

ANALISIS BANJIR MENGGUNAKAN APLIKASI GIS DAN HEC-RAS PADA BATANG TAPAKIS KABUPATEN PADANG PARIAMAN

Elvi Roza SYOFYAN¹, Bambang ISTIJONO¹, Winda FITRIA¹, Yosa Anggia RAHMI¹, Fadillah RASYID¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Email korespondensi: syofyan_er@yahoo.co.id

[diterima: 05 Juni 2023, disetujui: 20 Juni 2023]

ABSTRACT

Padang Pariaman Regency has several large rivers, one of which is the Batang Tapakis's river. Research on Batang Tapakis is very rarely researched. The following is documentation of Batang Tapakis, precisely at the Tiram Bridge, Jalan Syekh Burhanuddin, Nagari Tapakis, Ulakan Tapakis District, Padang Pariaman Regency, West Sumatra. On Wednesday, 24 January 2023, a flood occurred in Korong Kasai Nagari Tapakis which caused 1,200 families to flee. The flood height is estimated to be 80 cm. Therefore, in this study, research uses HEC-RAS and GIS applications to display the distribution of floods and flood water levels. This research was conducted using primary, secondary data and DEM data downloaded from DEMNAS. The use of the GIS application, namely Global Mapper, functions to convert DEM data in GeoTiff format into prj so that it can be processed into HEC-RAS. In the HEC-RAS application there is a RAS Mapper tool which functions to describe the results of flood distribution and flood height. From the results of utilizing DEM data using HEC-RAS and GIS in Batang Tapakis, it can show a picture of inundation in Korong Tapakis and the flood height is between 70-80 cm which corresponds to the flood that occurred on 24 January 2023 as high as 80 cm.

Key words: *flood, river*, DEM, GIS, HEC-RAS

INTISARI

Kabupaten Padang Pariaman memiliki beberapa sungai besar salah satunya sungai Batang Tapakis. Penelitian mengenai Batang Tapakis sangat jarang diteliti. Berikut dokumentasi Batang Tapakis tepatnya di Jembatan Tiram, Jalan Syekh Burhanuddin, Nagari Tapakis, Kecamatan Ulakan Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat. Pada saat Rabu, 24 Januari 2023 terjadi banjir pada Korong Kasai Nagari Tapakis yang menyebabkan 1.200 KK mengungsi. Ketinggian banjir diperkirakan setinggi 80 cm. Oleh sebab itu dalam kajian ini penelitian menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dan *GIS* untuk menampilkan sebaran banjir dan tinggi muka air banjir. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer, sekunder dan data DEM yang diunduh dari DEMNAS. Penggunaan aplikasi GIS yaitu *Global Mapper* berfungsi untuk mengubah data DEM yang berformat GeoTiff menjadi prj agar dapat diolah ke dalam *HEC-RAS*. Pada aplikasi *HEC-RAS* terdapat *tools RAS Mapper* yang berfungsi menggambarkan hasil sebaran banjir dan tinggi banjir. Dari hasil pemanfaatan data DEM menggunakan *HEC-RAS* dan *GIS* pada Batang Tapakis dapat menampilkan gambaran genangan pada Korong Tapakis dan tinggi banjir antara 70-80 cm yang sesuai dengan banjir yang terjadi pada tanggal 24 Januari 2023 setinggi 80 cm.

Key words: *flood, river*, DEM, GIS, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Sungai adalah tempat dan wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi oleh garis sempadan (Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011). Sungai mengalir dari hulu dalam

kondisi kemiringan lahan yang curam berturut-turut menjadi agak curam, agak landai dan relatif rata. Arus relatif cepat di daerah hulu dan bergerak menjadi lebih lambat dan makin lambat pada daerah hilir. Sungai merupakan tempat berkumpulnya air di lingkungan sekitarnya yang mengalir menuju tempat yang

lebih rendah. Daerah sekitar sungai yang mensuplai air ke sungai dikenal dengan daerah tangkapan air atau daerah penyangga. Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumberdaya alam yang mempunyai fungsi serba guna bagi kehidupan dan penghidupan manusia.

Kabupaten Padang Pariaman dilalu oleh beberapa sungai besar salah satunya sungai Batang Tapakis. Pada Rabu, 24 Januari 2023 terjadi banjir di Korong Kasai Nagari Tapakis yang menyebabkan 1.200 KK mengungsi. Ketinggian banjir diperkirakan setinggi 80 cm. Oleh sebab itu dalam kajian ini penelitian menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dan *GIS* untuk menampilkan sebaran banjir dan tinggi muka air banjir.

Permodelan dengan integrasi *HEC-RAS* dan *ArcGIS* menghasilkan informasi mengenai zonasi daerah genangan banjir yang terdampak di 3 kecamatan yaitu, Kecamatan Murhum mencapai luas genangan maksimum 0.098 km² tersebar di Kelurahan Wajo dan Melai, Kecamatan Batupoaro dengan luas genangan 0.061 Km² berada di Kelurahan Nganganaumala dan Kecamatan Wolio tersebar di Kelurahan Bataraguru, Tomba, Wale dan Bukit wolio indah dengan luas genangan mencapai 0.309 Km², ketiga kecamatan tersebut memiliki kelas resiko sangat rentan (Nuzul dkk., 2021; Putra, 2022).

Persentase kesesuaian antara peta ancaman banjir berbasis GIS untuk DAS Deli di Kota Medan hasil analisis menggunakan *HEC-RAS* dengan riwayat kejadian DAS Deli di Kota Medan hasil validasi terhadap setiap kelurahan terduga terdampak dengan menggunakan 16 titik kontrol adalah 81.25%. angka tersebut, menunjukkan bahwa hasil analisis dapat digunakan untuk mendukung pembuatan peta risiko banjir dan menjadi dasar bagi penelitian-penelitian selanjutnya (Adly, 2021; Amaliani, 2021)

Fadlan dkk. (2016) menunjukkan dari hasil simulasi pada debit rencana kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, dan 200 tahun didapatkan

perbedaan luas genangan. Semakin banyak (tahun) simulasi yang dilakukan, maka luas genangan akan semakin tinggi dikarenakan debit air yang semakin meningkat. Daerah yang tergenang berada di dua Kecamatan yaitu Kecamatan Limbong dan Kecamatan Seko (Fadlan dkk., 2016; Immanuella, 2022)

Penelitian yang dilakukan memiliki batasan-batasan yaitu lokasi penelitian berada di Batang Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman. Data potongan melintang didapatkan dari data DEM. Data curah hujan menggunakan Metode *Polygon Thiessen* 3 stasiun terdekat yaitu Stasiun Santok, Stasiun Kasang dan Stasiun Lubuk Napar. Menggunakan aplikasi *Global Mapper*. Menggunakan aplikasi *HEC-RAS*.

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil penggunaan integrasi aplikasi *HEC-RAS* dengan *GIS* menggunakan data DEM pada Batang Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman sehingga dapat menjadi referensi penelitian yang berhubungan dengan penggunaan aplikasi *HEC-RAS* dan *GIS*. Selain itu permodelan menggunakan *HEC-RAS* dapat menampilkan simulasi aliran permanen maupun tidak permanen dari profil muka air di saluran sungai, sedimentasi, analisis kualitas air dan desain hidraulik.

METODOLOGI PENELITIAN

Menurut Rahayu dkk. (2009), banjir didefinisikan sebagai tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air disuatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi. Sedangkan menurut Kodoatie (2005), terjadinya genangan akibat pengendalian banjir tidak terkendali pada lahan ruang terbuka hijau sehingga menimbulkan aliran permukaan.

Faktor penyebab banjir ada dua, yaitu faktor alam dan faktor manusia. Yang termasuk faktor alam, di antaranya curah hujan, pengaruh fisiografi, erosi dan sedimentasi,

kapasitas sungai dan pengaruh air pasang. Sedangkan yang termasuk faktor manusia, di antaranya perubahan kondisi daerah pengaliran sungai, kawaskumuh dan sampah.

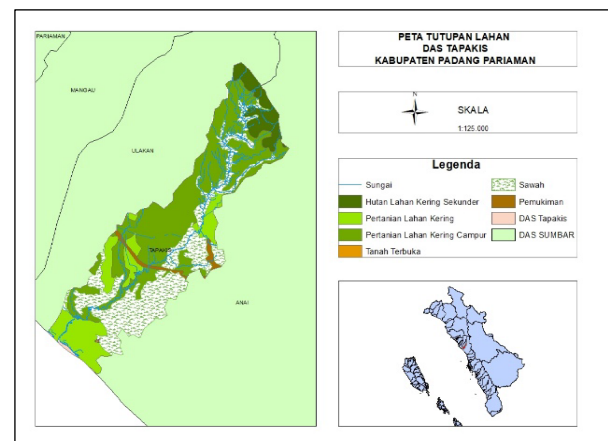
Pada penelitian ini data curah hujan dianalisis menggunakan aplikasi *hydrognomon*. *Hydrognomon* adalah aplikasi yang digunakan untuk melakukan pengolahan data hidrologi. Data didapatkan dari lembar kerja yang diinputkan. Proses pengolahan data yang dapat dilakukan dengan aplikasi ini antara lain tahapan kerja, regulasi, waktu pengerjan, interpolasi, analisis regresi, konsistensi data, filterisasi data, visualisasi data dalam bentuk grafik dan tabel dari deret waktu dan banyak lagi (Saputri, 2022).

Geographic Information System atau Sistem Informasi Geografis merupakan sistem berbasis computer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi geografis. GIS memiliki empat kemampuan menangani data bereferensi geografis diantaranya masukan, manajemen data, analisis dan manipulasi data serta keluaran (Aronoff, 1989). GIS dibedakan atas sumber data yaitu Data spasial merupakan data yang bereferensi geografis atau representasi objek di bumi. Data ini diperoleh dari berbagai sumber dan berbagai format. Data spasial mencakup grafik peta analog, foto udara, citra satelit, survei lapangan, pengukuran *theodolite*, pengukuran GPS. Penyajian data dengan model vektor yang menampilkan, menempatkan dan menyimpan data menggunakan titik-titik, garis-garis dan kurva atau polygon. Sedangkan penyajian data dengan model raster yang menampilkan, menempatkan dan menyimpan data menggunakan struktur matriks atau piksel yang membentuk *grid*. Data atribut, mendeskripsikan karakteristik atau fenomena pada suatu objek data dalam peta yang tidak mempunyai hubungan dengan posisi geografis. Data atribut berupa data statistik, data pengukuran (Al Amin, 2015; Nomiritae dkk., 2023).

HEC-RAS adalah suatu program yang digunakan untuk dapat memodelkan aliran di sungai yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang mana satu divisi dengan *Institute of Water Resource* (IWR) dibawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). Penelitian mengenai simulasi hidrolika telah banyak dilakukan dengan menggunakan *software HEC-RAS*. Pada aplikasi tersebut terdapat tools *HEC-RAS Mapper* yang terdapat pada seri *HEC-RAS 6.1*

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Batang Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah studi pustaka yaitu mencari jurnal *online* dan beberapa buku untuk menjelaskan rumus-rumus yang ada pada pembahasan. Alat yang digunakan adalah computer atau laptop yang telah terpasang aplikasi *HEC-RAS 6.4.1* yang didalamnya terdapat *RAS Mapper* dan data yang dibutuhkan yaitu data curah hujan 10 tahun terakhir, data DEM Sumatera Barat dan Peta Tutupan Lahan Kabupaten Padang untuk menganalisa dan mengolah data hidrologi, terutama dalam bentuk *time series*. Untuk pengolahan data dapat diimport dengan format data (*.txt) maupun secara manual. Kemudian dilanjutkan dengan uji probabilitas.

Analisis debit rencana menggunakan metode rasional yang membutuhkan Pariaman.

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis curah hujan dengan periode 10 tahun menggunakan stasiun terdekat. Data diperoleh dari PSDA (Pengelolaan Sumber Daya Air) Provinsi Sumatera Barat, data tersebut dibutuhkan untuk menyusun suatu rancangan pengendalian banjir, analisis debit banjir periode ulang menggunakan metode rasional, aplikasi GIS yang dipakai yaitu *Global Mapper* untuk menjadikan data DEM format GeoTiff menjadi pjr agar bisa diolah pada aplikasi *HEC-RAS*, pemodelan pada penelitian ini menggunakan *HEC-RAS 6.4.1* yang didalamnya terdapat *tools RAS Mapper*, memberi upaya penanggulangan banjir di Batang Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

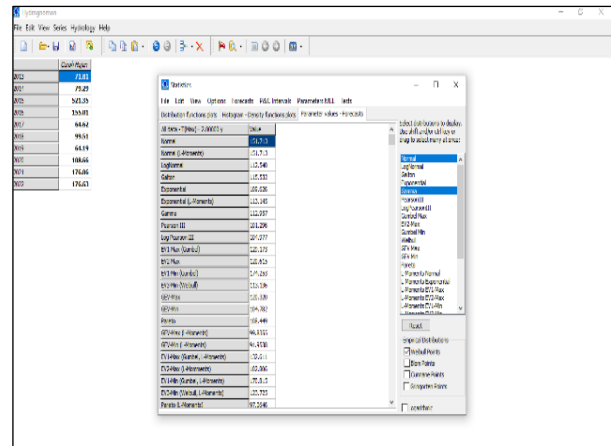
Analisis Curah Hujan

Analisis data curah hujan rata-rata kawasan bertujuan untuk menghitung debit rancangan banjir di daerah tersebut. Dalam menganalisis data curah hujan digunakan Metode *Polygon Thiessen*. Pada metode ini memerlukan beberapa stasiun curah hujan terdekat yang akan mempengaruhi daerah tangkapan (*Catchment Area*). Pemodelan metode ini dan presentase luas yang mempengaruhi diperoleh dari digitasi aplikasi *ArcGIS*. Berikut gambar yang menunjukkan DAS Tapakis, stasiun curah hujan serta presentase luas yang mempengaruhi. Terdapat 3 stasiun yang mempengaruhi yaitu Stasiun Santok, Stasiun Kasang dan Stasiun Lubuk Napar.

Analisis distribusi frekuensi

Analisis dapat dilakukan secara manual dengan rumus-rumus yang sudah ditetapkan, namun untuk mempermudah pekerjaan menganalisis distribusi frekuensi curah hujan dengan menggunakan aplikasi *Hydrognomon*.

Berikut tampilan analisis curah hujan periode 5 tahun *Hydrognomon* dari berbagai metode.



Gambar 2. Tampilan Analisis Hydrognomon

Berikut hasil analisis menggunakan aplikasi *Hydrognomon* dengan metode normal, log normal, log pearson III dan gumbel dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Tabel 1. Nilai Curah Hujan Rancangan

No	Tahun	Hujan Rancangan (mm/hari)			
		Normal	Log Normal	Log Pearson III	Gumbel
1	2	151.71	112.54	104.98	129.17
2	5	267.15	215.68	191.68	250.43
3	10	327.48	303.02	286.60	330.71
4	25	391.83	435.46	472.38	432.15
5	50	433.40	550.40	679.10	507.40
6	100	470.78	679.48	967.67	582.10

Pengujian distribusi menggunakan Metode Chikudrat dan Smirnov Kolmogorov didapati sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Chikudrat dan Smirnov Kolmogorov

Distribusi Probabilitas	Smirnov Kolmogorof				Keterangan
	Chikudrat		Kolmogorof		
	X hitung	X kritis	ΔP hitung	ΔP kritis	
Normal	13.00	5.991	0.25	0.41	Tidak Diterima
Log Normal	5.00	5.991	0.11	0.41	Diterima
Gumbel	7.00	5.991	0.22	0.41	Tidak Diterima
Log Pearson Type III	1.00	5.991	0.61	0.41	Tidak Diterima

Analisis Debit Banjir Periode Ulang

Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan mempengaruhi analisa debit banjir rencana. Nilai koefisien bergantung pada tutupan lahan yang dialiri oleh air. Perhitungan nilai *C* diperoleh total dari koefisien *C* tiap lahan berdasarkan Tabel dikali dengan luas masing-masing lahan dibagi dengan total luas semua lahan di DAS tersebut. Pada penelitian ini digunakan peta tutupan lahan yan didapat dari BPDAS-HL Agam Kuantan dan diolah menggunakan aplikasi *ArcGIS* dapat dilihat pada Gambar 2 dan berikut hasil perhitungan untuk nilai *C* pada DAS Tapakis pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Koefisien Limpasan

No	Deskripsi Lahan	Luas	C	C x A	C rata
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	6.20	0.02	0.12	0.30
2	Pertanian Lahan Kering	13.70	0.4	5.48	
3	Pertanian Lahan Kering Campur	36.52	0.4	14.61	
4	Tanah Terbuka	0.04	0.2	0.01	
5	Sawah	27.03	0.15	4.05	
6	Pemukiman	1.71	0.7	1.20	
Total		85.20		25.47	

Waktu Konsentrasi

Perhitungan waktu konsentrasi menggunakan Metode Kirpich memerlukan data panjang sungai dan kemiringan sunngai. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan aplikasi *ArcGIS*, panjang sungai Batang Tapakis sepanjang 30.98 km dan elevasi hulu setinggi 0.069 km dan elevasi hilir setinggi 0.004 kemiringan sungai menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{H}{0,9 \times L} \tag{1}$$

$$S = \frac{(0.069 - 0.004)}{0,9 \times 30.89} = 0.002$$

Dengan demikian, untuk waktu konsentrasi sebagai berikut:

$$T_c = \left[\frac{0.87 \times 30.98^2}{1000 \times 0.002} \right]^{0.385} \tag{2}$$

$$= 9.59 \text{ jam}$$

$$= 575.36 \text{ menit}$$

Dari hasil *Tc* diperoleh termasuk kategori besar dikarenakan sungau Batang Tapakis termasuk sungai yang panjang, sehingga membutuhkan waktu lama untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir. Nilai *Tc* digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan.

Metode Haspers

Untuk menghitung debit rencana digunakan Metode Haspers karena luas DAS Tapakis 85,20 Km².

Luas *catchment area* (*A*) : 85.20 km²

Panjang sungai (*L*) : 23.11 km

Kemiringan sungai (*S*) : 0.009

Langkah Perhitungan:

a. Koefisien aliran (α)

$$\alpha = \frac{1+0.012 \cdot A^{0.7}}{1+0.075A^{0.7}} \tag{3}$$

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 \cdot 85.20 \cdot 0.06^{0.7}}{1 + 0.075 \cdot 85.20 \cdot 0.06^{0.7}} = 0.473$$

b. Waktu kosentrasi (*tc*)

$$t_c = 0.1 \cdot L^{0.8} \cdot S^{-0.3} \tag{4}$$

$$t_c = 0.1 \cdot 22.96.91^{0.8} \cdot 0.009^{-0.3} = 5.041 \text{ jam}$$

c. Koefisien reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{t_r + (3.7 \cdot 10^{-0.4 t_r})}{t_r^2 + 15} \right) \cdot \frac{A^{3/4}}{12} \tag{5}$$

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{5.041 + (3.7 \cdot 10^{-0.4 \cdot 5.041})}{5.041^2 + 15} \right) \cdot \frac{85.20^{3/4}}{12}$$

$$\beta = 0.773$$

d. Menghitung hujan harian yang turun (*Rt*)

$$r = \frac{t_c \cdot R_{24}}{t_c + 1} \tag{6}$$

$$r = \frac{5.041 \cdot 112.540}{5.041 + 1} = 93.910 \text{ mm}$$

e. Menghitung hujan harian maksimum (q)

$$q = \frac{r}{3.6 \cdot tc} \tag{7}$$

$$q = \frac{93.910}{3.6 \cdot 5.041} = 5.175 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$$

f. Menghitung debit (Q)

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q \cdot A \tag{8}$$

$$Q = 0.473 \cdot 0.773 \cdot 5.175 \cdot 85.20 = 61.22 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Tabel 4. Perhitungan Metode Hapers

T	R_{24}	Q_r
2	112.540	61.22
5	215.679	117.32
10	303.024	164.84
25	435.460	236.88
50	550.396	299.40
100	679.480	369.62

Berdasarkan hasil perhitungan didapat bahwa debit pada Batang Tapakis memiliki debit yang cukup besar.

Pemodelan GIS

Pemodelan ini bertujuan membuat data geometri Batang Tapakis. Pada pemodelan ini membutuhkan data DEM dari website DEMNAS yaitu <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>.

Pemodelan GIS pada penelitian ini menggunakan aplikasi *Global Mapper*. Data DEM yang berformat GeoTiff diubah menjadi pjr agar dapat diolah ke aplikasi *HEC-RAS*. Berikut langkah-langkah pemodelan GIS:

- Download data DEM pada website DEMNAS.
- Buka aplikasi *Global Mapper*.
- Masukkan data DEM yang telah di download.
- Klik *Tools > Configure > Projection* (ubah menjadi UTM) > Ok.
- Klik data DEM > *Layer > Export – Export Layer (s) to New File > GeoTiff > Ok >*

Centang *Generate PRJ File* > pilih lokasi penyimpanan file.

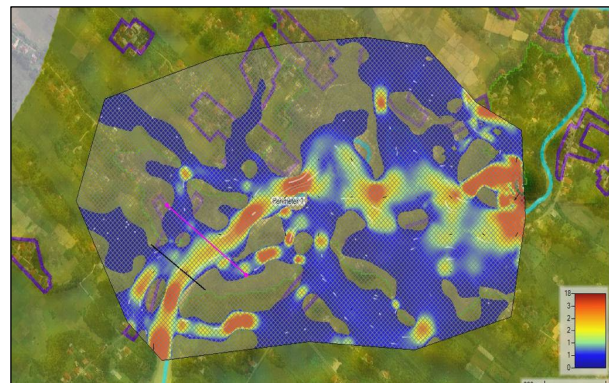
Pemodelan HEC-RAS

Pemodelan aplikasi *HEC-RAS* menggunakan seri 6.4.1 yang di dalamnya terdapat *tools RAS Mapper*. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui sebaran banjir dan ketinggian banjir yang terjadi pada Batang Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman. Berikut langkah dari pemodelannya:

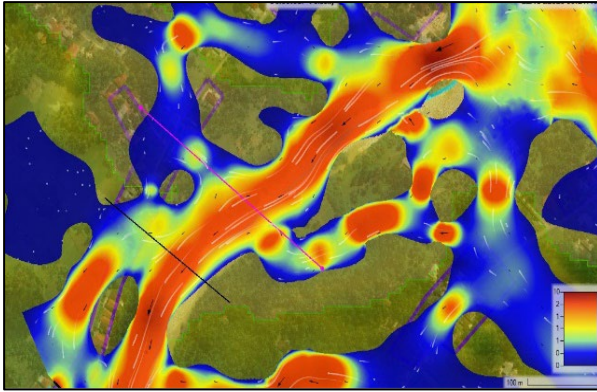
- Buka aplikasi *HEC-RAS 6.4.1 > File > New Project >* pilih lokasi penyimpanan file.
- Klik *tools RAS Mapper*.
- RAS Mapper > Tools > Set Projection For Project*.
- Input data dari *Global Mapper* yang telah berformat pjr > unit (meter) > Ok.
- Mendigitasi data geometri pada *layer rivers, cross section* dan *storage areas*.



Gambar 3. Digitasi Data Geometri



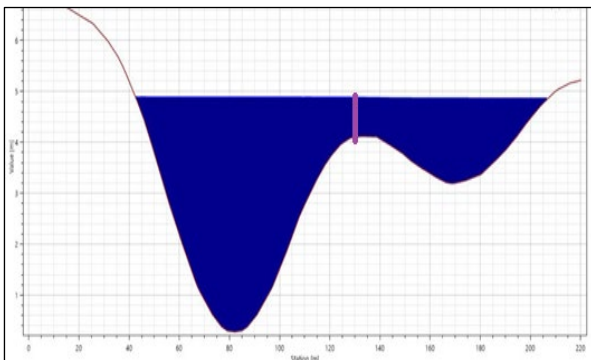
Gambar 4. Running



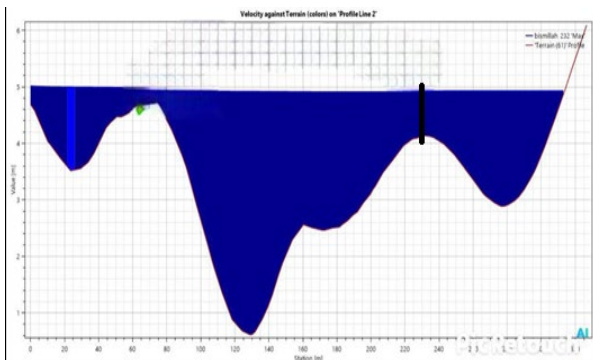
Gambar 5. Hasil Pemetaan Menggunakan RAS Mapper

Validasi Lapangan

Validasi lapangan bertujuan memastikan kecocokan sebuah aplikasi dalam pengolahan data sesuai dengan yang terjadi di lapangan sehingga mampu memberikan hasil yang tepat sehingga dapat dipercaya. Dari hasil aplikasi RAS Mapper dengan hasil wawancara dengan masyarakat sekitar didapatkan bahwa hasil dari aplikasi memiliki kemiripan dengan data lapangan. Berikut kedalaman banjir dari hasil aplikasi RAS Mapper pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Kedalaman Genangan Banjir pada Patok 1



Gambar 7. Kedalaman Genangan Banjir pada Patok 2

Perhitungan kedalaman banjir menggunakan rumus sebagai berikut :

a. Pada patok 1

$$\begin{aligned} H &= MAB - \text{elevasi dasar rumah warga} \\ &= 4.9 - 4.2 \\ &= 0.7 \text{ m} \approx 70 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Pada patok 2

$$\begin{aligned} H &= MAB - \text{elevasi dasar rumah warga} \\ &= 5 - 4.2 \\ &= 0.8 \text{ m} \approx 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

Patok 1 dan 2 berlokasi pada titik tinjauan yaitu Korong Kasai Nagari Tapakis. Kedalaman banjir yang terjadi pada tanggal 24 Januari 2023 setinggi 80 cm mendekati dengan hasil ketinggian banjir pada patok 1 yaitu 70 cm dan patok 2 setinggi 80 cm.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pemanfaatan data DEM menggunakan HEC-RAS dan GIS pada Batang Tapakis dapat menampilkan gambaran genangan pada Korong Tapakis dan tinggi banjir antara 70-80 cm yang sesuai dengan banjir yang terjadi pada tanggal 24 Januari 2023 setinggi 80 cm.

REFERENSI

- Adly, M.N., 2021. *Analisa Genangan Banjir Daerah Aliran Sungai Deli di Kota Medan dengan HEC-RAS*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Al Amin, M.B., 2015. Pemanfaatan Teknologi Lidar Dalam Analisis Genangan Banjir Akibat Luapan Sungai Berdasarkan Simulasi Model Hidronamik. *Info Teknik*. 6(1): 21-32.
- Amaliani, A.I., 2021. *Prediksi Debit Rancangan Pada DAS Tapakis Menggunakan Model HEC-HMS*. Universitas Andalas, Padang.
- Aronoff, 1989. *Sistem Informasi Geografis*, Buana Khatulistiwa, Jakarta.

- Fadlan, Hamzah, A., Paharuddin, 2016. *Analisis Genangan Banjir Sungai Salu Uro Kabupaten Luwu Utara*. Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Immanuella, L., Dermawan, V., Winarta, B., 2022. Studi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Welang Dengan Pendekatan Pemodelan Banjir Aliran 2D. *Jurnal Teknik Pengairan*. 13(2): 245-257.
- Kodoatie, R.J., dan Sjarief, R., 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Nomeritae, Alexsander, S., Suyanto, H., Wiryanto, Y. H., 2023. Integrasi SIG, Pemodelan Hidrologi dan Pemodelan Hidraulika untuk Penentuan Elevasi Muka Air Banjir. *Jurnal Teknika*. 6(2): 1-13.
- Nuzul, M., Achmad, M., Soma, A.S., 2021. Analisis Genangan Banjir Akibat Debit Puncak di DAS Baubau Menggunakan HEC-RAS dan GIS. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 17(2): 192-206.
- Peraturan Pemerintah (PP) No. 38 Tahun 2011 Tentang Sungai.
- Putra, R.A., 2022. *Analisis Tinggi Muka Air dan Genangan Banjir Checkdam (Bangunan Pengendali Sedimen) Batang Limau Manis Pada Segmen Hulu Menggunakan Software HEC-RAS 5.0.7*. Universitas Andalas, Padang.
- Rahayu, H.P., Wahdiny, I., Anin, U., Mardhiatul, A., 2009. *Banjir dan Upaya penanggulangnya*. Promise (Program for Hydro-Meteorological Risk Mitigation Secondary Cities in Asia) Indonesia. Bandung.
- Saputri, U.S., 2022. Aplikasi Arc-Swat pada Analisis Debit Banjir Rencana di Daerah Aliran Sungai Cimandiri Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Teslink*. 4(2): 107-123.