

**PENGUNAAN DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)
UNTUK PEMBUATAN DATA GEOMETRIK DALAM PEMODELAN BANJIR SUNGAI**

(The Use of UAV Data for Creating Geometric Data in Riverflood Modeling)

Wahyu Wisnu Wijaya^{1,2*}, Slamet Suprayogi³, Andung Bayu Sekaranom³, dan Hendy Fatchurohman⁴

¹Program Studi MPPDAS Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

²Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Solo, Jl. Jend. A. Yani Pabelan PO BOX 295 Surakarta 57102

³Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

⁴Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

*Email: wahyuwisnuwijaya@gmail.com

Diterima: 11 Januari 2024, Direvisi: 26 Februari 2024, Disetujui: 18 Maret 2024

ABSTRACT

In the last 10 years, flood modeling has been used to describe the geospatial phenomenon of flooding in an area. Flood modeling analysis uses river geometric data as one of the inputs. River geometric data is obtained through image analysis and Digital Elevation Model data derivatives. Accuracy in creating river geometric data influences the modeling results. The limitations of both high cost and the influence of weather conditions from satellite data sources made photogrammetry techniques using UAV drones increasingly popular. This research aims to: 1). Create orthophotos and DEM with high accuracy of the location of flood areas, 2). Creating river geometric data for flood modeling, and 3). Modeling river floods with HEC-RAS software. This research uses Agisoft Photoscan software to process the resulting aerial photos. The results of testing the accuracy of DEM and orthophoto data obtained a vertical accuracy/ Linear Error (LE90) value of 1.029 m and a horizontal accuracy/ Circular Error (CE90) value of 0.214 m. The resulting orthophoto and DEM have high accuracy so they can be used as input in the modeling process. The result of high-resolution model will be able to provide a quick and accurate picture of geospatial phenomena. The flood model produced using HEC-RAS software shows that floods inundate an area of 120.14 ha in a return period of 2 years and 203.21 ha in a return period of 50 years.

Keywords: UAV, orthophoto, DEM, geometric data, flood modeling

ABSTRAK

Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, pemodelan banjir digunakan untuk menggambarkan fenomena geospasial banjir pada suatu wilayah. Analisis pemodelan banjir menggunakan data geometrik sungai sebagai salah satu masukan. Data geometrik sungai diperoleh melalui analisis citra dan turunan data *Digital Elevation Model* (DEM). Akurasi dalam pembuatan data geometrik sungai berpengaruh terhadap hasil dari pemodelan. Adanya keterbatasan baik dari biaya yang tinggi dan pengaruh kondisi cuaca dari sumber data satelit membuat teknik fotogrametri dengan drone UAV menjadi banyak diminati. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Membuat orthofoto dan DEM dengan akurasi yang tinggi dari lokasi daerah banjir, 2). Membuat data geometrik sungai untuk pemodelan banjir, dan 3). Memodelkan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS. Penelitian ini menggunakan *software* Agisoft Photoscan untuk mengolah foto udara yang dihasilkan. Hasil pengujian akurasi data DEM dan orthofoto diperoleh nilai akurasi vertikal/ *Linear Error* (LE90) sebesar 1,029 m dan nilai akurasi horizontal/ *Circular Error* (CE90) sebesar 0,214 m. Orthofoto dan DEM yang dihasilkan memiliki akurasi yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai input dalam proses pemodelan. Model resolusi yang tinggi yang dihasilkan akan mampu memberikan gambaran fenomena geospasial secara cepat dan akurat. Model banjir yang dihasilkan dengan *software* HEC-RAS menunjukkan bahwa, banjir menggenangi area seluas 120,14 ha pada periode ulang 2 tahun dan 203,21 ha pada periode ulang 50 tahun.

Kata kunci : UAV, orthofoto, DEM, data geometrik, pemodelan banjir

I. PENDAHULUAN

Peristiwa banjir merupakan salah satu kejadian/ fenomena geospasial yang paling sering terjadi di Indonesia. Selama periode 2020 – 2021, bencana banjir mendominasi sebagai bencana nasional tertinggi di Indonesia (BNPB, 2022a). Proses banjir terjadi ketika debit air yang mengalir pada suatu saluran/ sungai melebihi kapasitas penampungannya. Banjir yang terjadi dapat berupa banjir genangan pada lahan seperti lahan pertanian, permukiman, dan pusat perkotaan (Rosyidie, 2013). Salah satu upaya untuk memahami fenomena geospasial yakni dengan memodelkan kejadian banjir secara spasial sehingga akan lebih mudah dipahami.

Pemodelan banjir dapat digunakan untuk menggambarkan fenomena banjir dalam sistem Daerah Aliran Sungai (DAS). Pemodelan banjir memerlukan beberapa data di antaranya data terkait kondisi spasial wilayah kajian dan data hidrologi. Pemodelan banjir mengadopsi integrasi antara *software* pemodelan hidrologi dengan data spasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG), yang kemudian dikembangkan menjadi model tertentu untuk beragam tujuan (Marfai, 2003). Salah satu model yang digunakan dalam analisis banjir adalah Model Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS). Model HEC-RAS banyak digunakan oleh peneliti untuk kajian banjir khususnya dalam pembuatan peta risiko

dan bahaya banjir (Ntanganedzeni & Nobert, 2021; Thapa *et al.*, 2020), serta prediksi banjir pada berbagai periode ulang (Suprayogi *et al.*, 2020; Nharo *et al.*, 2019; Sunarko *et al.*, 2011). Dalam prosesnya, model HEC-RAS membutuhkan input data berupa data geometrik sungai.

Dewasa ini, penggunaan data spasial untuk analisis banjir telah banyak digunakan oleh peneliti khususnya di Indonesia (Suprayogi *et al.*, 2020; Wigati *et al.*, 2016; Sunarko *et al.*, 2011). Kebutuhan akan data spasial khususnya data geometrik sungai untuk kepentingan analisis pemodelan menjadi sangat penting. Untuk mendapatkan data geometrik sungai dilakukan dengan teknik fotogrametri melalui akuisisi data foto udara menggunakan pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle* atau UAV). UAV atau yang lebih dikenal dengan istilah drone merupakan alat yang efektif sebagai wahana untuk merekam foto. Di era sekarang ini, penggunaan UAV cenderung meningkat karena efisiensi biaya dan kemudahan penggunaan dengan tujuan untuk pemetaan, pengawasan maupun inspeksi (Kristiawan *et al.*, 2017).

Teknik fotogrametri dengan memanfaatkan data UAV drone merupakan teknologi penginderaan jauh yang sangat bagus untuk saat ini dalam upaya memperoleh data informasi geospasial yang terukur dan cepat (Kristiawan *et al.*, 2017). Hasil dari fotogrametri ini berupa orthofoto yang selanjutnya diolah menjadi *Digital Elevation Model* (DEM). Data tersebut dapat digunakan sebagai salah satu input data pada pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS. Dalam analisis

banjir, orthofoto dan DEM merupakan data yang sangat penting karena hasil analisis DEM menggambarkan bentuk dan ukuran suatu DAS dalam menerima air hujan yang masuk (Kristiawan *et al.*, 2017). Seiring dengan perkembangan teknologi, fotogrametri menggunakan data UAV merupakan salah satu pilihan terbaik dalam menyediakan data DEM beserta turunannya.

Dalam kurun waktu 5 tahun terakhir, bencana banjir merupakan bencana dengan potensi ancaman terbesar di DAS Jerowan (BNPB, 2022b). DAS Jerowan merupakan bagian dari DAS Kali Madiun sebagai bagian hulu dari DAS Bengawan Solo. Beberapa kecamatan yang dilalui aliran Sungai Jerowan diantaranya adalah Balerejo, Pilangkenceng, Saradan, dan Mejayan. Upaya pengelolaan terhadap potensi dampak banjir perlu dilakukan untuk mengurangi ancaman banjir terhadap kehidupan manusia. Penggunaan data yang detail dan akurat dalam model banjir akan lebih meningkatkan sensitivitas model banjir dalam menjelaskan fenomena geospasial yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Membuat orthofoto dan DEM dengan akurasi yang tinggi dari lokasi daerah banjir, 2). Membuat data geometrik sungai untuk pemodelan banjir, dan 3). Memodelkan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Waktu kegiatan akuisisi data UAV dilaksanakan pada Januari tahun 2023. Lokasi kajian terletak di bagian hilir Sungai Jerowan, secara administratif mencakup

Desa Glonggong dan Desa Garon, Kecamatan Balerejo. Sungai Jerowan merupakan bagian dari DAS Kali Madiun. Pada bagian hilir merupakan daerah dataran banjir dengan topografi yang relatif datar. Luas daerah yang dipetakan sebesar 4,27 km² dan disajikan dalam Gambar 1.

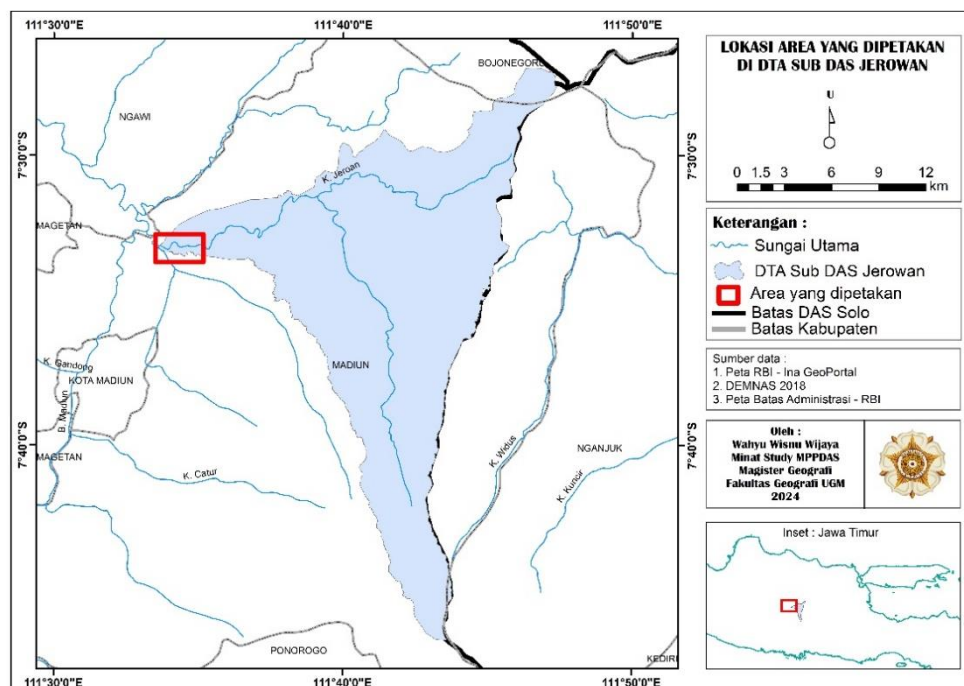
B. Bahan dan Alat

Kajian ini menggunakan bahan diantaranya adalah: (1) Data foto udara dari hasil pemotretan menggunakan UAV, (2) Data kalibrasi kamera dan lokasi kamera, (3) Data koordinat titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP) serta data titik acuan dari pengukuran menggunakan GPS Geodetik, (4) Data curah hujan harian maksimum untuk analisis hidrologi dari satelit *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS), dan (5) Data nilai koefisien kekasaran Manning. Kajian ini menggunakan

peralatan diantaranya adalah: (1) Drone merk Dji Mavic Pro 2, (2) GPS Geodetic NavCom, (3) Seperangkat komputer, (4) *Software* Agisoft Photoscan, (5) *Software* ArcGIS, (6) *Software* HEC-GeoRAS, (7) *Software* PCI Geomatika, (8) *Software* HEC-RAS, dan (9) *Software* Microsoft Excel.

C. Metode Penelitian

Analisis pemodelan banjir dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS pada skala segmen sungai di bagian hilir. Bagian hilir merupakan bagian Sub DAS dengan kemiringan lereng yang cenderung landai yang sering terjadi banjir. Ada beberapa tahap dalam proses pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS. Tahapan tersebut meliputi pembuatan data geometrik sungai, input data debit maksimum, input data koefisien kekasaran Manning, dan pembuatan simulasi pemodelan banjir dengan metode *Steady Flow Analysis* (Suprayogi *et al.*, 2020).



Gambar (Figure) 1. Area yang dipetakan (*Mapped area*)

Sumber (*Source*): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Data debit maksimum sungai diperoleh melalui analisis hidrologi hujan menjadi limpasan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I. Penggunaan HSS Gama I merupakan upaya untuk memperoleh nilai hidrograf satuan pada suatu DAS yang belum pernah diukur (Andiese, 2012). Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan nilai debit banjir rencana berdasarkan nilai analisis frekuensi curah hujan maksimum di lokasi penelitian.

Penentuan nilai koefisien kekasaran Manning didasarkan pada data topografik survei yang didukung dengan data dari foto udara UAV. Foto udara drone aktual digunakan sebagai dasar untuk melakukan klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan untuk menentukan nilai n . Data koefisien kekasaran Manning disajikan pada Tabel 1 dengan nilai n bergantung pada saluran dengan bahan pembentuk saluran yang berbeda berdasarkan klasifikasi penggunaan lahannya. Nilai koefisien kekasaran Manning pada lokasi penelitian disesuaikan berdasarkan penelitian Chow (1959) dan Marfai (2003).

Pembuatan data geometrik sungai menggunakan teknik fotogrametri untuk menghasilkan data dengan akurasi tinggi pada skala 1 : 1.000. Model dimensi sungai diperoleh dari hasil pengukuran segmen sungai pada *software* ArcGIS dengan memanfaatkan data DEM dan orthofoto dari UAV. Alur pelaksanaan penelitian meliputi kegiatan pengambilan data di lapangan, pengolahan data, dan analisis. Penentuan area yang dipetakan

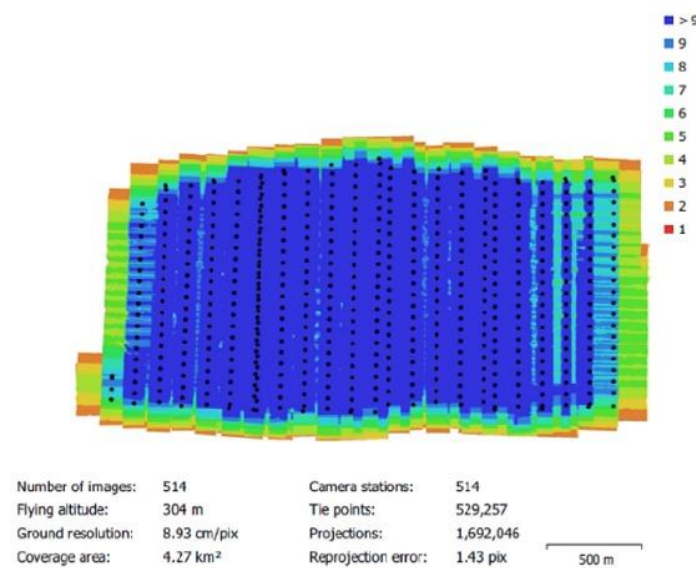
disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dan sumber daya yang digunakan. Model banjir yang akan dibuat disesuaikan dengan luas orthofoto yang dihasilkan. Kegiatan lapangan meliputi akuisisi data foto udara menggunakan UAV drone yang telah terpasang kamera. Kamera yang bagus mampu menghasilkan kualitas geometri yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap keakuratan posisi dari citra yang dihasilkan (Hamur *et al.*, 2019). Persiapan pertama yang dilakukan yakni merencanakan jalur terbang drone dan dibagi menjadi 4 jalur terbang. Penerbangan dilakukan selama durasi 10-15 menit per jalur. Proses menerbangkan drone dilakukan saat cuaca cerah sehingga meminimalisir adanya kabut yang menghalangi pandangan. Drone diterbangkan pada ketinggian 304 m untuk mendapatkan gambar yang jelas dan detail sesuai dengan resolusi yang diinginkan. Desain jalur terbang dengan lokasi kamera serta jumlah gambar overlap disajikan dalam Gambar 2.

Foto udara yang diambil dengan drone selanjutnya diseleksi dalam teknik fotogrametri. Foto tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* Agisoft Photoscan. Untuk melakukan koreksi elevasi/ topografi digunakan marker atau *Ground Control Point* (GCP) yang diukur dengan GPS Geodetik. Hasil pengukuran GCP berupa koordinat x dan y sebagai koordinat referensi. Pada penelitian ini menggunakan 5 titik GCP dan 4 titik *Independent Check Point* (ICP) untuk proses ortorektifikasi.

Tabel (Table) 1. Nilai Koefisien Kekasaran Manning (*Manning Roughness Coefficient Value*)

Lokasi (<i>Location</i>)	Penutupan lahan (<i>Landcover</i>)	Koefisien Manning (<i>Manning Coefficient</i>) (n)
Sungai (tipe natural <i>channel</i>)	Bersih, aliran lurus	0,030
	Bersih, aliran berliku	0,040
	Berliku dengan rumput liar	0,050
Dataran banjir	Permukiman/ area terbangun	0,013
	Pertanian lahan kering	0,05
	Sawah	0,04
	Padang rumput	0,035
	Semak belukar	0,070
	Hutan	0,100

Sumber (*Source*): Chow (1959) dan Marfai (2003)



Gambar (Figure) 2. Lokasi kamera dan jumlah gambar overlap (*Camera location and number of overlapping images*)

Sumber (*Source*): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tahapan pengolahan data foto udara menggunakan *software* Agisoft Photoscan dijabarkan sebagai berikut (Hamur *et al.*, 2019):

1. Penambahan foto udara
Melalui fungsi *add foto*, hasil foto drone UAV dibuka dan disusun sesuai urutan jalur terbang.
2. Penyesuaian kesamaan titik foto
Melalui fungsi *align foto*, 2 atau lebih foto dengan titik yang sama akan disatukan sehingga menghasilkan model 3D awal dengan posisi lokasi

kamera, serta *sparse point clouds* yang digunakan pada tahap selanjutnya.

3. Penambahan koordinat GCP
Model 3D yang telah dibuat sebelumnya kemudian diberikan koordinat X, Y, Z sebagai koordinat referensi.
4. Pembuatan *dense clouds*
Dense clouds dibuat dari sekumpulan titik tinggi dari foto udara yang diproses.

5. Pembuatan *mesh*
Build mesh merupakan proses pembangunan model 3D yang digunakan untuk proses selanjutnya.
6. Pembuatan *texture*
Proses pembentukan model fisik 3D berdasarkan pada kondisi visual area liputan foto.
7. Pembuatan DEM
DEM merupakan model yang menggambarkan ketinggian permukaan dalam format raster. DEM yang dibuat merupakan data *Digital Surface Model* (DSM).
8. Pembuatan *orthomosaic*
Orthofoto merupakan foto udara yang telah dikoreksi sehingga mempunyai koordinat referensi.

Tujuan pertama dari penelitian yakni melakukan uji ketelitian hasil orthofoto. Pengujian ketelitian hasil orthofoto meliputi uji ketelitian posisi horizontal dan vertikal. Teknik perhitungan parameter uji mengacu pada Perka BIG No. 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Hasil uji akurasi akan mendapatkan nilai LE90 dan CE90. Perhitungan nilai CE90 dan LE90 menggunakan rumus sebagai berikut (BIG, 2014):

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \quad (1)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \quad (2)$$

dengan:

$RMSEr$ = *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)

$RMSEz$ = *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Perhitungan rumus untuk $RMSEr$ dan $RMSEz$ dilakukan dengan bantuan

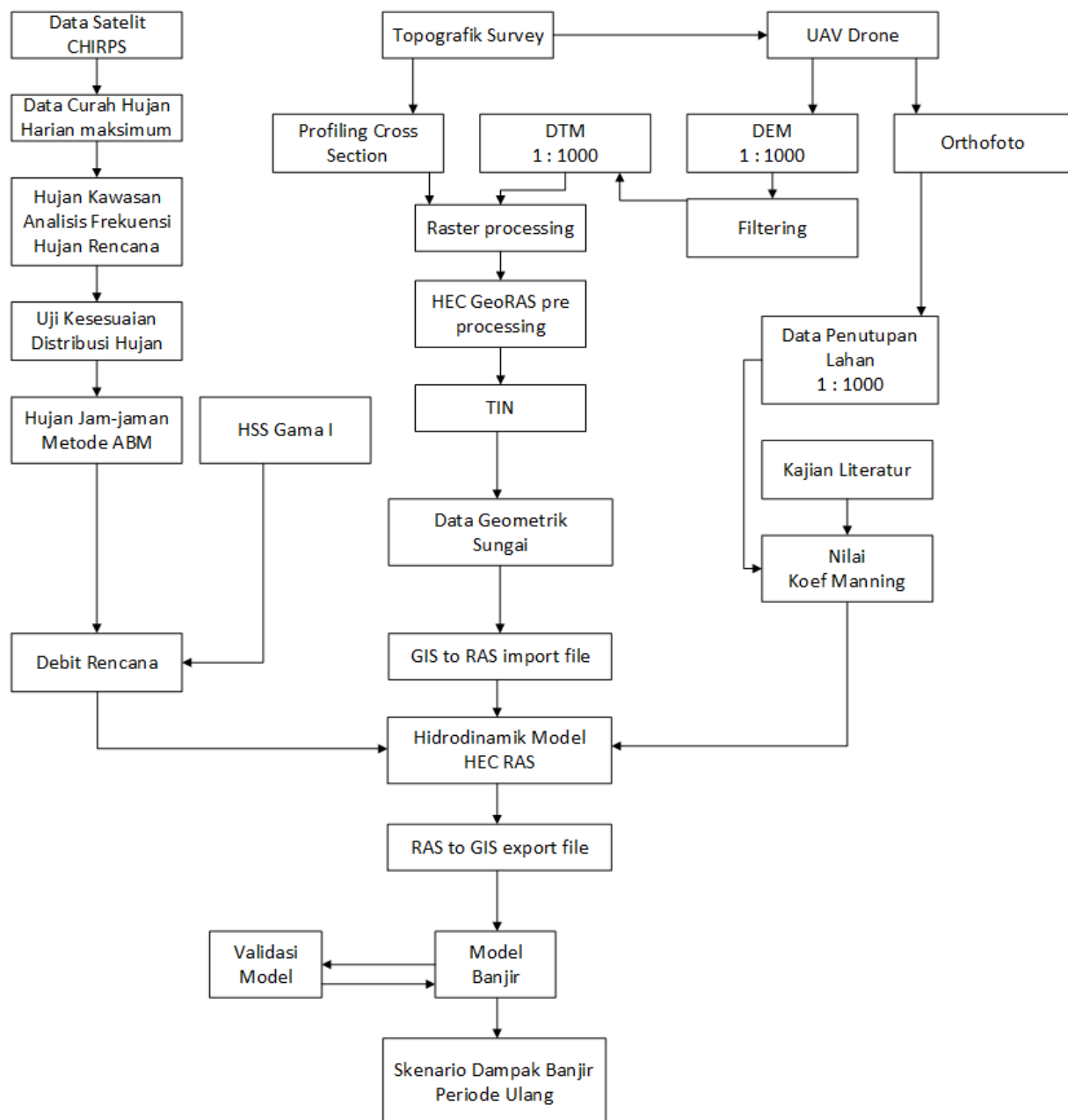
software Microsoft Excel dan hasilnya ditampilkan dalam tabel. Nilai $RMSEr$ dan $RMSEz$ menggambarkan perbedaan posisi koordinat X, Y, dan Z baik pada orthofoto maupun pada titik pengukuran dari GPS geodetik.

Pembuatan data geometri sungai sebagai input dari *software* HEC-RAS, membutuhkan data citra drone UAV yang diolah menjadi foto vertikal (orthofoto) dan DEM. Data DEM yang digunakan selanjutnya diolah menjadi DTM (*Digital Terrain Model*) sebagai data *terrain* dengan ketinggian vegetasi dan bangunan yang telah dihilangkan. Pengolahan DTM menggunakan *software* PCI Geomatika. Dalam proses pembuatan model dimensi sungai, penggunaan ekstensi HEC-GeoRAS dalam ArcGIS mempermudah pengguna dalam melakukan analisis. HEC-GeoRAS memungkinkan pengguna untuk dapat memproses data geospasial menjadi data GIS yang dapat dibaca oleh HEC-RAS sebagai data geometri sungai. HEC-GeoRAS membaca hasil simulasi aliran oleh HEC-RAS dan dapat diekspor untuk ditampilkan dalam bentuk peta spasial di ArcGIS (Makasaehe *et al.*, 2020). Pada tahapan data entri untuk pemodelan membutuhkan data yang terdiri dari informasi sistem sungai, potongan melintang sungai, data struktur hidrolis, dan data *terrain*. Pada tahapan ini akan dihasilkan skematisasi sistem sungai yang akan dianalisis.

Pemodelan banjir menggunakan skema periode ulang 2 tahun dan 50 tahun. Model HEC-RAS digunakan untuk menggambarkan sebaran banjir dalam kondisi aliran air permanen (*Steady Flow*). Peta genangan banjir yang dihasilkan,

dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan area rawan banjir dengan melakukan overlay dengan peta tematik lainnya. Terdapat lima langkah penting dalam membuat model hidraulika dengan HEC-RAS yaitu: 1) pembuatan *project*, 2)

memasukkan data geometri, 3) memasukkan hidrolika sungai, 4) melakukan perhitungan hidraulika, dan 5) menampilkan hasil perhitungan (Hidayah, 2021). Alur proses pemodelan ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Alur proses pemodelan (*Modeling process flow*)
 Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

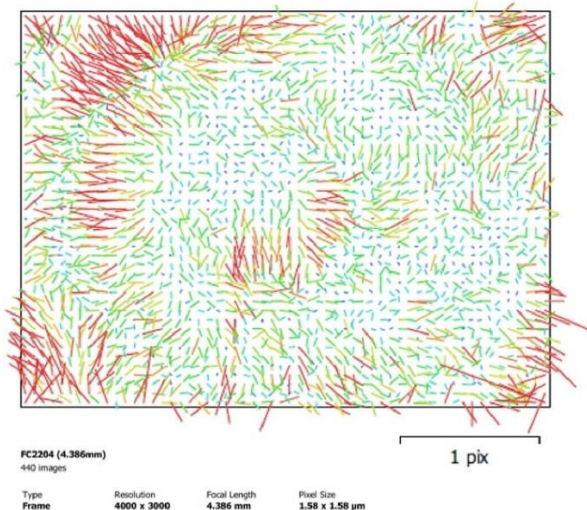
a. Pembuatan Orthofoto dan DEM

Akuisisi data drone menghasilkan foto sebanyak 514 gambar. Selanjutnya pengolahan foto udara dilakukan dengan menggunakan *software* Agisoft. Pada tahap awal pemrosesan data, hasil akurasi data akan keluar secara otomatis melalui algoritma *software*. Pada tahapan selanjutnya, perlu dilakukan uji ketelitian orthofoto dan DEM yang dihasilkan agar memenuhi standar teknis ketelitian yang digunakan untuk pemetaan.

Hasil pengambilan gambar untuk keperluan pengukuran dan pemetaan menggunakan kamera memungkinkan akan terjadi kesalahan karena kamera bukan merupakan suatu alat ukur. Kalibrasi kamera perlu dilakukan untuk mengoreksi kesalahan pengukuran dan menentukan besarnya penyimpangan (distorsi) pada lensa kamera. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan teknik *laboratory calibration* yang menghasilkan parameter IO (*Interior*

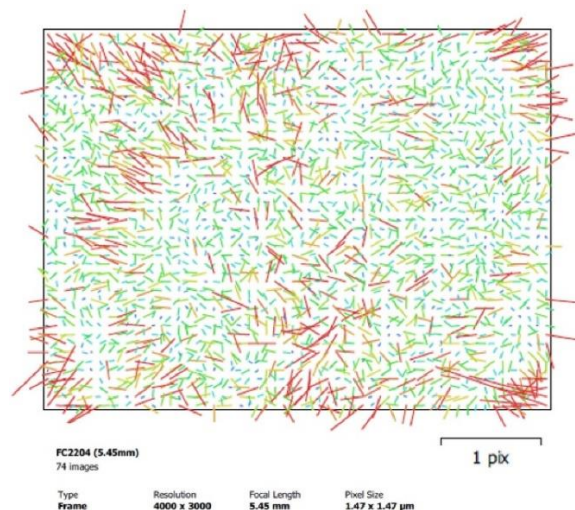
Orientation). Nilai parameter IO yang dihasilkan pada *software* Agisoft Photoscan berupa nilai panjang fokus kamera (F), nilai *principal distance* (C), koordinat *principal point* (x, y), nilai distorsi lensa (K1, K2, K3) berupa koefisien sistematis distorsi radial, dan nilai koefisien distorsi *decentering* (P1, P2).

Distorsi pada lensa kamera ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sisa efek residu foto masih dapat ditemukan dengan distorsi yang menyebar. Distorsi lensa mempengaruhi ketelitian pengukuran tetapi tidak mempengaruhi kualitas ketajaman foto. Distorsi foto menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya (Situmorang, 2019). Hasil kalibrasi dari kedua tipe kamera disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Setelah pemrosesan dengan *software* Agisoft Photoscan, dapat dikatakan nilai parameter kamera stabil dan memiliki akurasi yang tinggi dengan nilai *error* masing-masing 0,82 dan 2,2.



Gambar (Figure) 4. *Image Residual* untuk FC2204 (4,386mm)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)



Gambar (Figure) 5. *Image Residual* untuk FC2204 (5,45mm)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 2. Nilai *Calibration Coefficients* dan *Correlation Matrix* untuk *Focal Length* 4,386

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3045,34	0,82	1,0 0	-0,22	-0,07	-0,34	0,28	-0,32	-0,12	0,02
Cx	-28,0929	0,18		1,00	0,11	0,05	-0,03	0,04	-0,09	-0,04
Cy	-3,95329	0,16			1,00	0,02	-0,02	0,02	-0,03	-0,15
K1	-0,0403786	6,7e-005				1,00	-0,97	0,92	0,02	-0,01
K2	0,056746	0,00022					1,00	-0,98	-0,01	0,00
K3	-0,044782	0,00023						1,00	0,01	-0,01
P1	-0,00254304	3,9e-006							1,00	-0,03
P2	-0,000105195	3,8e-006								1,00

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)Tabel (Table) 3. Nilai *Calibration Coefficients* dan *Correlation Matrix* untuk *Focal Length* 5,45 mm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3721,27	2,2	1,00	-0,10	-0,06	-0,18	0,29	-0,37	-0,12	0,01
Cx	-20,9846	0,78		1,00	0,04	-0,06	0,07	-0,07	0,11	0,01
Cy	-3,39917	0,61			1,00	0,01	-0,01	0,01	0,01	0,20
K1	-0,0355637	0,00027				1,00	-0,95	0,89	0,01	-0,02
K2	0,160523	0,0013					1,00	-0,98	-0,03	0,02
K3	-0,22024	0,0021						1,00	0,03	-0,01
P1	-0,00277999	1,3e-005							1,00	0,01
P2	9,38648e-006	1,5e-005								1,00

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

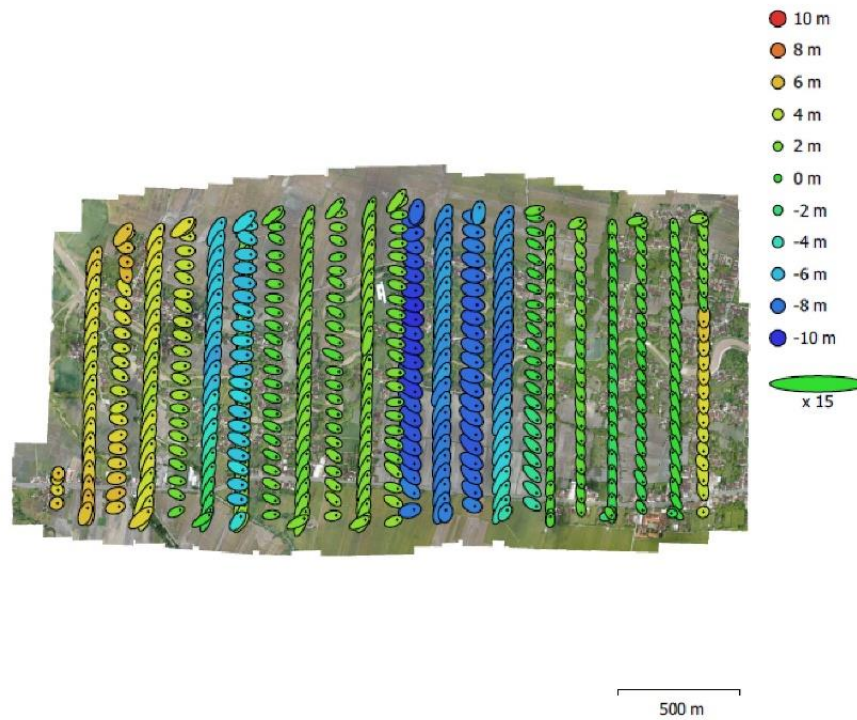
Dari *algorithm report* dapat dilihat posisi kamera dan *error* yang diprediksi (Tabel 4). *Z error* ditampilkan dalam tingkatan warna sementara *x,y error* ditampilkan dalam bentuk elips. Titik hitam menunjukkan estimasi lokasi kamera. Pada kondisi tingkat kesalahan 0 ditunjukkan dengan warna hijau dan bentuk lingkaran bulat utuh (Gambar 6). Variabel X, Y dan Z berturut merupakan *easting*, *northing*, dan *altitude*. Berdasarkan perhitungan, nilai kesalahan dari X, Y, dan Z sebesar 2,014 m, 3,903 m, dan 4,392 m. Secara keseluruhan total nilai kesalahan adalah sebesar 6,174 m. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa nilai kesalahan yang dihasilkan dari pengolahan data hasil UAV drone tanpa menggunakan koordinat pengukuran titik kontrol GCP mendapatkan nilai akurasi sebesar 6,174 meter.

Untuk melakukan koreksi elevasi/topografi digunakan alat GPS Geodetik untuk pengukuran koordinat pada *marker* atau *Ground Control Point* (GCP) yang telah ditentukan. GCP yang diukur merupakan koordinat x dan y pada lokasi referensi di lapangan. Dalam proses orthorektifikasi digunakan 5 titik GCP dan 4 titik *Independent Check Point* (ICP). Berdasarkan hasil perhitungan dari analisis GCP pada Agisoft Photoscan telah diperoleh nilai RMSE X sebesar 1,36122 mm, Y sebesar 2,86977 mm, dan Z sebesar 1,13453 mm. Analisis lokasi GCP dan estimasi nilai error berdasarkan hasil *algorithm software* ditampilkan pada Gambar 7. Sementara nilai dari RMSE yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel (Table) 4. Rerata Error Lokasi Kamera (Average camera location error)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2,01498	3,90357	4,3383	4,39295	6,17405

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 6. Camera Locations dan Prediksi Error (Camera locations and error prediction)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 7. Lokasi GCP dan Estimasi Error (GCP locations and error estimations)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 5. Nilai *Control Points* RMSE

Count	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	XY error (mm)	Total error (mm)
5	1,36122	2,86977	1,13453	3,17624	3,37278

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Tabel (Table) 6. Nilai *Control Points* tiap GCP

Label	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	Total (mm)	Image (pix)
GCP1	-1,85212	-1,84867	1,20866	2,8825	0,454 (9)
GCP2	2,2327	-1,701	-1,53142	3,19743	1,352 (13)
GCP3	-0,110424	3,75424	0,84288	3,84928	0,399 (15)
GCP4	-0,85034	3,02628	-1,38431	3,43479	0,083 (7)
GCP5	0,337692	-3,40797	0,0545294	3,42509	0,456 (17)
Total	1,36122	2,86977	1,13453	3,37278	0,720

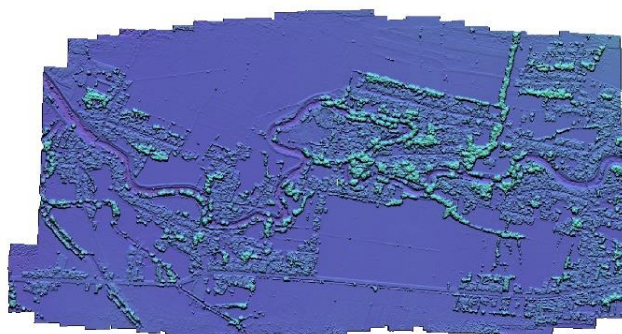
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Teknik fotogrametri yang digunakan dalam kegiatan ini mendapatkan hasil akhir berupa orthofoto (Gambar 8) dan DEM (Gambar 9) dari lokasi yang dipetakan. Orthofoto diperoleh dari foto udara yang telah direktifikasi. Orthofoto yang dihasilkan mempunyai resolusi 0,2 m sehingga objek yang ditampilkan menjadi sangat detail. Pada skala 1 : 1000, orthofoto dapat membedakan antara bangunan, badan air, vegetasi, area perkebunan, sawah dan jalan seperti pada

Gambar 10. Dalam kegiatan mitigasi dampak banjir, hasil orthofoto dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang rawan dan mempunyai kemungkinan terdampak yang tinggi. Hasil orthofoto juga dapat mengidentifikasi kondisi sungai secara detail dan dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan sungai. Dalam pemodelan banjir, hasil orthofoto dan DEM digunakan untuk acuan dalam pembuatan data geometrik sungai.


Gambar (Figure) 8. Orthofoto (*Orthophoto*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)



Gambar (Figure) 9. DEM

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

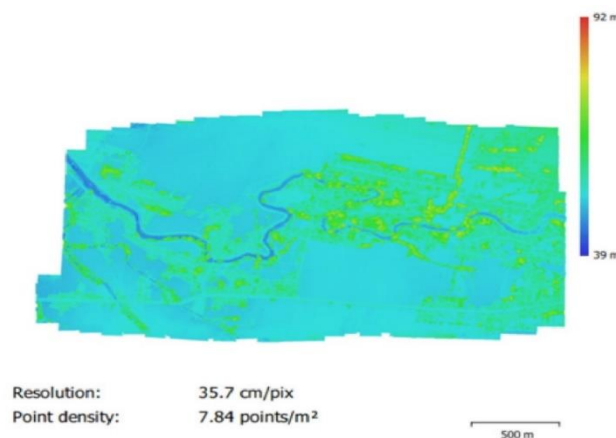


Gambar (Figure) 10. Orthophoto skala 1: 1000 (Orthophoto scale 1: 1000)
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

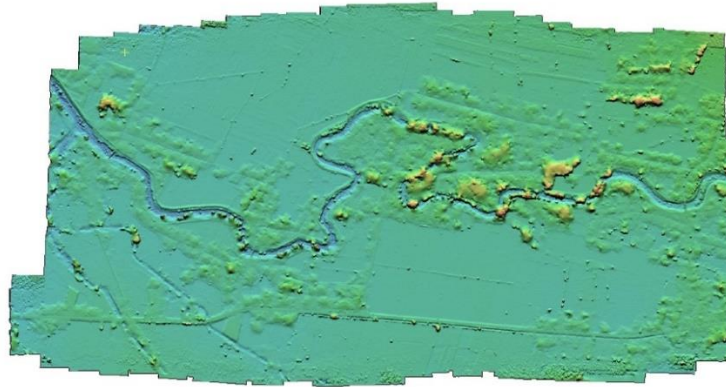
DEM merupakan kenampakan 3 dimensi dari objek dipermukaan bumi. DEM yang dihasilkan merupakan *Digital Surface Model* (DSM). DSM merupakan data ketinggian yang menampilkan objek di permukaan tanah secara nyata seperti tinggi bangunan dan vegetasi (Gambar 9). Rekonstruksi DEM dengan Agisoft menghasilkan resolusi sebesar 35,7 cm/pix dengan *point density* sebesar 7,84 point/m², yang ditampilkan dalam Gambar 11.

Dalam proses selanjutnya DSM perlu diubah kedalam *Digital Terrain Model* (DTM) sehingga yang terbentuk adalah representasi ketinggian permukaan tanah setelah vegetasi dan ketinggian bangunan dihapus. Untuk mendapatkan data DTM, nilai elevasi vegetasi dan ketinggian

bangunan dihilangkan melalui proses DEM *filtering* pada *software* PCI Geomatika. Digitasi penutupan lahan dilakukan untuk memilah antara penutupan yang akan digunakan dengan data permukaan. DEM filtering dilakukan pada polygon hasil digitasi dengan menggunakan kombinasi metode filtering yang sesuai. Metode filtering yang paling banyak digunakan adalah metode *terrain filter flat* karena sebagian besar wilayah yang diakuisisi merupakan wilayah dataran selanjutnya ditambah dengan metode *remove bumps* dan *fill sinks*. Ketika proses filtering sudah selesai dilakukan pada semua polygon maka data DTM hasil dapat diekspor. Data DTM selanjutnya digunakan sebagai input data dalam HEC-RAS. Data DTM yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar (Figure) 11. Rekonstruksi DEM dengan Agisoft (Reconstructed DEM using Agisoft)
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)



Gambar (Figure) 12. Hasil data DTM dengan PCI Geomatika (*Result data DTM using PCI Geomatika*)
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Nilai ketelitian citra hasil orthofoto dapat diketahui setelah melakukan uji akurasi posisi secara vertikal dan horizontal. Pengujian ketelitian posisi secara teknis berprinsip pada perbedaan koordinat antara titik sampel pada peta dengan lokasi sesungguhnya (Prayogo *et al.*, 2020). Akuisisi koordinat lokasi yang sesungguhnya dilakukan menggunakan GPS Geodetik Navcom pada bentuk objek yang mudah dikenali. Hasil orthofoto dan DEM ini selanjutnya akan digunakan untuk kepentingan pemetaan sehingga keabsahan datanya harus dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karenanya, analisis ketelitian mengacu pada ketelitian Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI). BIG (2014) telah membuat aturan melalui Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 15 Tahun 2014 terkait skala ketelitian peta berdasarkan pada nilai hasil uji akurasi. Ketentuan standar ketelitian geometri peta mengacu pada Tabel 7. Hasil uji akurasi disesuaikan

dengan kelas ketelitian peta RBI yang ditentukan. Peta yang dihasilkan akan memenuhi standar jika nilai ketelitian horizontal/ *Circular Error* (CE90) dan ketelitian vertikal/ *Linear Error* (LE90) dari peta yang diuji sesuai skala foto yang dihasilkan (Hamur *et al.*, 2019). Nilai ketelitian posisi peta dasar bila sudah sesuai dengan Tabel 7 artinya kesalahan posisi peta dasar memiliki kesalahan geometri yang tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%. Hasil perhitungan RMSE dan nilai akurasi untuk masing-masing posisi horizontal dan vertikal pada 5 titik GCP selanjutnya ditampilkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9. Penentuan nilai ketelitian orthophoto secara horizontal adalah dilihat dari nilai CE90 sebesar 0,214 m. Sementara, nilai ketelitian DEM secara vertikal adalah nilai LE90 sebesar 1,029 m. Nilai kesalahan baik horizontal maupun vertikal tidak melebihi dari nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Tabel (Table) 7. Standar Ketelitian Geometri Peta RBI (Topographical Map Geometry Accuracy Standards)

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7.50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1.50	2,5	2,50
9.	1:2,500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Sumber (Source): BIG (2014)

Tabel (Table) 8. Hasil perhitungan RMSEr dan CE90 (RMSEr and CE90 calculation results)

Nama	X GCP	X Ortho	(DX)	(DX) ²	Y GCP	Y Ortho	(DY)	(DY) ²	(DX) ² + (DY) ²
GCP 1	563989,88	563989,98	-0,107	0,011	9164639,69	9164639,57	0,116	0,013	0,025
GCP 2	561753,70	561753,62	0,073	0,005	9164716,69	9164716,63	0,065	0,004	0,010
GCP 3	561876,99	561877,01	-0,019	0,000	9165659,99	9165659,95	0,033	0,001	0,001
GCP 4	564021,29	564021,34	-0,051	0,003	9165647,75	9165647,73	0,027	0,001	0,003
GCP 5	562779,18	562779,27	-0,094	0,009	9165110,83	9165110,61	0,226	0,051	0,060
Jumlah									0,099
rata-rata									0,019
RMSE									0,141
Akurasi (CE90)									0,214

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 9. Hasil Perhitungan RMSEz dan LE90 (RMSEz and LE90 calculation results)

Nama (Name)	Elevasi (Elevation)		Selisih (Difference) (m)	Kuadrat Selisih (Squared difference) (m ²)
	GCP	DSM		
GCP 1	54,878	54,248	0,63	0,40
GCP 2	54,116	54,993	-0,88	0,77
GCP 3	53,22	53,204	0,02	0,00
GCP 4	55,791	55,57	0,22	0,05
GCP 5	54,479	53,617	0,86	0,74
Jumlah				1,958
rata-rata				0,392
RMSEz				0,626
Akurasi (LE90)				1,029

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Nilai CE90 yang dihasilkan yakni sebesar 0,214 memungkinkan orthofoto yang dihasilkan dapat digunakan untuk membuat peta sesuai standar ketelitian peta RBI pada kelas 1 untuk peta dengan skala 1 : 1.000. Peta yang dihasilkan mempunyai kesalahan geometri maksimum tidak melebihi 0,2 m. Pada kajian pemetaan banjir, akurasi posisi horizontal orthofoto dibawah 0,2 m menghasilkan informasi akurat untuk penilaian luas genangan banjir. Selanjutnya, nilai LE90 yang dihasilkan yakni sebesar 1,029 memungkinkan DEM yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis peta pada skala 1 : 5.000 kategori kelas 1 dengan kesalahan vertikal yang dihasilkan tidak melebihi 1,029 m. Hasil akurasi yang tinggi ini sangat baik digunakan untuk input data penelitian banjir termasuk pendugaan nilai kedalaman banjir. Kenaikan muka air sampai dengan satuan cm masih dapat diperkirakan karena tingkat kesalahan vertikal dari data DEM dibawah 1 meter.

b. Pembuatan Data Geometrik Sungai

Data geometrik sungai merupakan data utama dalam pemodelan banjir. Data

geometrik sungai diperlukan sebagai salah satu input dari *software* HEC-RAS. Melalui ekstensi HEC-GeoRAS dari ArcGIS, data geospasial dapat dikonfigurasi dengan *software* hidrologi lainnya sehingga data spasial dapat dibaca sebagai data geometri yang ditampilkan dalam bentuk peta spasial (Makasaehe *et al.*, 2020). Pembuatan data geometrik sungai melalui proses digitasi yang berupa alur sungai utama (*stream centerline*), tepi sungai (*bank lines*), bantaran sungai (*flow path*), dan penampang melintang (*cross section*). Data geometrik berupa terrain data menggambarkan data elevasi medan tanpa adanya gangguan berupa bangunan, vegetasi, dan air. Data terrain yang digunakan merupakan data DTM dalam format TIN yang telah dikalibrasi dengan data sampel *cross section* hasil pengukuran kedalaman sungai. Profiling *cross section* bertujuan untuk mengetahui nilai elevasi dasar sungai berdasarkan ketinggian permukaan laut. Profiling *cross section* dilakukan secara langsung pada segmen *cross section* melalui pengukuran kedalaman sungai. Rekapitulasi hasil profiling ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel (Table) 10. Rekapitulasi hasil profiling (*recapitulation of profiling results*)

No	X	Y	Elevasi Jembatan (<i>Bridge elevation</i>) (m)	Tinggi jembatan dari permukaan air (<i>height of the bridge above the water surface</i>) (m)	Kedalaman Sungai (<i>River depth</i>) (m)	Elevasi dasar sungai (<i>Riverbed elevation</i>) (m)
1	563038	9165188	50,850	6,530	1,23	43,090
2	563039	9165193	51,230	6,740	2,310	42,180
3	563040	9165198	50,9	6,440	1,420	43,040
4	562271	9164942	49,37	5,6	1,32	42,45
5	562275	9164955	47,75	5,6	2,38	39,770

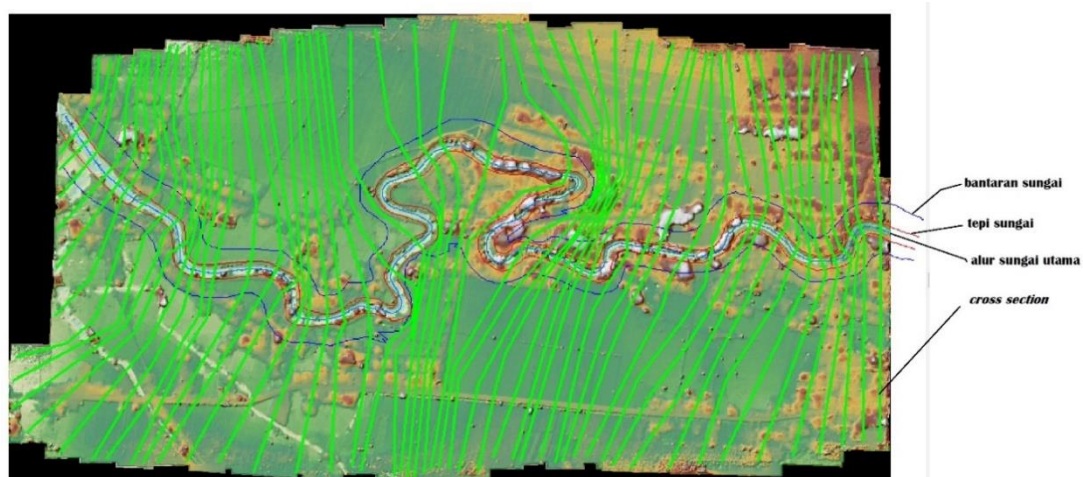
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Dengan menggunakan sumber data yang mempunyai akurasi tinggi, akan dihasilkan data geometrik yang akurat dan dapat diandalkan. Data geometrik sungai yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 13. Pada proses selanjutnya, data ini dapat digunakan sebagai input data untuk pemodelan banjir menggunakan *software* HEC-RAS.

c. Pemodelan banjir sungai dengan *software* HEC-RAS

Setelah persiapan data geometrik dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hidrologi untuk menghitung nilai debit rencana pada tiap periode ulang banjir berdasarkan pada

data hujan rencana. Data hujan satelit CHIRPS dengan rentang data 20 tahun (2003-2022) digunakan dalam analisis frekuensi hujan. Nilai curah hujan rencana dipilih berdasarkan hasil uji kesesuaian distribusi hujan. Nilai curah hujan rencana yang digunakan merupakan perhitungan curah hujan dengan menggunakan metode Gumbel. Nilai curah hujan rencana ini kemudian digunakan untuk perhitungan nilai debit rencana. Nilai debit rencana digunakan sebagai salah satu input model HEC-RAS. Hasil perhitungan hujan rencana dan debit rencana pada periode ulang 2 tahun dan 50 tahun ditampilkan dalam Tabel 11.



Gambar (Figure) 13. Data geometri sungai dari data UAV (River geometry data from UAV)
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Tabel (Table) 11. Hasil perhitungan debit banjir rencana (Results of planned flood discharge calculations)

Periode Ulang (Return period) (Tahun)	Curah Hujan Rencana (Planned rainfall) (mm)	Debit Banjir Rencana (Designed flood) (m ³ / detik)
2	49,649	229,18
50	85,845	495,36

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Nilai koefisien kekasaran Manning digunakan sebagai input dalam model HEC-RAS. Nilai n ditentukan berdasarkan tipe penutupan lahan pada tiap *cross section*. Hasil input nilai n pada *software* HEC-RAS ditampilkan pada Gambar 14.

Hasil pemodelan aliran *Steady Flow* pada HEC-RAS berfungsi untuk mengetahui tinggi muka air (TMA) banjir pada tiap periode ulang. Pemodelan aliran menggunakan HEC-RAS memberikan informasi terkait luas genangan,

kedalaman, dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur sungai. Hasil simulasi aliran debit banjir rencana menunjukkan bahwa terjadi peningkatan luas genangan dan kedalaman banjir maksimum pada periode ulang yang lebih lama. Hasil perhitungan hidrolika aliran dan peta dampak genangan banjir ditampilkan pada Tabel 12 dan Gambar 15.

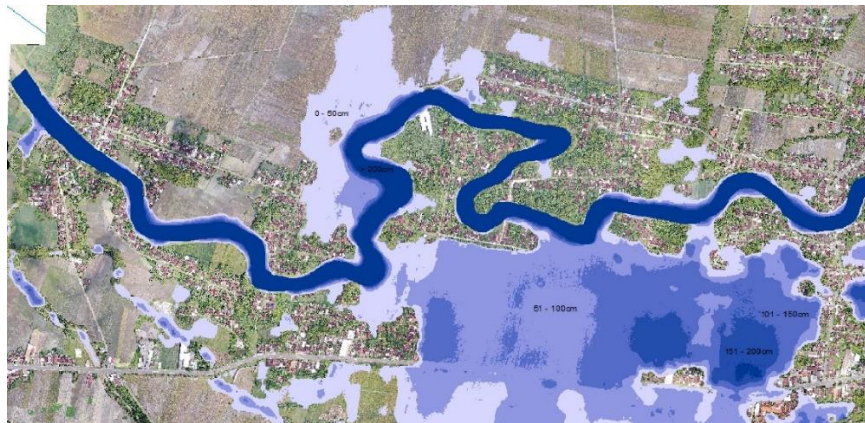
River Station	Frcn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 4984.638	n	0.07	0.07	0.05
2 4913.924	n	0.07	0.025	0.05
3 4873.317	n	0.013	0.025	0.07
4 4811.457	n	0.013	0.025	0.013
5 4763.159	n	0.013	0.025	0.07
6 4717.778	n	0.013	0.025	0.07
7 4673.669	n	0.05	0.025	0.013
8 4618.749	n	0.05	0.025	0.05
9 4539.27	n	0.013	0.025	0.013
10 4458.826	n	0.013	0.025	0.07
11 4426.283	n	0.05	0.025	0.05
12 4239.043	n	0.05	0.025	0.1
13 4149.006	n	0.05	0.025	0.05
14 4052.594	n	0.05	0.025	0.05
15 4009.48	n	0.05	0.025	0.05
16 3943.658	n	0.05	0.025	0.05
17 3760.596	n	0.05	0.025	0.05
18 3724.329	n	0.05	0.025	0.05
19 3700.086	n	0.05	0.025	0.05
20 3672.103	n	0.05	0.025	0.05
21 3638.638	n	0.05	0.025	0.05
22 3623.575	n	0.05	0.025	0.05
23 3589.395	n	0.05	0.025	0.05
24 3507.388	n	0.05	0.07	0.05

Gambar (Figure) 14. Nilai koefisien kekasaran Manning (*Manning roughness coefficient value*)
Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

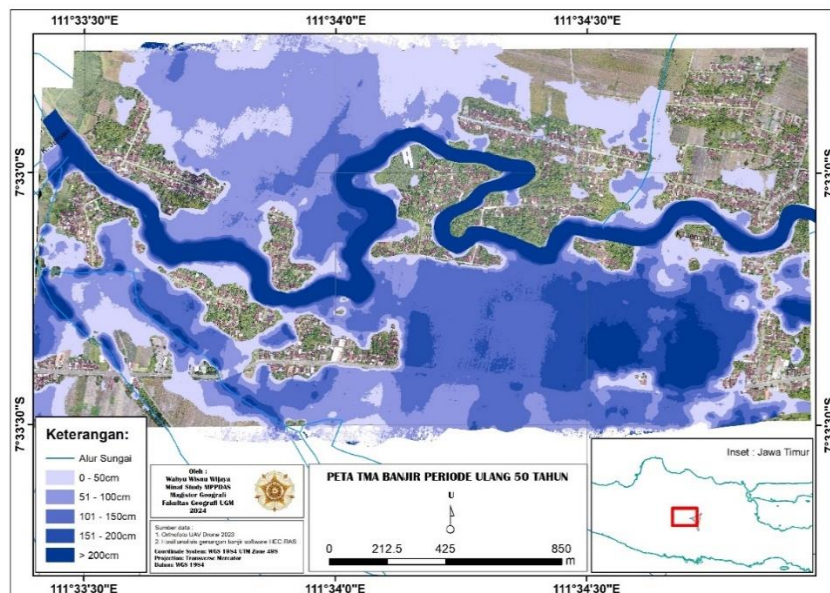
Tabel (Table) 12. Hasil perhitungan hidrolika aliran (*Flow hydraulics calculation results*)

Periode Ulang (Return period) (tahun)	Debit Banjir (Flood discharge) (m ³ /detik)	Kecepatan Aliran (Flow speed) (m/detik)			Kedalaman Banjir maksimum (Maximum flood depth) (meter)	Luas Genangan (Area of inundation) (ha)
		Minimum (Minimum)	Maksimum (Maximum)	Rata-rata (Average)		
2	229,18	0,38	4,01	1,88	5,25	120,14
50	495,36	0,39	4,95	1,87	6,413	203,21

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)



2 tahun



50 tahun

Gambar (Figure) 15. TMA banjir tiap periode ulang pada model HEC-RAS (flood height for each return period in HEC-RAS model)

Sumber (Source): Pengolahan data 2023 (Data analysis 2023)

Validasi model dilakukan untuk melihat sejauh mana model menampilkan kondisi yang sebenarnya dalam menggambarkan fenomena banjir. Pada beberapa wilayah yang tergenang dilakukan wawancara dengan penduduk setempat. Hasil validasi menunjukkan bahwa memang pada

wilayah tersebut pernah terjadi banjir dengan kondisi terparah pada November tahun 2021. Berdasarkan wawancara dengan 12 responden, seluruh responden memberikan keterangan bahwa pada lokasi tersebut tergenang banjir. Hasil validasi model ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel (Table) 13. Validasi model banjir (*Flood model validation*)

No	Nilai Model Periode Ulang 2 Tahun (<i>Two years return period model value</i>)	Wawancara (<i>Interview</i>)
1	0 – 50 cm	50 cm
2	0 – 50 cm	20 cm
3	0 – 50 cm	50 cm
4	0 – 50 cm	50 cm
5	101 – 150 cm	90 cm
6	51 – 100 cm	70 cm
7	101 – 150 cm	90 cm
8	51 – 100 cm	30 cm
9	0 – 50 cm	50 cm
10	0 – 50 cm	100 cm
11	0 – 50 cm	60 cm
12	0 – 50 cm	20 cm

Sumber (*Source*): Pengolahan data 2023 (*Data analysis 2023*)

Dalam pengelolaan DAS untuk upaya mitigasi bencana banjir, model banjir menggunakan HEC-RAS dapat digunakan untuk sistem peringatan dini banjir. Penggunaan data dengan akurasi yang tinggi akan memberikan hasil model yang lebih baik dalam menunjukkan fenomena geospasial yang ada. Prediksi banjir pada periode ulang yang lebih lama dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan pengelolaan DAS.

KESIMPULAN

Teknik fotogrametri dengan menggunakan UAV, menghasilkan orthofoto dan DEM yang mempunyai resolusi tinggi yang dapat digunakan sebagai input dalam pemodelan banjir di wilayah kajian. Hasil perhitungan akurasi horizontal (CE90) menghasilkan nilai sebesar 0,2 m, sehingga nilai akurasi orthophoto yang dihasilkan dapat digunakan dalam pembuatan peta skala 1: 1000 termasuk kedalam kelas 1. Selanjutnya, hasil perhitungan akurasi vertikal (LE90) adalah sebesar 1,029 m. Hal ini menunjukkan bahwa DEM yang

dihasilkan dari UAV memiliki kesalahan vertikal dengan nilai yang tidak melebihi 1,029 m. Penggunaan data dengan resolusi yang tinggi diharapkan mampu memberikan gambaran fenomena geospasial secara cepat dan akurat. Model banjir yang dihasilkan dengan *software* HEC-RAS menunjukkan bahwa, banjir menggenangi area seluas 120,14 ha pada periode ulang 2 tahun dan 203,21 ha pada periode ulang 50 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan cq. BPPSDM atas dukungan dana penelitian, dosen pembimbing, rekan asisten dari Fakultas Geografi UGM (Habib Husyien Albani, Ilham Kio Hafids, Tri Putra), rekan-rekan di BPSI LHK Solo serta program studi MPPDAS Fakultas Geografi UGM.

KONTRIBUSI

WWW berkontribusi terhadap desain penelitian, pengolahan data dan penulisan manuskrip. SS dan AB

berkontribusi terhadap desain penelitian dan pembahasan, HF berkontribusi terhadap pengolahan data dan analisis data UAV.

DAFTAR PUSTAKA

- Andiese, V. W. (2012). Pengujian Metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I Dalam Analisis Debit Banjir Rancangan Das Bangga. *Mektek*, 14(1), 1–9.
- BIG. (2014). Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *BIG, Badan Informasi Geospasial. Bogor*.
- BNPB. (2022a). *Bencana Indonesia 2022*. Infografis Retrieved from <https://bnpb.go.id/>.
- BNPB. (2022b). *Indek Resiko Bencana*. Retrieved from <https://inarisk.bnpb.go.id/irbi>.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics (Vol. 1)*. McGraw-Hill. New York.
- Hamur, P. K., Tjahjadi, M. T., & Yuliananda, A. (2019). Kajian pengolahan data foto udara menggunakan perangkat lunak agisoft photoscan dan PIX4D mapper (studi kasus : Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang). *Teknik Geodesi, ITN Malang.*, 1–13. <http://eprints.itn.ac.id/>
- Hidayah, F. N. (2021). *Aplikasi Penginderaan Jauh dan SIG dalam Pemodelan Banjir di Sungai Bengawan Madiun, Kabupaten Madiun Berdasarkan Model HEC-RAS*. Universitas Gadjah Mada.
- Kristiawan, Y., Sumaryono, S., Firmansyah, N., Solihin, A., & Dwiyono, F. (2017). Aplikasi UAV Drone Untuk Penanggulangan Cepat Potensi Aliran Bahan Rombakan (Banjir Bandang) Studi Kasus di Desa Lebakwangi, Kecamatan Arjasari Kabupaten Bandung. *Jurnal Kebumian Ke-10, September*, 1616–1624. <https://repository.ugm.ac.id/274179/>
- Makasahe, D., Hendratta, L. A., & ... (2020). Kajian Pemetaan Banjir Dengan Hec-Georas Studi Kasus: Sungai Tondano. *Jurnal Sipil ...*, 8(3), 319–326. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/28750>
- Marfai, M. A. (2003). GIS Modelling of River and Tidal Flood Hazards in a Waterfront City Case Study: Semarang City, Central Java, Indonesia. *WRS Department, Master*(February).
- Nharo, T., Makurira, H., & Gumindoga, W. (2019). Mapping floods in the middle Zambezi Basin using earth observation and hydrological modeling techniques. *Physics and Chemistry of the Earth*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002>
- Ntanganedzeni, B., & Nobert, J. (2021). Flood risk assessment in Luvuvhu river, Limpopo province, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102959>
- Prayogo, I. P. H., Manoppo, F. J., & Lefrandt, L. I. R. (2020). Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter Dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point (GCP). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), 6.
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Journal of Regional and City Planning*, 24(3),

241.
<https://doi.org/10.5614/jpwk.2013.24.3.1>
- Situmorang, P. H. (2019). Calibration of Digital Cameras for Mobile Mapping Purposes. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(1), 138–143.
<https://doi.org/10.22146/jgise.40817>
- Sunarko, S., Susiati, H., & Suntoko, H. (2011). Pemodelan Banjir Sungai Di Daerah Aliran Sungai Balong, Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 13(2), 81–91.
<http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1465/1395>
- Suprayogi, S., Latifah, R., & Marfai, M. A. (2020). Preliminary analysis of floods induced by urban development in Yogyakarta city, Indonesia. *Geographia Technica*, 15(2), 57–71.
https://doi.org/10.21163/GT_2020.152.07
- Thapa, S., Shrestha, A., Lamichhane, S., Adhikari, R., & Gautam, D. (2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 30(March), 100704.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100704>
- Wigati, R., Soedarsono, & Mutia, T. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1 (Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00 - HM 34+00). *Jurnal Fondasi*, 5(2), 51–61.