensi pada bendungan yaitu data foto udara dengan akuisisi menggunakan wahana UAV. Data foto yang didapat dari pemotretan secara otomatis (*mission flight*) sebanyak 624 foto dan pemotretan manual (*free flight*) sebanyak 952 foto, sehingga total data foto

sebanyak 1576 foto pada lokasi penelitian yang dilaksanakan di Bendungan Sermo, Dusun Sermo, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi DIY. Bendungan Sermo merupakan salah satu infrastruktur yang dibangun dan dikelola oleh BBWS Serayu Opak yang bertujuan untuk mendukung suplai air pada sistem irigasi di wilayah Kalibawang dengan luas cakupan 7.152 hektar (BBWSSO, 2023).



Gambar 1. Area of Interest (AOI) Penelitian

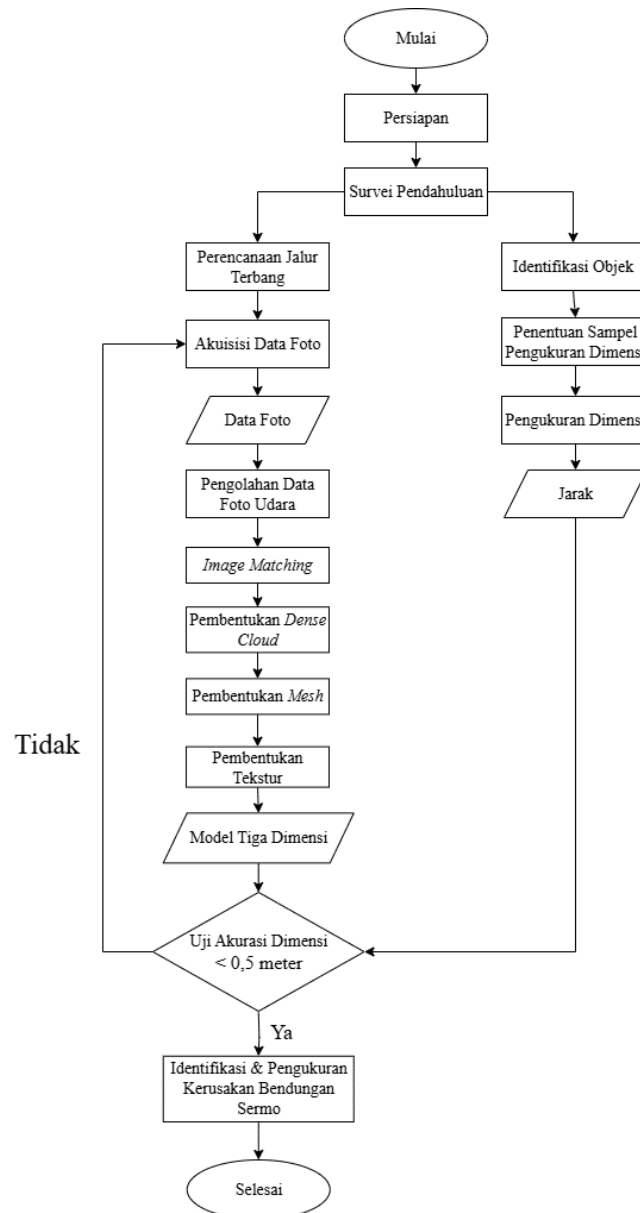
Fasilitas yang tersedia meliputi bendungan utama, bangunan pelimpah (*spillway*), terowongan pengelak, menara pengambilan, sarana mekanik dan elektrik, instrumen keamanan bendungan, instrumen hidrologi dan klimatologi, serta fasilitas pendukung seperti kantor, perumahan, dan mess. Pemilihan AOI yang berlokasi di Bendungan Sermo hanya pada bagian yang bertipe beton yaitu menara *intake*, bangunan pelimpah (*spillway*), dan Dinding Penahan Tanah (DPT) yang didasari pada karakteristik permukaan yang kaku dan dapat menunjukkan perubahan tekstur permukaan yang cukup kontras.

2.2 Metode

Penelitian dimulai dengan perencanaan dan persiapan UAV untuk akuisisi data foto. Foto udara yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* Agisoft Metashape untuk menghasilkan *point cloud* hingga menjadi model tiga dimensi dari kondisi fisik Bendungan Sermo, yang dapat digunakan untuk identifikasi kerusakan.

Proses akuisisi data foto dilakukan menggunakan wahana tanpa awak UAV DJI Mavic 2 Pro. Data yang didapatkan berupa data foto udara dengan pengambilan secara condong (*oblique*) agar kamera dapat memotret detail dari setiap sisi objek. Jika menggunakan pemotretan secara tegak dapat menjadikan foto kekurangan informasi bentuk dan dimensi objek, sehingga perlu pemotretan yang dapat mencakup berbagai sisi yaitu dengan cara pemotretan secara *oblique*.

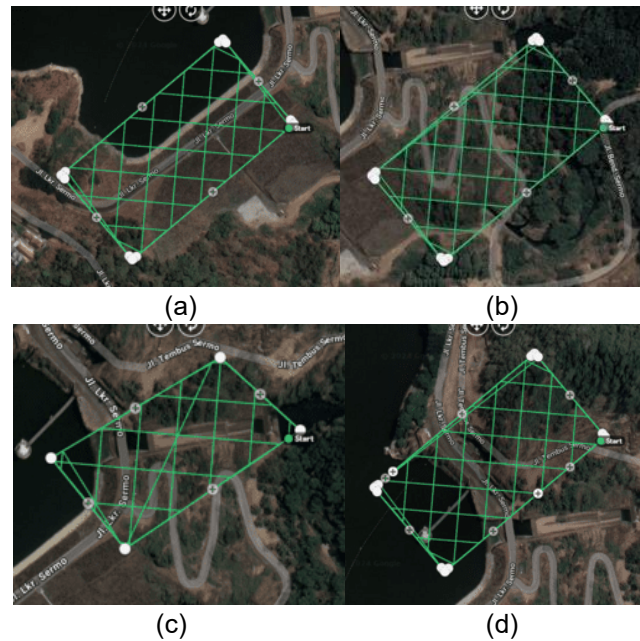
Kemudian cara pengambilan foto udara secara otomatis (*mission flight*) melalui aplikasi Drone Deploy dan manual (*free flight*) melalui aplikasi DJI GO 4. Pengambilan dengan *mission flight* menentukan tinggi terbang 55 meter yang disesuaikan dengan variasi ketinggian permukaan dengan nilai pertampalan berdasarkan PerBIG No. 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial yaitu pertampalan ke muka (*forward overlap*) $\geq 80\%$ dan pertampalan ke samping (*side overlap*) $\geq 60\%$. Berikut merupakan perencanaan jalur terbang melalui aplikasi Drone Deploy.



Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan

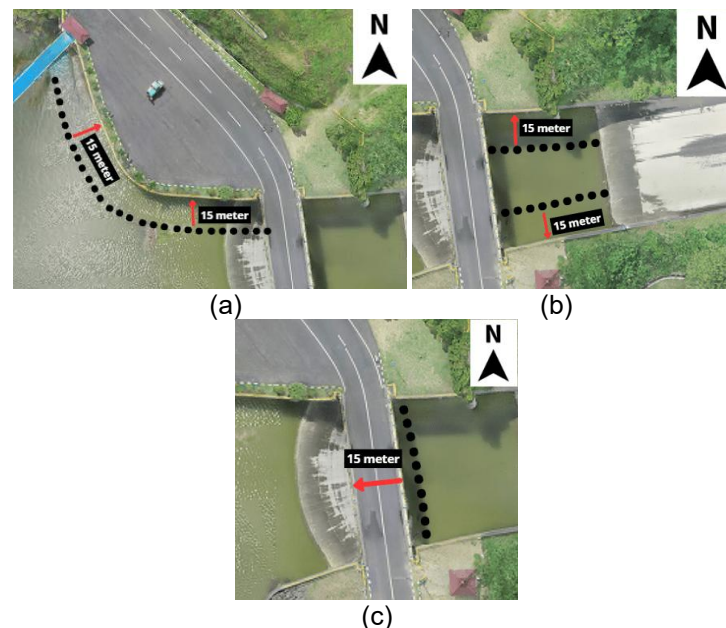


Gambar 3. UAV DJI Mavic 2 Pro



Gambar 4. Jalur Terbang (a) Pertama (b) Kedua (c) Ketiga (d) Keempat

Kemudian dilakukan penambahan data foto untuk meningkatkan kedetailan objek dengan penerapan fotogrametri jarak dekat. Pengambilan data foto secara manual atau *free flight* dengan aplikasi DJI GO 4 sebanyak tiga sesi. Berikut merupakan ilustrasi dari perencanaan penerbangan secara manual.



Gambar 5. Ilustrasi Pemotretan Manual (a) Sesi Pertama (b) Sesi Kedua (c) Sesi Ketiga

Kemudian data foto dilakukan proses pengolahan foto pada *software* Agisoft Metashape Pro. Pengolahan pada hasil foto-foto UAV meliputi *image matching*, pembentukan *dense cloud*, pembentukan *mesh*, dan pembentukan tekstur.

a. *Image Matching*

Pada tahap ini dilakukan pencocokan (*image matching*) dengan algoritma *Structure from Motion* untuk menentukan posisi kamera berdasarkan parameter orientasi interior dan eksterior. Pada parameter orientasi interior mencakup panjang fokus kamera, koordinat titik utama gambar, dan koefisien distorsi lensa (Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8, 2022). Selanjutnya,

dilakukan *filtering* dengan *gradual selection* dan manual untuk menghilangkan *noise* dan meningkatkan kualitas data *point cloud* untuk mendapatkan hasil akhir yang lebih detail.

b. Pembentukan *Dense Cloud*

Tahap selanjutnya membentuk *dense point cloud* dari *sparse point cloud* melalui pencocokan stereo dengan algoritma *Multi-View Stereo* dan mempertimbangkan parameter orientasi kamera hasil *bundle adjustment* yang menghasilkan *dense point cloud*. Proses ini dilakukan untuk menghasilkan *point cloud* yang lebih rapat dan detail, sehingga model 3D yang terbentuk tampak realistis dan jelas. *Dense point cloud* menjadi dasar representasi permukaan area secara tiga dimensi, menggambarkan kondisi permukaan secara menyeluruh.

c. Pembentukan *Mesh*

Dense point cloud kemudian diubah menjadi *surface model* dengan pembentukan *mesh* sehingga menampilkan kenampakan objek yang realistis sesuai warna dan tekstur asli objek. Pembentukan *mesh* dilakukan melalui metode *triangle meshing* atau *Triangulated Irregular Network (TIN)*, yaitu dengan menghubungkan tiga titik terdekat pada *point cloud* menjadi segitiga sebagai elemen permukaan. Hasilnya merepresentasikan model 3D Bendungan Sermo secara lebih jelas dan akurat, meskipun pemrosesan dengan kualitas tinggi memerlukan waktu dan ruang penyimpanan yang besar, tergantung kapasitas perangkat keras yang digunakan.

d. Pembentukan Tekstur

Tahap terakhir, model tiga dimensi dilakukan pembentukan tekstur dengan mengintegrasikan informasi tekstur dengan pencahayaan, bayangan, serta efek lainnya. Pembentukan tekstur ini membantu meningkatkan tampilan model tiga dimensi agar terlihat lebih realistis dan detail dengan sumber data berupa foto. Maka hasilnya merupakan kenampakan permukaan objek secara tiga dimensi yang lebih baik dan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Berdasarkan hasil akhir dari model tiga dimensi, dilakukan uji akurasi dimensi dengan perhitungan *Root Mean Square Error (RMS error* atau RMSE) yang digunakan untuk merepresentasikan sekumpulan perbedaan atau perubahan yang memiliki makna tertentu dengan nilai referensi yang sesuai yaitu sebagai berikut (Luhmann et al., 2020):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \hat{X})^2}{n}} \quad (1)$$

Keterangan:

X_i = Actual Measure

\hat{X} = Measured Value

n = Jumlah sampel

Pengambilan data sampel jarak untuk pengujian dimensi dilakukan menggunakan metode *Missing Line Measurement (MLM)* dengan *Total Station Reflectorless* untuk menghitung nilai jarak pergeseran antara kondisi di lapangan dengan hasil model dengan total 13 sampel menggunakan *simple random sampling* dengan pengambilan sampel dari populasi secara acak tanpa memperhatikan strata yang ada di populasi tersebut (Sugiyono, 2013). Uji akurasi dimensi mendapatkan nilai RMSE dengan Persamaan (1) yang akan dihitung jarak langsung (*actual measure*) dengan pengukuran dimensi model tiga dimensi (*measured value*).



Hasil uji akurasi model tiga dimensi diperoleh nilai RMSE sebesar 0,052 meter atau 5,2 cm. Nilai tersebut sesuai dengan pemilihan syarat akurasi pada LOD 3 sebesar kurang dari 0,5 meter (Gröger dkk., 2008). Maka, model tersebut dapat digunakan untuk melakukan identifikasi dan pengukuran kerusakan pada kondisi fisik Bendungan Sermo.

Tabel 1. Uji Akurasi

No	Actual Measure (\hat{X}) (m)	Measure Value (X_i) (m)	$X_i - \hat{X}$ (m)	$(X_i - \hat{X})^2$ (m)
1	19,98	19,9	0,00635	0,00635
2	11,051	11,1	0,00237	0,00237
3	7,808	7,8	0,00006	0,00006
4	14,343	14,3	0,00188	0,00188
5	7,453	7,43	0,00054	0,00054
6	11,609	11,7	0,00828	0,00828
7	55,556	55,5	0,0031	0,0031
8	25,418	25,4	0,00034	0,00034
9	25,636	25,7	0,0041	0,0041
10	6,053	6,05	0,00001	0,00001
11	7,69	7,62	0,00514	0,00514
12	2,641	2,62	0,00047	0,00047
13	18,32	18,3	0,00002	0,00002
Jumlah			0,032625	
Rerata			0,002718731	
RMSE			0,052141456	

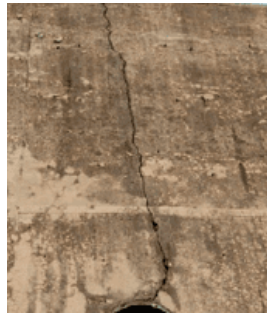
Pemantauan kondisi fisik bendungan mencakup berbagai jenis kerusakan seperti korosi, rembesan, retakan, pengelupasan, runtuh, dan kerusakan permukaan lainnya pada bagian puncak, saluran pelimpah, serta sisi hulu dan hilir bendungan. Inspeksi visual diperlukan untuk mendeteksi baik kerusakan yang tampak jelas maupun anomali kecil yang sulit dijangkau akibat keterbatasan tenaga kerja. Oleh karena itu, inspeksi manual konvensional dianggap tidak efisien dan berisiko tinggi (Zhao et al., 2024). Berikut merupakan jenis kerusakan yang dapat terjadi pada bendungan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi Klasifikasi Kerusakan Bendungan Berdasarkan Sumber Jurnal (Lee dkk., 2022; Munir dkk., 2024; Zhao dkk., 2021)

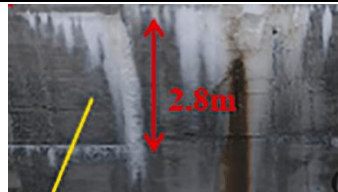
Gambar	Jenis Kerusakan
	Rembesan di hilir (<i>downstream</i>)
	Pembekuan & pencairan beton



Pengelupasan
(*spalling*)



Retakan (*cracks*)



Endapan



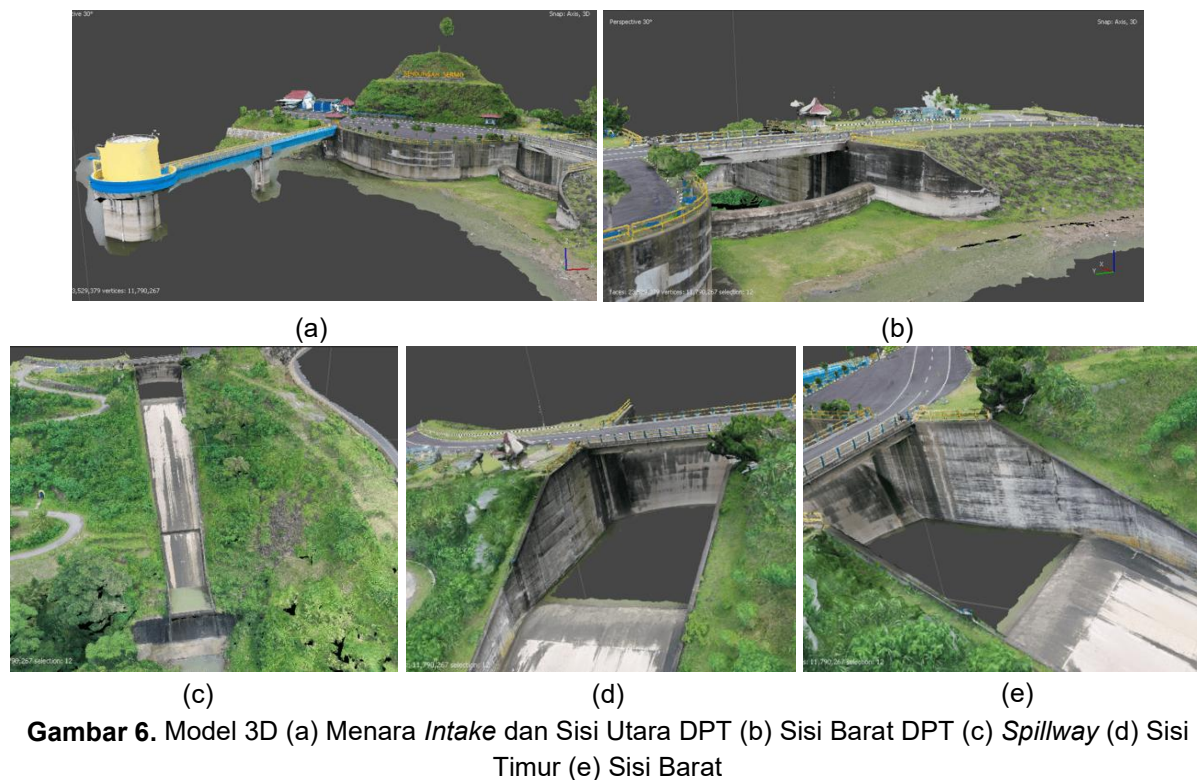
Vegetasi Liar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Model Tiga Dimensi

Model tiga dimensi Bendungan Sermo yang dihasilkan menggunakan wahana UAV dan pengolahan foto udara merepresentasikan kenampakan bendungan secara detail. Pemodelan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan secara visual berdasarkan tampilan model 3D. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar permukaan bendungan mampu menampilkan fitur-fitur penting yang diperlukan untuk mendeteksi potensi kerusakan, sebagaimana terlihat pada gambar hasil pemodelan di Gambar 6.

Namun demikian, pada model tiga dimensi masih terdapat objek yang berlubang atau tidak terbentuk dengan baik. Kondisi ini kemungkinan besar disebabkan oleh kurangnya cakupan foto pada area yang kurang dapat dijangkau oleh UAV saat pengambilan foto, khususnya pada bagian hilir *spillway* atau bagian kolam olak dengan perbandingan tampilan kondisi objek di lapangan.



3.2. Hasil Identifikasi Kerusakan

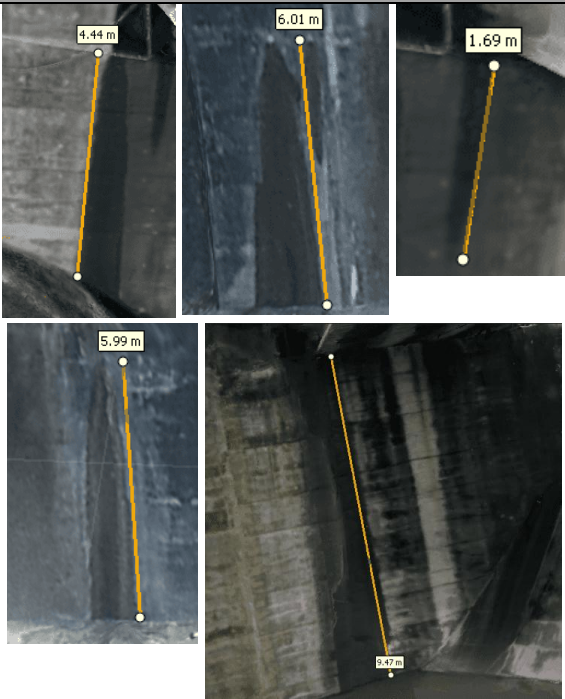
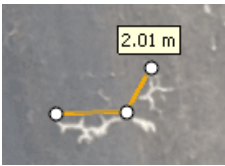
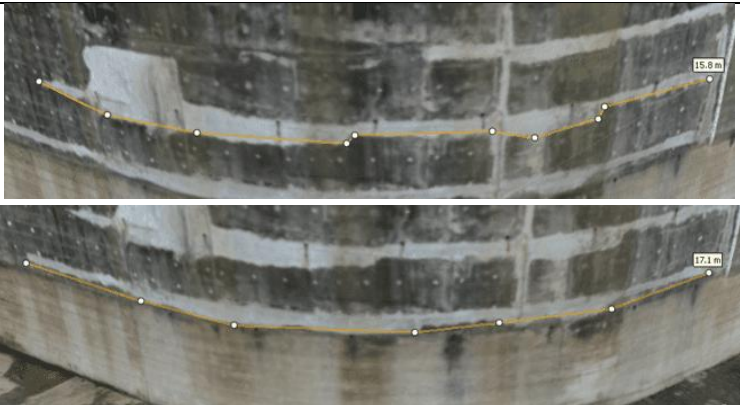
Berdasarkan hasil model tiga dimensi Bendungan Sermo dilakukan identifikasi adanya kerusakan yang dapat terjadi di bendungan tersebut sebagai pemantauan kondisi fisik pada Bendungan Sermo. Namun demikian, kemungkinan beberapa kerusakan yang bersifat mikro atau memiliki ukuran yang kecil mungkin tidak teridentifikasi hanya melalui model 3D. Identifikasi dilakukan dengan mengukur besarnya dimensi kerusakan. Jumlah kerusakan yang teridentifikasi yaitu sebagai berikut:

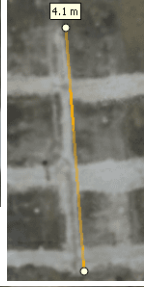


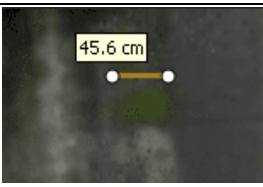

Tabel 3. Tabel Jumlah Kerusakan

Jenis Kerusakan	Jumlah Kerusakan
Rembesan di hilir (<i>downstream</i>)	5
Pembekuan dan pencairan beton	Tidak ada
Pengelupasan (<i>spalling</i>)	Tidak ada
Retakan (<i>cracks</i>)	1
Endapan	11
Vegetasi liar	2

Pengukuran dimensi kerusakan dapat dilakukan berdasarkan model tiga dimensi. Metode identifikasi dilakukan secara visual berdasarkan nilai geometri pada model tiga dimensi. Hasil ini merepresentasikan kerusakan yang teridentifikasi terhadap model dan pengukuran geometri kerusakan. Berikut merupakan hasil identifikasi kerusakan menggunakan model 3D yang terjadi pada Bendungan Sermo.

Tabel 4 Hasil Klasifikasi Kerusakan

Jenis Kerusakan	Dimensi Kerusakan
Rembesan di hilir (<i>downstream</i>)	
Pembekuan dan pencairan beton	Tidak Teridentifikasi
Pengelupasan (<i>spalling</i>)	Tidak Teridentifikasi
Retakan (<i>cracks</i>)	
Endapan	

	        
Vegetasi Liar	 

Berdasarkan identifikasi kerusakan secara visual menggunakan model tiga dimensi pada Bendungan Sermo menunjukkan bahwa tidak semua kerusakan dapat terdeteksi sesuai dengan klasifikasi kerusakan **Tabel 4**. Jenis klasifikasi kerusakan yang tidak terdeteksi yaitu pembekuan dan pencairan beton serta pengelupasan (*spalling*) yang menandakan bahwa tidak terdapat kerusakan tersebut. Melalui identifikasi secara langsung di lapangan yang dapat dijangkau oleh manusia, tidak teridentifikasi kerusakan pula pembekuan dan pencairan di bangunan Bendungan Sermo. Namun pada klasifikasi kerusakan pengelupasan (*spalling*) yang tidak teridentifikasi pada model tiga dimensi Bendungan Sermo

dengan dua pengelupasan yang terjadi. Kerusakan tersebut ditemukan di bagian *spillway* dan akses jalan seperti gambar berikut.



Gambar 8. Pengelupasan (*spalling*)

Pada kedua bagian bendungan yang teridentifikasi pengelupasan (*spalling*) yang tidak termodelkan pada model tiga dimensi dan memiliki ukuran yang kecil untuk dapat terekam oleh UAV. Meskipun sudah dilakukan pemotretan tambahan, kamera pada UAV masih tetap tidak mampu melakukan pemotretan tersebut, alhasil kerusakan yang terjadi tidak dapat termodelkan. Selain itu kondisi angin yang kencang menghambat dalam proses pemotretan yang lebih detail. Kemudian terdapat jenis kerusakan lainnya yang tidak termodelkan yaitu satu retakan. Retakan yang terjadi berada di DPT sisi selatan *spillway* yang memanjang dari bagian atas struktur secara vertikal pada dinding beton.



Gambar 9. Retakan (*Cracks*) pada DPT Sisi Selatan *Spillway*

Secara keseluruhan, jenis kerusakan yang paling banyak terjadi pada Bendungan Sermo yaitu endapan sesuai dengan identifikasi menggunakan model 3D. Hal ini karena objek dari pemodelan 3D memungkinkan pendeteksian perbedaan warna atau keberadaan objek lainnya (seperti vegetasi) yang kontras terhadap permukaan beton. Dengan terdapatnya kerusakan yang tidak dapat terdeteksi dengan model 3D, menunjukkan terdapat keterbatasan pemotretan foto udara menggunakan UAV dalam melakukan pemotretan dan keterbatasan pendekatan algoritma SfM-MVS dalam memodelkan kerusakan mikro atau detail kecil. Meskipun begitu, penggunaan model tiga dimensi dapat dengan sangat baik merepresentasikan kondisi fisik pada bangunan yang ada di Bendungan Sermo. Meskipun masih terdapat kekurangan, penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan UAV dengan metode pengolahan dengan pendekatan SfM-MVS memiliki potensi yang signifikan dalam menunjang proses pemantauan dan inspeksi kondisi fisik pada Bendungan Sermo yang lebih efisien.

4. KESIMPULAN

Model tiga dimensi pada Bendungan Sermo yang dihasilkan dari pemotretan UAV menunjukkan tingkat ketelitian yang sesuai dalam mewakili kondisi fisik berdasarkan hasil uji akurasi dimensi dengan metode *Missing Line Measurement* (MLM) menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,052 meter atau 5.2 cm yang sesuai dengan syarat akurasi LOD 3 yaitu kurang dari 0,5. Kemudian berdasarkan penggunaan wahana UAV yang diterapkan dalam pemantauan kerusakan fisik telah teridentifikasi melalui model tiga dimensi Bendungan Sermo yang bertipe beton. Jenis kerusakan tersebut meliputi rembesan di hilir (*downstream*), retakan (*cracks*), endapan, dan vegetasi liar.

Selain itu, terdapat kerusakan lainnya yang tidak teridentifikasi melalui model tiga dimensi yaitu dua pengelupasan (*spalling*) dan satu retakan (*cracks*). Jenis-jenis kerusakan tersebut dapat dikenali secara visual melalui model tiga dimensi berdasarkan kenampakan tekstur, bentuk, dan kontras. Masukan untuk penelitian selanjutnya yaitu penggunaan *hardware* berspesifikasi lebih tinggi dan penyimpanan internal yang banyak untuk penggunaan kualitas yang tinggi. Selain itu, untuk dapat meningkatkan metode dalam pengolahan model tiga dimensi dan menggunakan pendekatan algoritma dalam mendeteksi kerusakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian dan penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan yang berharga sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Apresiasi yang sebesar-besarnya kepada rekan – rekan yang telah membantu proses akuisisi data dan UPB (Unit Pengelola Bendungan) Sermo, BBWS Serayu Opak yang telah memberikan izin serta fasilitas pengambilan data di lapangan. Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak atas bantuan, dukungan, dan doa yang telah diberikan. Semoga karya ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik pemantauan bendungan di Indonesia.

Daftar Pustaka (Format APA)

- Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8. (2022).
- Aji, Y. W., Sudarsono, B., & Amarrohman, F. J. (2016). Pengolahan Data GPS Menggunakan Software GAMIT 10.6 dan Topcon Tools V.8 pada Pengukuran Deformasi Bendungan Jatibarang Tahun 2015. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 55–65. <https://doi.org/10.14710/JGUNDIP.2016.11504>
- Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak. (2023, November 9). *Bendungan Sermo*. <https://sda.pu.go.id/balai/bbwsserayuopak/informasi-publik/infrastruktur/bendungans/bendungan-sermo>
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., & Nagel, C. (2008). *OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. <http://www.opengeospatial.org/legal/>.
- Hutami, R. S., Nugroho, H., & Edhisono, S. (2023). Evaluasi Perilaku Deformasi Vertikal Bendungan Sermo Berdasarkan Data Instrumentasi Geoteknik. *Racic : Rab Construction Research*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.36341/RACIC.V8I1.2813>
- Ishak, N., & Udin, W. S. (2024). Mapping Embankment Dam Geomorphology Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Case Study of Bukit Kwong Dam, Kelantan, Malaysia. *BIO Web of Conferences*, 131, 04007. <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/202413104007>
- Jardini, A. R., & Hariyanto, T. (2024). Analisis Pemodelan Tiga Dimensi Candi Tikus Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat. *GEOID*, 19(2), 266–273. <https://doi.org/10.12962/GEOID.V19I2.1174>
- Lee, K. H., Ewane, E. B., Uchida, T., & Woo, C. S. (2022). Damage Types and Deterioration Characteristics of Check Dams Built on Mountain Streams in Southeast Korea. *Frontiers in Earth Science*, 9, 788029. <https://doi.org/10.3389/FEART.2021.788029/BIBTEX>
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2020). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*.

- Munir, M. D., Yusrizal, M. S., Eka, N. A., & Elvira, O. N. (2024). Evaluation of Sabo Infrastructure Using UAV/Drone Technology for Monitoring and Inspection Data (Case Study: Sabo Dam Bakalan, Cangkringan District, Sleman). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1343(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012020>
- Peraturan BIG Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial. (2021).
- Radar Sulteng. (2014, May 22). *Tiga Bendungan di Luwuk Rusak Parah*. <https://sulteng.bpk.go.id/tiga-bendungan-di-luwuk-rusak-parah/>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Penerbit Alfabeta.
- Zhao, S., Kang, F., & Li, J. (2024). Intelligent Segmentation Method for Blurred Cracks and 3D Mapping of Width Nephograms in Concrete Dams Using UAV Photogrammetry. *Automation in Construction*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105145>
- Zhao, S., Kang, F., Li, J., & Ma, C. (2021). Structural Health Monitoring and Inspection of Dams Based on UAV Photogrammetry with Image 3D Reconstruction. *Automation in Construction*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103832>