



PERBANDINGAN ELEVASI DASAR SUNGAI BERDASARKAN HASIL ANALISIS PADA DEM DRONE, DEMNAS dan DEM SRTM

Zufrimar¹⁾, Edwina Zainal²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta
E-mail: zufrimar@bunghatta.ac.id, edwinazainal@bunghatta.ac.id²⁾

ABSTRAK

Model elevasi digital (DEM) yang tepat sangat penting untuk memprediksi penampang sungai pada daerah aliran sungai. Perkembangan teknologi kendaraan udara tak berawak (UAV) telah banyak menjadi perhatian di berbagai bidang penelitian untuk mendapatkan informasi terbaru dari suatu daerah, karena mobilitas, resolusi tinggi dan biaya rendah sehingga dapat menjadi alternatif kompetitif untuk menghasilkan peta dengan georeferensi yang tepat. Dalam penelitian ini, penulis mengevaluasi akurasi dari DEM yang dihasilkan oleh citra UAV dengan membandingkan terhadap DEMNAS, DEM SRTM dan pengukuran topografi. Penulis melakukan analisis regresi pada elevasi dasar sungai Kuranji Padang, dimana elevasi dasar sungai tersebut merupakan hasil dari analisis masing-masing DEM. Penulis menemukan hasil analisis elevasi dasar sungai dari DEMDrone sebanding dengan DEMNAS dimana nilai uji korelasi (r) masing-masingnya adalah 0,992 dan 0,954. Hasil analisis oleh DEMSRTM mempunyai rentang variasi data yang lebih lebar dibandingkan dengan hasil analisis DEMDrone dan DEMNAS.

Kata kunci : UAV, Digital Elevation Model, DEMNAS

ABSTRACT

Digital elevation models (DEMs) are essential to accurately predict river cross-section in the watershed. Technological developments of unmanned aerial vehicles (UAVs) or drone has received a lot of attention in various research field to get the latest information from the area, because of its mobility, high resolution, and low cost, so it can be a competitive alternative to produce maps with precise georeferences. However, this has not been tested so far. In this study, We evaluated the accuracy of the DEMs generated from UAV imagery by comparing it to DEMNAS, DEM SRTM, and direct topographic measurements. We performed regression analysis on the river bed elevation of the Kuranji River Padang, where the river bed elevation is the result of the analysis of each DEM. The result found that for river bed elevation of the DEM Drone performed competitively to DEMNAS with the correlation test value (r) were 0,992 and 0.954, respectively. The result of the DEM SRTM analysis has a wider range of data variations than the DEM Drone and DEMNAS.

Keyword: UAV, Digital Elevation Model, DEMNAS

1. PENDAHULUAN

Data geometris sungai sangat penting, tidak hanya untuk perencanaan perlindungan banjir tetapi juga berguna untuk pengelolaan sungai. Terlepas dari pentingnya survei konvensional di sungai yang relatif besar telah dilakukan untuk memberikan informasi terbaru dari penampang sungai, biaya yang dibutuhkan survei untuk pemetaan juga sangat besar, terutama pada sungai dengan skala menengah dan kecil karena jumlah dan panjang bujurnya cukup besar [1]. Oleh karena itu, kebutuhan untuk mengembangkan metode pengukuran baru untuk survei sungai sangat dibutuhkan untuk menghasilkan peta dengan georeferensi yang tepat.

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) telah banyak menjadi perhatian di berbagai bidang penelitian untuk mendapatkan informasi terbaru dari suatu daerah, karena mobilitas tinggi, resolusi tinggi dan biaya rendah [2, 3]. Selain itu, UAV dapat dipahami sebagai alat pengukuran fotogrametri yang mempunyai berbagai aplikasi baru dalam domain jarak dekat dan menggabungkan fotogrametri udara dan terestrial. UAV fotogrametri menggambarkan tentang platform pengukuran fotogrametri yang dioperasikan oleh remote control, semi otonom, otonom, semua tanpa dikendalikan oleh awak [4], dimana platform tersebut diklasifikasikan ke dalam system fixed dan rotary winged serta berdasarkan berat dan kemampuan daya tahan [5].

Saat ini UAV dengan fungsi navigasi otonom telah mencapai tingkat keandalan praktis dan menjadi platform yang berguna untuk akuisisi data spasial. Selain itu, UAV digunakan untuk mengakses dan mengevaluasi bentuk dan struktur fitur dalam daerah tangkapan sungai dengan jarak jauh dan proses hidrologi seluruh skala spasial, temporal, spektral dalam peramalan hidrologi [6]. Produk yang paling populer adalah data Digital Elevation Model (DEM). DEM adalah visualisasi ketinggian dan kemiringan wilayah di permukaan bumi dengan format tiga dimensi yang disimpan dalam format digital berupa bentuk raster berbasis pixel atau vektor yang berbasis poligon, sehingga dapat diterapkan untuk menggambarkan geometri daerah aliran sungai [7], serta dapat menampilkan informasi tentang morfologi permukaan tanah guna perkiraan hidrologi [8]. Namun, ada beberapa laporan yang menilai keakuratannya

berbeda dari kondisi nyata, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi model elevasi digital (DEM) yang berasal dari UAV (drone) yang dibandingkan dengan DEMNAS, DEM SRTM dan pengukuran topografi.

Data DEM yang dikelola secara nasional oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) disebut dengan DEMNAS. Data DEMNAS adalah integrasi data ketinggian yang mencakup data ALOS PALSAR resolusi 11.25m, IFSAR resolusi 5m, dan TERRASAR-X resolusi 5m. DEMNAS mempunyai resolusi spasial yaitu 0.27-arcsecond, dan menggunakan datum vertikal Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Pada DEMNAS dilakukan metode penambahan data masspoint ke dalam ALOS PALSAR, IFSAR, atau TERRASAR-X menggunakan GMT-surface dengan tension 0.32 [9].

Pada saat ini, data DEMNAS masih belum banyak dimanfaatkan oleh peneliti di Indonesia, karena data DEM juga dapat diperoleh dari website penyedia data seperti <https://earthexplorer.usgs.gov/>, dll. DEM yang berasal dari website penyedia data tersebut adalah DEM global yang mempunyai resolusi kecil sampai menengah. Diantaranya, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) mempunyai resolusi 1 arc second untuk 30 m pada ekuator di United States dan 3 arc second untuk 90 m di seluruh dunia [10].

Sumber data DEM yang diperoleh dari metode UAV (drone), DEMNAS dan DEM SRTM yang digunakan sebagai dasar perencanaan untuk kepentingan daerah aliran sungai perlu dilakukan pengujian ketelitian terhadap hasil pengukuran topografi agar sumber data DEM yang diambil dari metode UAV fotogrametri, DEMNAS dan DEM SRTM dapat terpercaya. Pemetaan topografi dibuat berdasarkan koordinat yang telah ditentukan pada pengukuran titik kontrol. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil perbandingan antara Digital Elevation Model (DEM) dari UAV (drone), DEMNAS dan DEM SRTM terhadap pengukuran topografi pada pemanfaatannya untuk aplikasi wilayah daerah aliran sungai. Selain itu, penulis juga mengharapkan dapat memperoleh data topografi sungai dalam waktu singkat dan menghasilkan model digital resolusi tinggi pada daerah sungai yang kompleks dengan akurasi yang diperlukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fotogrametri adalah suatu metode pemetaan dipermukaan bumi yang menggunakan foto udara pada ketinggian tertentu sebagai media dengan menggunakan pesawat UAV (Unmanned Aerial Vehicle) [11]. UAV adalah pesawat tanpa awak, dikenal juga dengan sebutan drone. Penerbangan UAV dapat dikontrol secara autonomous oleh komputer didalamnya (autopilot), semi-autonomous, atau dikendalikan dengan remote control oleh seorang navigator atau pilot diatas tanah. Sensor yang biasa digunakan adalah kamera metric, video dan sistem kamera yang sangat canggih seperti inframerah, sistem LIDAR udara, atau kombinasi keduanya. UAV dapat terbang rendah dengan ketinggian dibawah awan. Tinggi terbang UAV dapat diatur sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

Tujuan penggunaan drone sebagai alat perekaman data selain pemetaan rupa bumi, juga dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan informasi lahan (wilayah) atau dapat juga digunakan sebagai Sistem Informasi Geografis (Geographic Information System/GIS).

2.4 Ragam Peta Oleh Drone

Jenis peta yang dapat dihasilkan oleh drone, sama dengan jenis peta yang dapat dihasilkan oleh satelit. Hasil pemetaan dengan drone yaitu seperti peta orthomosaik, 2D dan 3D, NDVI, digital elevation model serta peta thermal [12].

Proses untuk mendapatkan sebuah peta yaitu melalui penampalan foto-foto secara berkesinambungan sehingga membentuk sebuah gambar peta (image map). Hal dasar yang harus dilakukan agar hasil pertampalan foto dapat memberikan arti geometric, yaitu pertama adalah koreksi geometri sehingga distorsi yang ada pada foto udara yang dihasilkan dapat dieliminasi (orthorectified) dan memiliki skala yang sama untuk mendapatkan orthomosaics. Kedua adalah pengikatan titik kontrol yang sama sehingga semua titik yang ada pada foto terikat pada sistem koordinat yang sama. Untuk itu perlu disiapkan titik-titik kontrol yang akurat di atas tanah yang dapat dengan mudah diidentifikasi di dalam citra foto udaranya.

2.5 Orthophoto

Orthophoto adalah penyajian ortografik tanah dalam bentuk foto yang dijabarkan dari foto udara dengan proses yang disebut rektifikasi diferensial [13]. Proses orthophoto akan menjadikan foto dalam proyeksi orthogonal seperti peta, foto ortho hanya mempunyai satu skala.

2.6 Survey Topografi

Survey topografi adalah survey yang bertujuan untuk mencari informasi permukaan tanah. Informasi tersebut dapat berupa tinggi rendah hingga keadaan fisik dan posisi suatu benda, baik yang berupa alamiah maupun buatan manusia, di permukaan lahan yang akan dipetakan. Survey ini sangat berguna dalam pembuatan peta topografi.

Survei topografi juga digunakan untuk menentukan konfigurasi medan (terrain). Kegunaan survei topografi adalah untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk gambar peta topografi. Gambar peta dari gabungan data akan membentuk suatu peta topografi. Sebuah topografi memperlihatkan karakter vegetasi dengan memakai tanda-tanda yang sama seperti halnya jarak horizontal diantara beberapa features dan elevasinya masing-masing diatas datum tertentu.

Proses pemetaan topografi sendiri adalah proses pemetaan yang pengukurannya langsung dilakukan di permukaan bumi dengan peralatan survei teristris. Teknik pemetaan mengalami perkembangan sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Dengan perkembangan peralatan ukur tanah secara elektronis, maka proses pengukuran menjadi semakin cepat dengan tingkat ketelitian yang tinggi, dan dengan dukungan teknologi GIS maka langkah dan proses perhitungan menjadi semakin mudah dan cepat serta penggambarannya dapat dilakukan secara otomatis. [14]

3. METODE PENELITIAN

3.1 Studi area

Lokasi penelitian adalah daerah aliran sungai Kuranji, Padang Sumatera Barat yang padat penduduk, tepatnya pada tepi sungai daerah Siteba Padang, yaitu Batang Kuranji Nanggalo. Pelaksanaan kegiatan perekaman dengan

teknologi UAV (drone) dilakukan sepanjang ± 2 km dengan koordinat hulu $100^{\circ}22'13.10''E$, $0^{\circ}54'13.99''S$ dan koordinat hilir $100^{\circ}23'02.41''E$, $0^{\circ}54'59.22''S$.

3.2 Unmanned Aerial Vehicle

Drone merupakan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk bidang pemetaan yang menghasilkan foto udara skala besar dengan jangkauan area yang luas. Foto udara tersebut kemudian dianalisis geospasial dan menghasilkan data DEM yang digunakan untuk analisis daerah aliran sungai.

Pada penelitian ini, pelaksanaan kegiatan perekaman dilakukan dengan UAV dengan type drone dji mavic 2 zoom pada ketinggian 15 m dari permukaan tanah. Tabel 1 dan gambar 1 menunjukkan spesifikasi UAV type drone dji mavic 2 zoom.



Gambar 1. Drone dji mavic 2 zoom

Tabel 1. Spesifikasi UAV Type Drone dji mavic 2 zoom

Weight	905 g
Size	322 x 242 x 84 mm
Max Wind Resistance	29-38 kph
Max Flight Time	31 minutes

3.3 DEMNAS

Data DEMNAS ini dikelola oleh Badan Informasi Geospasial. Perolehan datanya dapat diunduh secara gratis dengan membuat akun terlebih dahulu. Situs unduh untuk data DEMNAS ini tergabung dalam sistem one map policy dari BIG yaitu <http://tanahair.indonesia.go.id/>. Data DEM diperoleh dengan mengakses melalui situs DEMNAS BIG: <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>. Data hasil DEMNAS dibuka pada perangkat lunak untuk pemetaan dan analisis citra seperti Quantum GIS, ArcGIS, ER Mapper, Global Mapper, ENVI, dan perangkat lunak.

Hasil validasi di Sumatera menunjukkan bahwa akurasi DEMNAS lebih baik dibandingkan dengan model data tinggi yang dibentuk dari masspoint, spotheight dan breakline (selanjutnya akan disebut DTM). Data DEMNAS, DTM dan DSM (IFSAR, TERRASAR-X dan ALOS-PALSAR) pada Badan Informasi Geospasial untuk wilayah Sumatera memiliki Root Mean Square Error masing-masing sebesar 2.79m, 3.24m dan 3.71m dengan bias error -0.13m, -0.63m dan 2.21m.



Gambar 2. DEM Image

3.4 DEM SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 30 m dan 90 m

Data Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc Second (30 meter) dan 3 Arc Second (90 meter) diunduh lewat situs resmi USGS Earthexplorer.usgs.gov. Data SRTM berbasis Radar yang bisa menembus awan dan menyediakan data elevasi untuk wilayah tertentu maupun global serta mempunyai tingkat akurasi yang baik. Data DEM SRTM dapat digunakan untuk analisis kemiringan lereng (slope), dasar

pembuatan jaringan sungai, pembuatan kontur, analisis pembuatan batas DAS, dan lain sebagainya yang berkaitan dengan elevasi. Meskipun, SRTM masih belum menjangkau beberapa wilayah pegunungan dan desert, tetapi DEM SRTM tetap merupakan salah satu alternatif data DEM gratis yang mengcover seluruh wilayah permukaan bumi.

3.5 Pengukuran Topografi

Pengukuran topografi dilakukan dengan menggunakan peralatan theodolit untuk memperoleh penampang sungai berupa data jarak dan elevasi yang terikat dengan titik koordinat BM adalah X: 100.3720, Y: -0.9047, Z: 3.300. Pada pengukuran topografi dilakukan dengan memasang 10 titik patok yang jarak patok 1 ke patok 10 adalah 825 meter. Tabel 1 merupakan koordinat pengukuran topografi.

Tabel 2. Titik Pengukuran Topografi

Patok	Koordinat		
	X	Y	Z
1	100°22'17.99" E	0°54'14.50" S	-3.560
2	100°22'20.34" E	0°54'15.50" S	-4.110
3	100°22'24.63" E	0°54'17.04" S	-4.440
4	100°22'27.15" E	0°54'19.78" S	-3.500
5	100°22'27.84" E	0°54'20.46" S	-3.290
6	100°22'28.52" E	0°54'21.52" S	-2.000
7	100°22'31.07" E	0°54'22.61" S	-1.000
8	100°22'34.23" E	0°54'26.15" S	0.000
9	100°22'35.39" E	0°54'29.95" S	1.000
10	100°22'35.07" E	0°54'34.78" S	2.000

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 UAV

Hasil perekaman drone berupa foto udara dengan jumlah sebanyak 709 foto dengan overlap sebesar 85%. Data GPS atau posisi foto terdapat di metadata dari foto tersebut yang nantinya akan

diekstrak untuk pemrosesan selanjutnya. Tahap pemrosesan foto udara dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu proses inisiasi/awal, proses pembuatan point cloud dan mesh, dan hasil akhir berupa DEM, Orthomosaic, DSM dan peta penampang sungai.

Luas area yang terfoto dari hasil perekaman drone adalah 104,252 Ha dengan rata-rata ground sampling yaitu 21,96 cm. Dari 709 buah foto yang diambil, foto yang berhasil dikalibrasi adalah sejumlah 709 buah (100%). Key point dari tiap foto berjumlah rata-rata 16174 titik dengan optimasi kamera adalah 5,56% dari perbedaan antara setting parameter awal dengan hasil optimasi. Hasil penyamaan dari tiap foto rata-rata adalah 4862,51 kesamaan, maka terdapat rata-rata RMS error sebesar 3,53 meter dan kesalahan reproyeksi sebesar 0,13 piksel.

Dalam studi ini drone digunakan untuk membuat peta DEM atau kontur pada suatu daerah aliran sungai. Produk primer berupa peta DEM yang dapat dilihat pada gambar 2. DEM diperoleh dengan cara interpolasi peta kontur digital dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS berbasis raster data. DEM digunakan untuk mengetahui kemiringan lereng, arah kemiringan dan profil medan. DEM yang telah dibuat selanjutnya digunakan untuk membuat model geometri sungai, diantaranya alur saluran utama, bantaran sungai serta penampang melintang sungai. Gambar 3 menunjukkan hasil dari data ortomosaic dan data DSM dari analisis DEMDrone sehingga didapatkan foto udara sungai Batang Kuranji Nanggalo beserta garis potongan sungai, yang terdiri dari 116 potongan, dalam jarak ± 2 km. Pembuatan model geometri sungai diawali dengan impor DEM ke dalam ArcGIS. Selanjutnya dilakukan digitasi alur utama sungai dan bantaran kiri serta kanan sungai. Kemudian dilakukan digitasi kembali untuk penampang melintang sungai. Alur dan penampang sungai secara otomatis mengikuti topografi dari DEM yang telah diimpor sebelumnya.

4.2 Perbandingan Elevasi Dasar Sungai DEMDrone, DEMNAS, DEMSRTM

Hasil analisis DEMDrone, DEMNAS dan DEMSRTM terhadap nilai elevasi dapat dilihat pada tabel 3 dan gambar 4, dimana titik pengukuran berdasarkan pada titik pengukuran topografi. Perbandingan hasil masing-masing

DEM terhadap pengukuran topografi ditemukan hasil pengukuran DEMDrone dan DEMNAS sebanding, dimana perbedaan diantara keduanya tidak terlalu besar. Berdasarkan tabel 3 dan gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa nilai selisih elevasi hasil analisis pengukuran DEMNAS terhadap pengukuran theodolite lebih kecil dibandingkan dengan selisih elevasi hasil analisis pengukuran DEMDrone dan DEMSRTM.

DEMSRTM. Pada tabel 4 dapat dilihat hubungan korelasi (r) nilai elevasi masing-masing DEM terhadap nilai elevasi pengukuran topografi.

Sementara itu, hasil pengukuran dari titik patok 1 ke 10 didapatkan nilai elevasi dasar sungai yang mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh sedimentasi yang terjadi di daerah hilir sungai sehingga terjadi kenaikan dasar sungai.



Gambar 3. Peta Sungai Batang Kuranji Nanggalo 8 dan Garis Potongan Sungai

Tabel 3. Perbandingan Nilai Elevasi Dasar Sungai

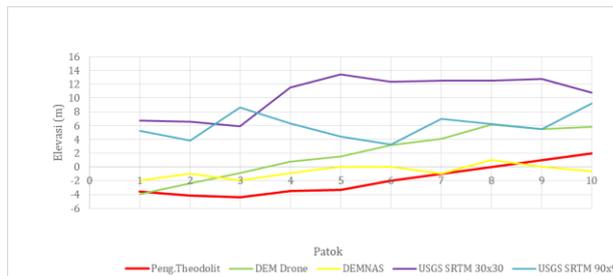
ok	Theodolit (m)	DEM Drone (m)	DEMNAS (m)	DEM SRTM 30x30 (m)	DEM SRTM 90x90 (m)
	-3.56	-3.916	-2	6.6997	5.2356
	-4.11	-2.4074	-1	6.5244	3.8215
	-4.44	-0.8531	-1.9557	5.8901	8.6366
	-3.5	0.8078	-0.9152	11.5383	6.2738
	-3.29	1.5544	0	13.4371	4.4493
	-2	3.1364	0	12.3305	3.2487
	-1	4.0744	-0.9571	12.5383	6.9444
	0	6.1601	0.9851	12.5383	6.2133
	1	5.4669	0	12.7466	5.4457
	2	5.7784	-0.6545	10.7418	9.1883

Tabel 4. Perbandingan Nilai Uji Korelasi (r)

DEM Drone	0.992
DEMNAS	0.954
DEM SRTM 30x30	0.920
DEM SRTM 90x90	0.810

Besarnya perbedaan nilai elevasi oleh hasil analisis DEMDrone disebabkan oleh kelemahan drone tipe dji mavic 2 zoom yang sulit untuk menjangkau dasar sungai [15]. Selain itu, hasil analisis oleh DEMSRTM mempunyai rentang variasi data yang lebih lebar dibandingkan dengan hasil analisis DEMDrone dan DEMNAS. Hal ini disebabkan salah satunya adalah karena perbedaan resolusi, dimana data DEMNAS mempunyai resolusi spasial yang lebih tinggi 0.27 arc-second dibandingkan dengan resolusi DEMDrone 0.49 arc-second dan data DEMSRTM yang masih 3 arc-second.

Meskipun begitu, berdasarkan analisis statistika regresi linear, nilai uji korelasi (r) yang diperoleh dari hubungan elevasi DEMDrone terhadap elevasi pengukuran topografi merupakan nilai yang terbesar dibandingkan DEMNAS dan



Gambar 4. Peta Sungai Batang Kuranji Nanggalo dan Garis Potongan Sungai

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam studi ini, penulis mendemonstrasikan penerapan menggunakan teknologi UAV (drone) untuk menghasilkan DEM yang dapat digunakan dalam metode pemetaan cepat dengan biaya rendah pada daerah aliran sungai Kuranji, Padang, Sumatera Barat. Untuk mendapatkan tujuan tersebut, penulis menganalisis data DEMDrone tersebut dan membandingkan dengan hasil data DEMNAS, DEMSRTM dan pengukuran topografi langsung.

Penulis menyimpulkan hasil analisis elevasi dasar sungai dari DEMDrone dengan tipe drone dji mavic 2 zoom mengarah pada hasil yang memuaskan dengan nilai uji korelasi (r) terhadap pengukuran topografi langsung adalah 0.992. Perbandingan antara DEMDrone dan DEMNAS terhadap pengukuran topografi elevasi dasar sungai hampir sebanding, hal ini terlihat dari nilai uji korelasi (r) DEMNAS yang berselisih 0,038 dari DEMdrone. Sedangkan hasil analisis oleh DEMSRTM mempunyai rentang variasi data yang lebih lebar dibandingkan dengan hasil analisis DEMDrone dan DEMNAS. Hal ini disebabkan salah satunya adalah karena perbedaan resolusi, dimana data DEMNAS mempunyai resolusi spasial yang lebih tinggi 0.27 arc-second dibandingkan dengan resolusi DEMDrone 0.49 arc-second dan data DEMSRTM yang masih 3 arc-second.

Pada studi masa depan, penulis merekomendasikan untuk melakukan variasi ketinggian penerbangan pada drone, dimana penerbangan yang lebih rendah menghasilkan DEM yang lebih baik [16].

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program Hibah Internal, Universitas Bung Hatta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Watanabe Y. dan Yoshihisa K. 2016. UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Engineering* 154, p. 317-325.
- [2] Haubeck K., dan T. Prinz. 2013. A UAV-based low-cost stereo camera system for archaeological surveys, experiences from Doliche (Turkey), *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XL-1 /W2.
- [3] Siebert S. dan J. Teizer. 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system, *Automation in Construction*, 41, p. 1-14.
- [4] Eisenbeiß H. 2009. UAV Photogrammetry. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie Zurich, ISSN 0252-9335, ISBN 978-3-906467-86-3.
- [5] Woodget A. S., Robbie A., Ian P. M., dan Evelyn H. 2017. Drones and Digital Photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology, *WIRES Water*, p. 1-20.
- [6] Acharya B. S., Mahendra B., Filippo R., Alonso P., Matthew P., Deepak R. J., Sheng W., Toby D., Ram L. R., Gehendra K., & Sadikshya S. 2021. Unmanned Aerial Vehicles in Hydrology and Water Management: Applications, Challenges, and Perspectives. *Water Resources Research*, 57.
- [7] Sulianto, A., Haji, T.S., 2006. Definisi Numerik Jaringan Drainase dan Daerah Aliran Sungai dari Model Elevasi Digital untuk



Model Hidrologi, Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Brawijaya, Malang.

modelling in urban areas. *Hydrology and
Earth System Sciences* 20, 1637-1653.

- [8] Bagas H. P., Rintis H., Setiono. (2019). Analisis Banjir Tahunan Kota Surakarta Menggunakan Watershed Modelling System (WMS). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. 294.
- [9] Badan Informasi Geospasial. 2018. <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>
- [10] Gallant, J.C., 2011. Adaptive smoothing for noisy DEMs. In: *Geomorphometry 2011, International Society for Geomorphometry*. Redlands, California.
- [11] Wolf, P.R. 1993. *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [12] J. P. Dash, M. S. Watt, G. D. Pearse, M. Heaphy, and H. S. Dungey. 2017. Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 131, pp. 1–14.
- [13] Nielsen, M. Ø. 2004. *True Orthophoto Generation*. Thesis. Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- [14] (https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/05/32d24_Modul_4_Pengenalannya_Survey_Topografi.pdf)
- [15] Samuel J S., Banata W R. 2016. Teknologi Drone untuk pembuatan peta kontur: studi kasus pada kawasan P3SON Hambalang. *Jurnal Teknik Hidarulik* Vol. 7 No.2, pp: 179-19
- [16] Leitao J.P., Matthew M. V., Andreas S., Jorg R. 2016. Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow