

Analisis Perbandingan Hasil Simulasi Genangan Rob Berdasarkan DEM Foto Udara dan Dem Lidar

Hefni Rae Rafsanjani Azzahra¹⁾ dan Ruli Andaru¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Corresponding Author: Hefni Rae Rafsanjani Azzahra (hefniraera17@mail.ugm.ac.id)

Abstract

Tidal flooding occurs due to fluctuations in sea level influenced by the gravitational forces of celestial bodies, particularly the moon and the sun. In Central Java, Indonesia, the Tambak Lorok area in Semarang frequently faces tidal floods, leading to considerable economic and social losses if not properly managed. To mitigate these risks, it is essential to simulate tidal runoff areas (inundation zones) using the latest Digital Elevation Model (DEM) data. High-resolution DEMs can be produced effectively through photogrammetry and LiDAR UAV techniques, but differences in accuracy and ground penetration between these methods can impact inundation simulations. The complex land cover in Tambak Lorok additionally affects height extraction and tidal flow distribution. This study compares tidal inundation simulations using DEM data from aerial photography and LiDAR. Employing neighborhood operations and iterative methods for simulation, seven sea-level rise scenarios were analyzed: 0.5 m, 0.75 m, 1 m, 1.25 m, 1.5 m, 1.75 m, and 2 m. The inundation areas were calculated, and a concordance ratio (CR) was established to assess the similarity of the results. The average CR across the scenarios was 92.31%, indicating consistency between the two data sources, although the 0.5 m scenario showed an underestimate from the aerial photo DEM compared to LiDAR. This variation was attributed to differing penetration levels, especially along the eastern riverbank of the study area.

Keywords: *Tidal inundation, aerial photo DEM, LiDAR DEM, neighborhood operation*

1. Pendahuluan

Banjir rob merupakan fenomena yang disebabkan oleh fluktuasi permukaan laut akibat pengaruh gaya gravitasi benda-benda luar angkasa seperti bulan dan matahari (Shidik dkk., 2019). Di Indonesia, khususnya di Jawa Tengah, salah satu kawasan yang sering dilanda banjir rob adalah kawasan Tambak Lorok, Semarang. Padahal, banjir rob menimbulkan banyak kerugian dalam sektor ekonomi dan sosial bagi masyarakat setempat apabila tidak segera ditangani dengan tepat.

Upaya mitigasi dari pemerintah dan masyarakat setempat sangat diperlukan, baik dari penanganan secara langsung maupun tidak langsung, misalnya melalui simulasi. Simulasi yang berfokus pada pemahaman karakteristik topografi terhadap sebaran banjir rob di area tersebut sangat diperlukan. Menurut (Minderhoud dkk., 2019), strategi pengelolaan bencana banjir rob melibatkan penilaian risiko berdasarkan model yang akurat. Hasil model yang akurat dipengaruhi oleh akurasi data utama yang digunakan. Pada konteks pembuatan simulasi banjir, data

utama yang digunakan adalah model elevasi berupa *Digital Elevation Model* (DEM) (Juliandri dkk., 2021).

Seiring perkembangan zaman, jenis DEM resolusi tinggi terkini yang mudah diperoleh dan praktis bisa diproduksi menggunakan teknik fotogrametri dan LiDAR UAV. Namun, kedua DEM tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga penggunaannya perlu dipertimbangkan dalam melakukan analisis spasial. Teknologi fotogrametri menggunakan foto udara untuk mengekstrak data tiga dimensi, yang terbatas oleh resolusi dan kualitas citra. Selain itu, teknologi fotogrametri memiliki kemampuan yang terbatas dalam area dengan tutupan vegetasi yang rapat. Di sisi lain, LiDAR menggunakan pulsa laser untuk mengukur jarak langsung ke permukaan objek sehingga titik dengan kerapatan tinggi dapat dihasilkan (Rogers dkk., 2020). LiDAR memiliki kemampuan penetrasi yang baik sehingga cocok digunakan untuk mendeteksi objek *ground* pada area dengan tutupan lahan yang kompleks, seperti kawasan Tambak Lorok Semarang. Kawasan Tambak Lorok Semarang merupakan kawasan pesisir yang cenderung landai namun terdapat banyak struktur kompleks di dalamnya. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi pola dan distribusi aliran rob yang terjadi. Oleh karena itu, pada penelitian ini disimulasikan genangan rob berdasarkan data DEM foto udara dan DEM LiDAR untuk melihat pengaruh perbedaan karakteristik kedua DEM terhadap hasil simulasi genangan.

2. Data dan Metodologi

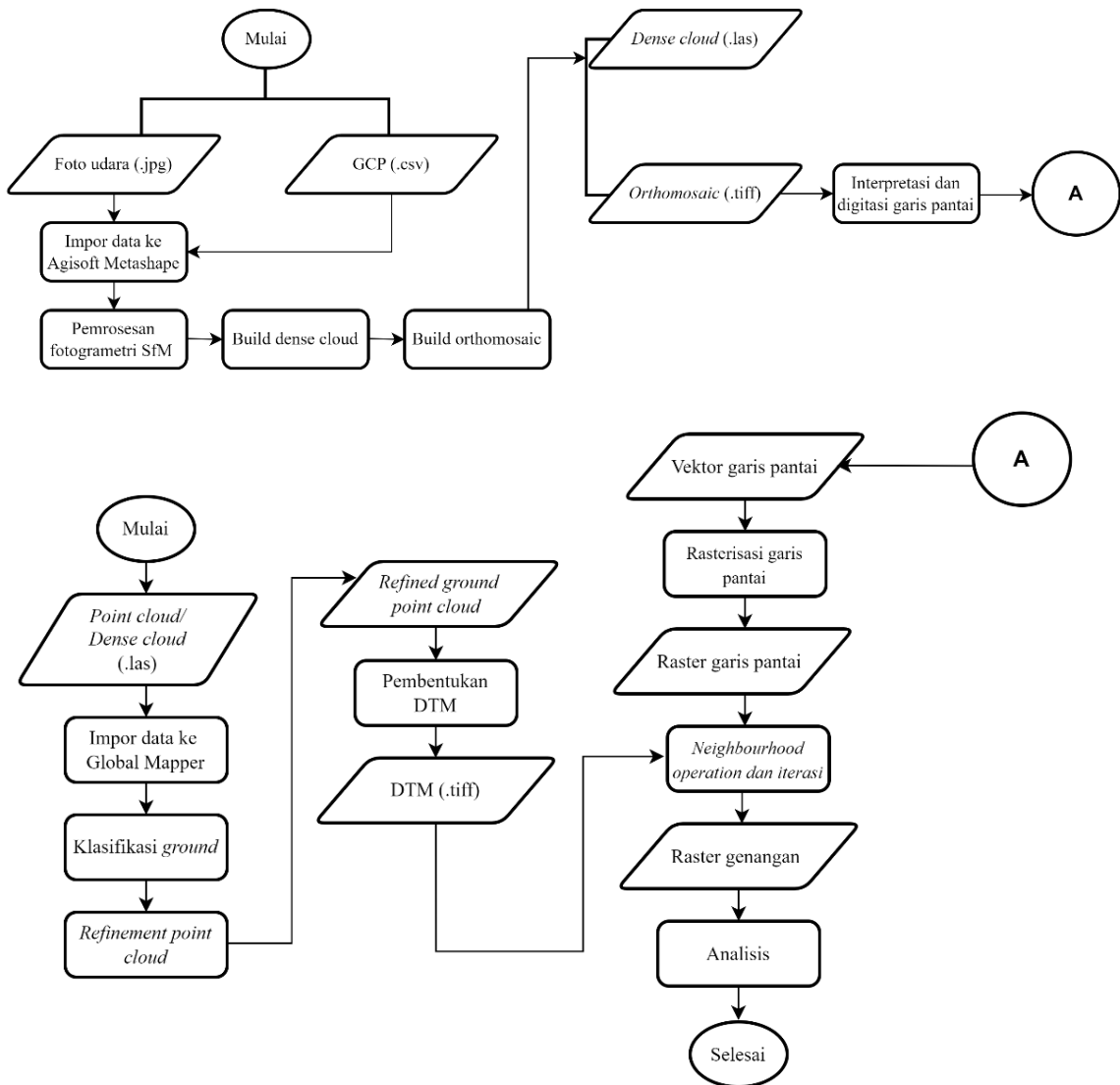
Penelitian ini dilakukan di sebagian kawasan Tambak Lorok, Kelurahan Tanjung Mas, Kecamatan Semarang Utara, Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 1. Lokasi penelitian dengan luas ± 300 Ha

Di sebelah utara wilayah ini berbatasan dengan Laut Jawa, sebelah selatan dengan Kelurahan Purwodinatan, sebelah barat dengan Kelurahan Bandarharjo, dan sebelah timur berbatasan dengan Kelurahan Kemijen. Adapun data yang digunakan terdiri dari: (1) Data foto udara (.jpg) dan data reference foto udara (.csv) yang diakuisisi bulan April tahun 2023, (2) Data point cloud UAV LiDAR (.las) yang diakuisisi bulan April tahun 2023.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 2. Secara garis besar, tahapan penelitian terbagi menjadi tiga bagian yaitu pengolahan data foto udara, pengolahan data las LiDAR, dan simulasi genangan rob. Pengolahan data foto udara dan data las LiDAR dilakukan hingga menghasilkan data *point cloud ground* yang sudah ter-*refined*. Kemudian, pengolahan dilanjutkan dengan pembuatan DTM untuk masing-masing data menggunakan *point cloud* yang bersifat final. DTM tersebut akan digunakan sebagai *input* dalam pemrosesan *neighbourhood operation* di perangkat lunak ILWIS bersamaan dengan data garis pantai. Hasil pemrosesan dari ILWIS akan diolah kembali untuk kemudian diperoleh nilai luasan genangan, vektor genangan, dan raster genangan. Data tersebut akan digunakan sebagai analisis hasil dari penelitian.



Gambar 2. Lokasi penelitian dengan luas ±300 Ha

3. Hasil dan Pembahasan

Area of Interest (AOI) pada penelitian ini ditentukan dengan luas 2.945.627 m². Dengan parameter luas AOI yang sama, hasil genangan untuk masing-masing skenario dihitung luas sebaran genangannya.

Kemudian, dilakukan perhitungan *concordance ratio* untuk mengukur kemiripan antara hasil simulasi DTM foto udara dan DTM LiDAR. *Concordance ratio* dihitung dengan membagi daerah perpotongan (*intersection*) dengan data referensi (Andaru dkk., 2022).

Tabel 1. Luas genangan

No	Skenario (m)	Luas Genangan (m ²)		Intersection (m ²)	Concordance ratio (%)
		DTM foto udara	DTM LiDAR		
1	0,5	1.443.384,64	1.449.033,61	1.287.294,46	88,84
2	0,75	1.857.017,45	1.827.367,89	1.726.875,36	94,50

No	Skenario (m)	Luas Genangan (m ²)		Intersection (m ²)	Concordance ratio (%)
		DTM foto udara	DTM LiDAR		
4	1,25	2.275.581,30	2.451.959,99	2.209.470,74	90,11
5	1,5	2.466.196,58	2.671.517,23	2.428.630,67	90,91
6	1,75	2.647.967,91	2.778.685,66	2.613.911,14	94,07
7	2	2.786.768,22	2.833.345,71	2.762.186,35	97,49
Rata-rata					92,31

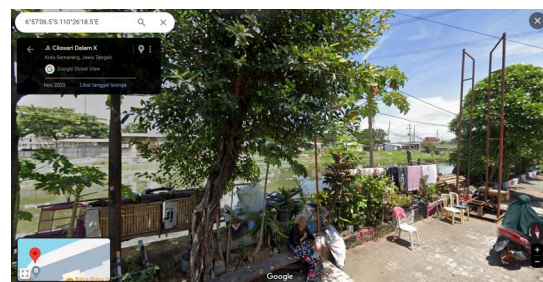
Hasil genangan untuk masing-masing skenario dihitung luas sebaran genangannya. Kemudian, dilakukan *intersect* antara kedua hasil simulasi genangan untuk menghitung *concordance ratio* (CR, yaitu nilai yang menggambarkan kesamaan dua data). Perbedaan nilai *concordance ratio* antar skenario dipengaruhi oleh zona interseksi hasil simulasi genangan antar kedua data. Semakin nilai interseksi mendekati data referensi (LiDAR), semakin besar nilai *concordance ratio* yang dihasilkan (mendekati 100%). Besaran nilai interseksi berkaitan dengan beberapa area yang menunjukkan hasil *underestimate* (kurang dari perkiraan) dan *overestimate* (melebihi perkiraan). Perhitungan luasan *inundation zone* berdasarkan tujuh skenario menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda untuk kedua sumber data. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai CR yang mencapai rata-rata 92,31%. Nilai CR terendah adalah pada simulasi 0,5 m di mana terjadi *underestimate* hasil simulasi limpasan menggunakan DEM foto udara terhadap simulasi menggunakan DEM LiDAR.



Gambar 3. Limpasan di area permukiman timur

Seperti yang terlihat pada gambar 3, area tersebut menjadi akhir dari interseksi antara kedua hasil simulasi. Kemudian, simulasi berbasis LiDAR meluas sampai pada area permukiman di sisi selatan.

Peninjauan dilakukan pada tepian sungai sisi timur AOI (6° 57' 06.4928" S, 110° 26' 18.4879" E) dengan bantuan *Google Street View*.



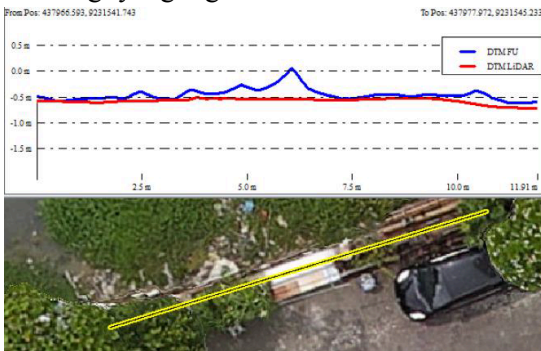
Gambar 4. Tampilan *street view* tepi sungai permukiman timur (1) Sumber: (*Google Street View*, 2023)



Gambar 5. Tampilan *street view* tepi sungai permukiman timur (2) Sumber: (*Google Street View*, 2023)

Pada gambar 4 dan 5, sepanjang tepian sungai merupakan selokan, vegetasi, dan beberapa barang warga yang tersimpan di

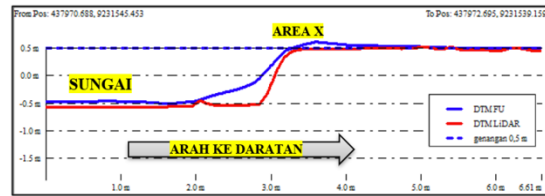
area tersebut. Objek yang beragam tersebut mempengaruhi tingkat penetrasi kedua teknologi yang digunakan.



Gambar 6. Profile path di dekat tepian sungai

Fenomena tersebut dapat ditinjau melalui *profile path* pada gambar 6. Objek-objek di sepanjang tepian sungai mempengaruhi hasil ekstraksi ketinggian antara foto udara dan LiDAR. DTM foto udara terlihat tidak dapat menetrasi *ground* yang tertutup objek-objek di atasnya. Sedangkan, DTM LiDAR lebih

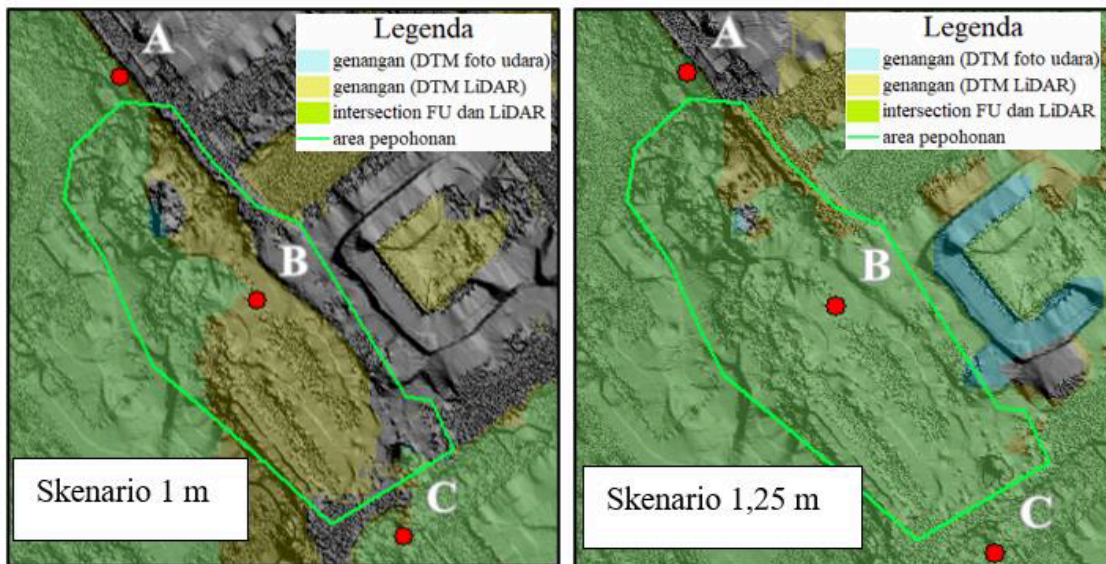
merepresentasikan *ground*. Perbedaan tingkat penetrasi antara data foto udara dan LiDAR mempengaruhi data ketinggian yang dihasilkan, seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Profile path area sungai ke arah daratan

Pada area X, DTM foto udara memiliki ketinggian di atas skenario 0,5 m sehingga menyebabkan limpasan tidak berlanjut ke sisi selatan seperti pada LiDAR.

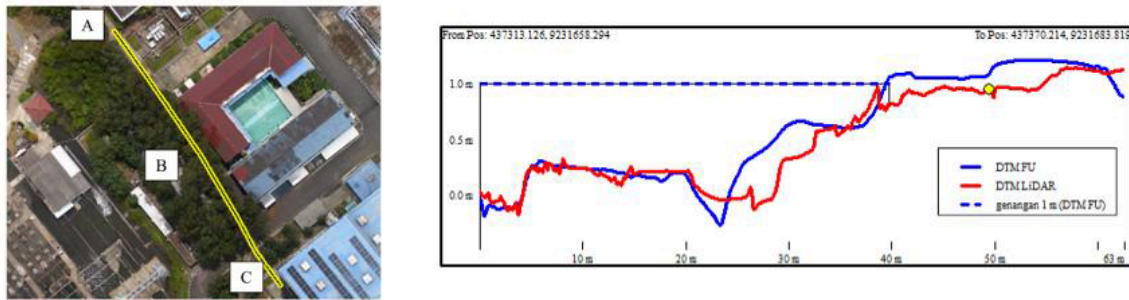
Selain itu, pengaruh tutupan lahan yang menyebabkan area tidak terinterseksi juga terjadi di area lain. Gambar 8 berikut ini memperlihatkan sebaran genangan rob di sekitar area bervegetasi.



Gambar 8. Limpasan di bawah pepohonan

Pada skenario 1 m, simulasi berbasis DTM LiDAR menunjukkan limpasan yang lebih luas daripada simulasi DTM foto udara (gambar 8). Hal tersebut menandakan hasil simulasi berbasis DTM foto udara *underestimate* terhadap LiDAR. Kemudian,

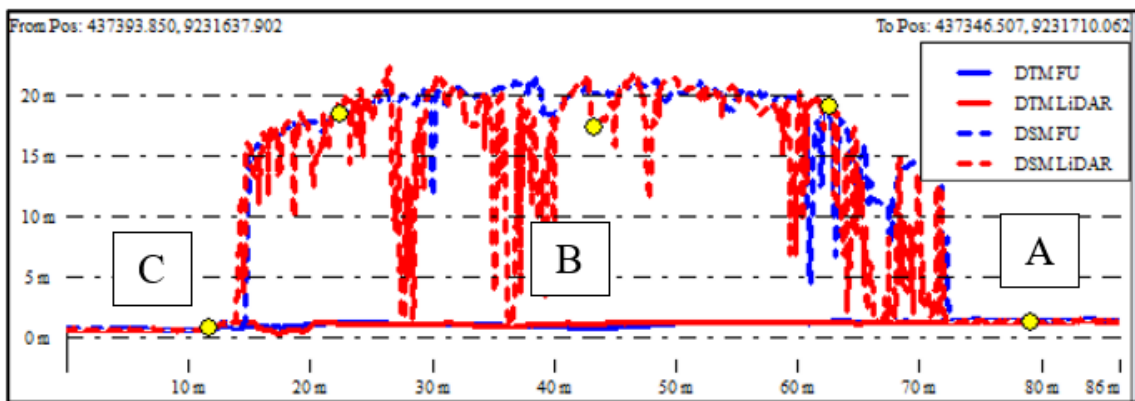
skenario 1,25 m menunjukkan limpasan simulasi berbasis DTM foto udara yang mulai meluas sehingga bertumpang tindih dengan simulasi berbasis LiDAR. Garis *profile path* kemudian ditarik untuk melihat fenomena perbedaan ketinggian yang menyebabkan perbedaan limpasan (Gambar 9).



Gambar 9. Profile path genangan area pepohonan (skenario 1 m)

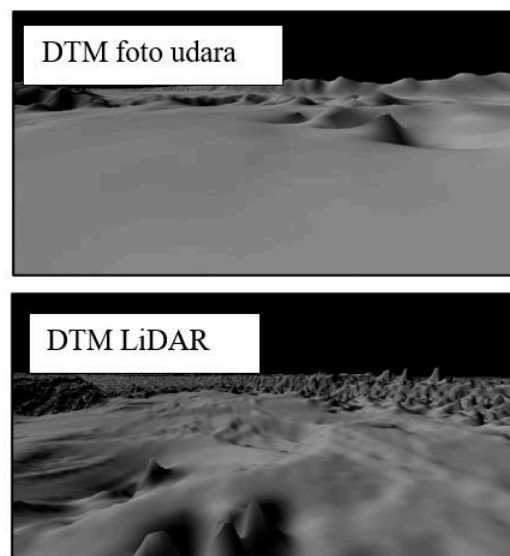
Profile path menunjukkan DTM foto udara lebih tinggi sehingga menghalangi aliran air pada area tersebut. Sedangkan, DTM LiDAR di sekitar titik B memiliki ketinggian kurang dari skenario 1 m sehingga

Area tersebut dapat tergenang. Garis profile path pada gambar 10 menunjukkan perbedaan model elevasi yang dihasilkan kedua data.



Gambar 10. Perbandingan profile path antar model elevasi

A dan C merupakan area terbuka (tanpa tutupan vegetasi). Kemudian, B merupakan bagian berkanopi vegetasi. Garis putus-putus berwarna merah merupakan data surface yang dihasilkan dari LiDAR. Sedangkan, garis putus-putus berwarna biru merupakan surface dari data foto udara. DSM yang dihasilkan LiDAR membuktikan keandalan teknologi tersebut dalam menetrasi kanopi. Sedangkan, DSM foto udara hanya mencapai permukaan kanopi. Fenomena tersebut menyebabkan tingkat kedetailan ground antar kedua data di bawah kanopi berbeda. Gambar 11 menunjukkan DTM LiDAR yang lebih detail daripada DTM foto udara.



Gambar 11. DTM pada bagian bawah pepohonan

Interpolasi nilai ketinggian di bawah kanopi pada data foto udara didasarkan pada *point cloud* bagian A dan C atau area terbuka di sekitarnya (gambar 10) karena di bagian B tidak terdapat *point cloud*. Sedangkan, pada data LiDAR, di bagian B atau area yang tertutup kanopi terdapat *point cloud* sehingga turut terinterpolasi. Tingkat kedetailan DTM berpengaruh pada hasil persebaran genangan rob yang disimulasikan.

Secara umum, LiDAR dapat mengekstrak banyak titik dalam waktu singkat. Sedangkan, foto udara memotret permukaan bumi dari udara di mana pengukurannya berdasarkan deteksi cahaya yang dipantulkan dari objek di bawahnya. Hal tersebut seringkali menyebabkan jarak antar titik lebih besar sehingga hasilnya tidak rapat. Kemudian, teknologi fotogrametri tidak cukup baik dalam mengukur objek *ground* yang tertutup kanopi, seperti misalnya pada pepohonan. Tetapi, LiDAR memiliki kemampuan penetrasi yang baik pada vegetasi karena sifat sinar laser yang dapat menjangkau sebagian besar medium.






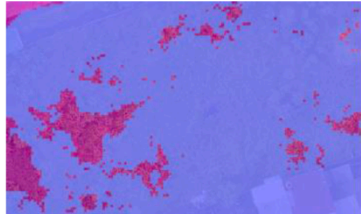
Selain itu, teknologi LiDAR memiliki performa dalam menghasilkan *first return* dan *second return*. *Return* pertama pada LiDAR merupakan pulsa laser yang pertama kali merekam permukaan dan dipantulkan kembali ke sensor. Hasil dari *first return* biasanya adalah objek terdekat, yang dalam

hal ini yaitu bagian berkanopi. Sedangkan, *second return* merupakan pulsa laser yang dipancarkan dan dipantulkan kembali ke sensor setelah pulsa laser yang pertama mencapai objek pertama. Hal tersebut merupakan keistimewaan pada teknologi LiDAR di mana objek atau struktur yang berada di lapisan bawah dapat dijangkau oleh laser.

Sedangkan, pada data foto udara, *point cloud* hanya memiliki satu *return*. Hal tersebut disebabkan oleh prinsip perekaman yang merepresentasikan permukaan dari sudut pandang atas dengan satu eksposur. Dalam satu eksposur, kamera hanya dapat merekam informasi visual satu kali. Satu eksposur berarti bahwa kamera merekam objek yang terlihat pada saat itu sehingga akan menjadi satu foto.

Pada analisis hasil simulasi genangan rob, peninjauan juga dilakukan pada area terbuka tanpa objek, minim objek, dan *low vegetation*. Tidak seperti area dengan kanopi, area terbuka cenderung menunjukkan sebaran yang berinteraksi dengan baik antara kedua hasil genangan. Hal tersebut terjadi karena tidak adanya atau minimnya penghalang fisik seperti bangunan atau vegetasi tinggi sehingga sinar laser dapat langsung merekam *ground*. Seperti yang terlihat pada tabel 2, untuk semua skenario, area lapang tanpa objek maupun dengan objek, keduanya cenderung berinteraksi dengan baik.

Tabel 1. Interseksi area terbuka

Legenda				
			genangan (DTM foto udara)	
			genangan (DTM LiDAR)	
			intersection FU dan LiDAR	
Area terbuka tanpa objek	Area terbuka minim objek	Area <i>low vegetation</i>		
				

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

1. Pada kegiatan aplikatif ini telah dihasilkan simulasi genangan rob menggunakan data DEM foto udara dan DEM LiDAR dengan tujuh skenario ketinggian genangan yaitu 0,5 m; 0,75 m; 1 m; 1,25 m; 1,5 m; 1,75 m; dan 2 m.
2. Perhitungan luasan *inundation zone* berdasarkan tujuh skenario menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda untuk kedua sumber data. Hasil perbandingan ditunjukkan oleh nilai CR yang mencapai rata-rata 92,31%. Nilai CR terendah adalah pada simulasi 0,5 m di mana terjadi *underestimate* hasil simulasi limpasan menggunakan DEM foto udara terhadap simulasi menggunakan DEM LiDAR. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh perbedaan tingkatan penetrasi dari data foto udara dan LiDAR, terutama di tepian sungai sisi timur area kajian studi.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang dengan tulus membantu dan memberikan semangat serta doa. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan rahmat dan karunia-Nya untuk semua pihak yang terlibat tersebut. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Maka dari itu, penulis memohon maaf atas ketidaksempurnaan dalam penulisan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca. Terima kasih.

Daftar Pustaka

Andaru, R., Rau, J. Y., & Setya Prayoga, A. (2022). Determination of potential

secondary lahar hazard areas based on pre-and post-eruption UAV DEMs: Automatic identification of initial lahar starting points and supplied lahar volume. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 115(1), 103096. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103096>

Arfaini, J.-., & Handayani, H. H. (2016). Analisa Data Foto Udara untuk DEM dengan Metode TIN, IDW, dan Kriging. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17382>

Coastal and Marine Geology Program. (2014). Hydrologic enforcement of lidar DEMs. U.S. Geological Survey Fact Sheet, 6932. <http://dx.doi.org/10.3133/fs20143051>

Dong, P., & Chen, Q. (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. CRC Press.

Hashemi-Beni, L., Jones, J., Thompson, G., Johnson, C., & Gebrehiwot, A. (2018). Challenges and opportunities for UAV-based digital elevation model generation for flood-risk management: A case of princeville, north carolina. *Sensors (Switzerland)*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113843>

Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155–168. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3>

Iqbal, A., Mondal, M. S., Veerbeek, W., Khan, M. S. A., & Hakvoort, H. (2023). Effectiveness of UAV-based DTM and satellite-based DEMs for local-level flood modeling in Jamuna floodplain. *Journal of Flood Risk Management*, 16(4), 1–19. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12937>

- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Marcial-Pablo, M. D. J., & Enciso, J. (2021). Digital terrain models generated with low-cost UAV photogrammetry: Methodology and accuracy. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/ijgi10050285>
- Juliandri, F., Andreas, H., Pradipta, D., Geodesi, K. K., & Barat, J. (2021). Geology perbandingan hasil pemodelan bahaya banjir rob di jakarta menggunakan demnas, dem global, dan dem lidar. 934–948. <https://doi.org/10.5614/bull.geol.2022.6.2.2>
- Leitão, J. P., Moy De Vitry, M., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1637–1653. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1637-2016>
- Li, X., & Guo, Y. (2018). Application of LiDAR technology in power line inspection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 382(5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/382/5/052025>
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Erkbol, H., Adrian, J., Newcomb, M., Lebauer, D., Pauli, D., Shakoor, N., & Mockler, T. C. (2020). Uav-based sorghum growth monitoring: A comparative analysis of lidar and photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5(3), 489–496. <https://doi.org/10.5194/isprs-Annals-V-3-2020-489-2020>
- Mandaya, I. (2020). Pemanfaatan Teknologi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) untuk Identifikasi dan Klasifikasi Jenis - Jenis Kerusakan Jalan. 14(3), 162–172. https://www.researchgate.net/publication/303824023_Exploring_the_use_of_3D_GIS_as_an_analytical_tool_in_archaeological_excavation_practice
- Marfai M. A. (2006). Analisis Neighbourhood Operations Dalam Teknologi Sistem Informasi Geografis Berbasis Raster Dan Aplikasinya Untuk Pemetaan Genangan Pasang Air Laut. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2006 (SNATI 2006)*, 2006(Snati), 7–12.
- Minderhoud, P. S. J., Coumou, L., Erkens, G., Middelkoop, H., & Stouthamer, E. (2019). Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments. *Nature Communications*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11602-1>
- Nex, F., Armenakis, C., Cramer, M., Cucci, D. A., Gerke, M., Honkavaara, E., Kukko, A., Persello, C., & Skaloud, J. (2022). UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (Vol. 184). <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006>
- Prahasta. (2015). *Pengolahan Data Sistem LiDAR*. Informatika.
- Rasyid, M., & Sahaja, M. (2022). Evaluasi Standar Operasional Prosedur (SOP) Akuisisi LiDAR PT. Hutama Karya Terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI). 2–9.
- Riel, S. Van. (2016). Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice. June.

- <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4738.2643>
- Rogers, S. R., Manning, I., & Livingstone, W. (2020). Comparing the spatial accuracy of digital surface models from four unoccupied aerial systems: Photogrammetry versus lidar. *Remote Sensing*, 12(17), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs12172806>
- Shidik, A. N., Utari, D., & Atmika, M. (2019). Analisis Faktor Penyebab Banjir Rob dan Strategi Penanggulannya dengan Pembangunan Breakwater di Wilayah Semarang Utara, Jawa Tengah, Indonesia. In *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-12* (pp. 559–575).
- Sitompul, N. I. A. (2021). Aplikasi drone untuk mendeteksi daerah genangan banjir rob (studi kasus: kelurahan bagan deli, kecamatan medan belawan). 1–13.
- Štular, B., & Lozić, E. (2020). Comparison of filters for archaeology-specific ground extraction from airborne LiDAR point clouds. *Remote Sensing*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/RS12183025>
- Torresan, C., Berton, A., Carotenuto, F., Chiavetta, U., Miglietta, F., Zaldei, A., & Gioli, B. (2018). Development and performance assessment of a low-cost UAV laser scanner system (LasUAV). *Remote Sensing*, 10(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs10071094>
- Triana, Y. T., & Hidayah, Z. (2020). Kajian Potensi Daerah Rawan Banjir Rob Dan Adaptasi Masyarakat Di Wilayah Pesisir Utara Surabaya. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(1), 141–150. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i1.6961>
- Wubben, J., Morales, C., Calafate, C. T., Hernández-Orallo, E., Cano, J. C., & Manzoni, P. (2022). Improving UAV Mission Quality and Safety through Topographic Awareness. *Drones*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/drones6030074>
- Yulianto, F. (2011). Model Spasial Dampak Penurunan Muka Tanah dan Genangan Pasang Air Laut (Rob) di Wilayah Pesisir Jakarta. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 17(1), 17. <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/article/view/177>
- Yulianto, F., & Marfai, M. A. (2009). Model Simulasi Luapan Banjir Sungai Ciliwung Di Wilayah Kampung Melayu – Bukit Duri Jakarta , Indonesia. *Penginderaan Jauh*, 6(January), 43–53.
- Zainuri, M., Helmi, M., Novita, M. G. A., Kusumaningrum, H. P., & Koch, M. (2022). Improved Performance of Geospatial Model to Access the Tidal Flood Impact on Land Use by Evaluating Sea Level Rise and Land Subsidence Parameters. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 1–11. <https://doi.org/10.12911/22998993/144785>
- Zhou, Q. (2017). Digital Elevation Model and Digital Surface Model. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, October, 1–17. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0768>