

# Analisis Genangan Banjir Akibat Pola Operasional Waduk PLTA Koto Panjang Berbasis Sistem Informasi Geografis

Rizki Ramadhan Husaini\*<sup>1</sup>, Rahmat Tisnawan<sup>2</sup>, Debi Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Abdurrab

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Informatika Universitas Abdurrab

e-mail: \*[rizki.ramadhan@univrab.ac.id](mailto:rizki.ramadhan@univrab.ac.id), [rahmat.tisnawan@univrab.ac.id](mailto:rahmat.tisnawan@univrab.ac.id), [debisetiawan@univrab.ac.id](mailto:debisetiawan@univrab.ac.id)

**Abstract** – Kampar Regency is an area that has the largest hydroelectric reservoir in Riau Province, namely the Koto Panjang Hydroelectric Reservoir, which functions to regulate inflow and outflow discharge. The problem that sometimes occurs is high rainfall so that the inflow discharge can no longer be accommodated by the reservoir. The aim of this research is to analyze flood inundation areas in the operational patterns of the Koto Panjang hydroelectric reservoir in the Kampar watershed. This research uses secondary data in the form of; historical rainfall data in the Kampar watershed, inflow and outflow data from the Koto Panjang hydroelectric reservoir and topographic data from DEMNAS. Anyway, the primary data consists of topographic conditions and the cross-section of the Kampar river. Flood discharge analysis in this study used the Gamma I method. Meanwhile, for area coverage, flood collection is based on geographic information systems (GIS). Based on the analysis results, the maximum flood discharge was obtained at 1.911 m<sup>3</sup>/s. Apart from that, this research provides the results of identifying the potential area of flood inundation at the location that is the object of research, namely inundation covering an area of 997,66 ha with a wide distribution based on an inundation depth of 1 m covering an area of 168,06 ha, a depth of 2 m covering an area of 1 m. 230,85 ha, depth 3 m 256,03 ha, depth >3 m area 342,72 ha.

**Keywords:** *flood, inundation, watershed, kampar, hydropower reservoir*

**Abstrak** – Kabupaten Kampar merupakan daerah yang mempunyai waduk pembangkit listrik tenaga air terbesar di Provinsi Riau yaitu Waduk PLTA Koto Panjang yang berfungsi mengatur debit aliran masuk dan keluar. Permasalahan yang terkadang terjadi adalah curah hujan yang tinggi sehingga debit aliran masuk tidak dapat lagi ditampung oleh waduk. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis daerah genangan banjir pada pola operasional Waduk PLTA Koto Panjang di DAS Kampar. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa; data historis curah hujan di DAS Kampar, data inflow dan outflow dari waduk PLTA Koto Panjang dan data topografi dari DEMNAS. Adapun data primer berupa kondisi topografi dan penampang Sungai Kampar. Analisis debit banjir pada penelitian ini menggunakan metode Gamma I sedangkan untuk memetakan daerah genangan banjir berbasis sistem informasi geografis (SIG). Berdasarkan hasil analisis diperoleh debit banjir maksimum sebesar 1.911 m<sup>3</sup>/s. Selain itu penelitian ini memberikan hasil identifikasi potensi wilayah genangan banjir pada lokasi yang menjadi objek penelitian, yaitu genangan seluas 997,66 ha dengan sebaran luas berdasarkan kedalaman genangan 1 m meliputi luas 168,06 ha, kedalaman 2 m seluas 1 m. 230,85 ha, kedalaman 3 m 256,03 ha, kedalaman >3 m luas 342,72 ha.

**Kata Kunci** – banjir, genangan, daerah aliran sungai, kampar, waduk PLTA.

## I. PENDAHULUAN

Sungai Kampar merupakan salah satu sungai besar di Provinsi Riau selain Sungai Siak, Sungai Rokan dan Sungai Indragiri. Sungai Kampar merupakan salah satu sungai yang penting karena berfungsi sebagai penyedia air domestik, irigasi dan industri. Panjang sungai kurang lebih 413,5 km, berhulu di suatu daerah di Provinsi Sumatera Barat dan

bermuara di pesisir Timur Pulau Sumatera, Provinsi Riau. Kedalaman rata-rata 7,7 meter dan lebar rata-rata 143 meter. Sungai Kampar mempunyai daerah aliran sungai (DAS) dengan luas kurang lebih 2.186.000 hektar, dengan luas daerah tangkapan air hujan sebesar 24.548 km<sup>2</sup>. [1] .

Sungai Kampar merupakan pertemuan dua buah sungai yang hampir sama besar, yang disebut dengan sungai Kampar Kanan dan sungai Kampar Kiri. Pertemuan ini berada di Kecamatan Langgam, Kabupaten Pelalawan. Setelah pertemuan tersebut sungai ini disebut dengan Sungai Kampar sampai ke muaranya di Selat Malaka. Sementara sekitar kawasan hulu air sungai ini dimanfaatkan untuk PLTA Koto Panjang yang mempunyai kapasitas 114 MW. Sementara di hilir menjelang muara, sungai ini terkenal dengan ombak besarnya yang bernama Ombak Bono. Keberadaan waduk PLTA Koto Panjang ini berfungsi sebagai pengatur tata kelola sumber daya air pada DAS Kampar. Pola operasional waduk PLTA Koto Panjang yaitu melakukan manajemen debit inflow dan outflow untuk mengatur ketersediaan air pada wilayah yang terintegrasi oleh waduk [2], [3]. Pola operasional Waduk PLTA Koto Panjang adalah bagaimana mengatur debit inflow dan outflow untuk mengatur ketersediaan air pada wilayah yang terintegrasi dengan waduk. [4], [5]

Permasalahan yang terkadang terjadi adalah curah hujan yang tinggi sehingga debit aliran masuk tidak dapat lagi ditampung oleh waduk, sehingga diperlukan pola operasional waduk melalui pengaturan bukaan pintu air (*spill way*). Berdasarkan data yang diperoleh dari operator pengelola waduk, riwayat penggunaan air di waduk PLTA Koto Panjang mempunyai kondisi ekstrim dimana pada musim hujan pintu pelimpah harus dibuka dengan ketentuan debit masuk waduk >1.000 m<sup>3</sup>/s dan waduk ketinggiannya di atas 83 mdpl. Pada kondisi ekstrim ini debit keluar reservoir dalam satu waktu bisa mencapai 1.348m<sup>3</sup>/s dimana 1.000 m<sup>3</sup>/s berasal dari pintu air dan 348 m<sup>3</sup>/s dari keluar turbin. Akibat pola operasional pintu air tersebut, terdapat potensi banjir di bagian hilir waduk. [6],[7],[8]

Dari permasalahan diatas maka perlu dilakukan penanganan mitigasi genangan banjir yang termasuk dalam aspek pengendalian daya rusak air. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi daerah yang berpotensi banjir terhadap pola operasional Waduk PLTA Koto Panjang di DAS Kampar. Urgensi dari penelitian ini adalah dapat dikembangkan melalui sistem peringatan dini (*early warning system*) genangan banjir akibat adanya pola operasional waduk PLTA Koto Panjang di DAS Kampar dengan penggunaan *internet of things* berbasis sensor sistem informasi.

## II. PENELITIAN YANG TERKAIT

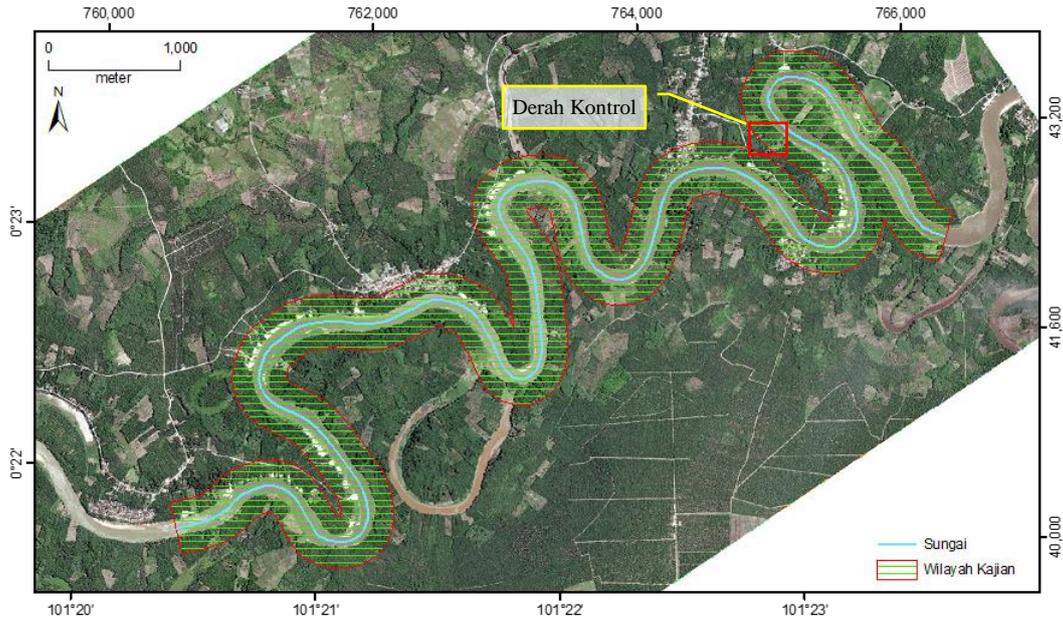
State of art penelitian ini unggul dalam pendekatan holistik dalam analisis banjir dan integrasi data yang komprehensif yang meliputi data historis curah hujan, elevasi muka air, data inflow dan outflow waduk, serta data topografi. Dengan demikian model peramalan banjir mempertimbangkan faktor-faktor di atas, mampu meramalkan banjir lebih akurat. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi, pengembangan model yang komprehensif, pemetaan yang mendetail, model numerik aliran yang terkalibrasi dengan fenomena di lapangan dan rekomendasi kebijakan untuk penanganan yang berbasis fakta di lapangan, yang secara kolektif dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mitigasi dan penanganan bencana banjir [9], [10].

## III. METODE PENELITIAN

Fokus lokasi penelitian berada di Desa Kualu, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar yang merupakan bagian sisi hilir waduk PLTA Koto Panjang pada DAS Kampar [11],[12]. Tahap awal penelitian ini dimulai dengan penentuan *catchment area*. Secara umum tahapan pembentukan batas-batas *catchment area* ini adalah sebagai berikut:

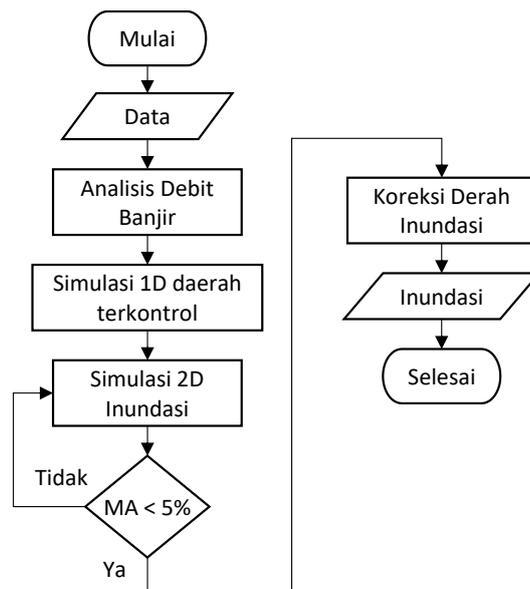
1. Menghilangkan bias ragam topografi dengan memotong atau mengisi data yang dianggap tidak wajar berdasarkan kondisi rata-rata lingkungan terdekat. Tahap ini dilakukan menggunakan fungsi *Fill*.
2. Menentukan arah aliran berdasarkan delapan arah mata angin berdasarkan kondisi topografi. Tahap ini dilakukan menggunakan fungsi *Flow Direction*.
3. Menentukan jumlah wilayah akumulasi dalam suatu arah aliran. Tahap ini dilakukan menggunakan fungsi *Flow Accumulation*.
4. Penentuan titik outlet dan delinasi/pembentukan batas-batas *catchment area*. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan fungsi *Watershed*.

Adapun Panjang sungai yang ditinjau berkisar 14,705 km [13][14]. Penggal sungai yang dikaji disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

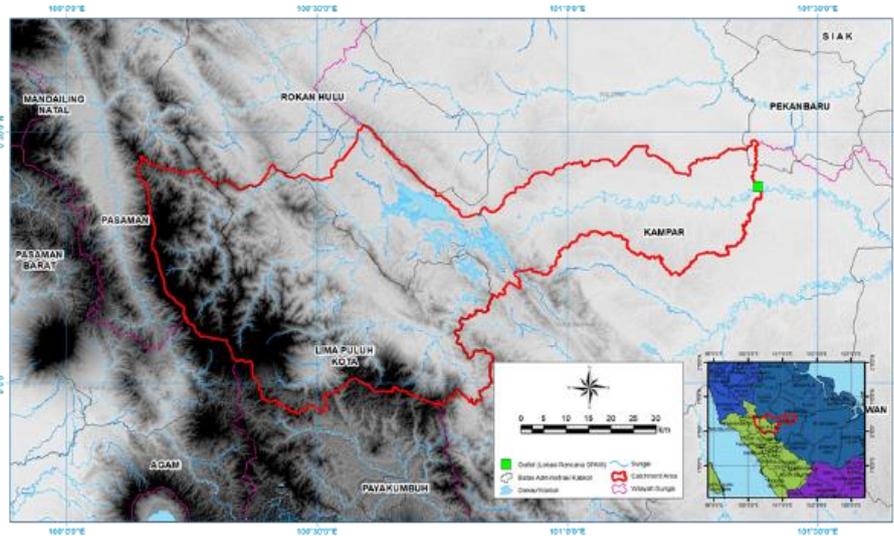
Data yang digunakan terdiri dari data hidrologi berupa data curah hujan dan data peta topografi diantaranya data bethimetri sungai, data penampang sungai, model elevasi digital DEMNAS resolusi 8m dan parameter DAS. Data hujan diolah menjadi data debit hidrograf banjir menggunakan metode GAMMA I dengan kala ulang yang digunakan adalah 50 tahun [15],[16]. Dari data debit hidrograf banjir dilakukan analisis elevasi tinggi muka banjir. Analisis daerah genangan atau inundasi dilakukan dengan melakukan simulasi pemodelan aliran 1D pada daerah yang terkontrol. Hasil simulasi ini memberikan nilai muka air yang selanjutnya akan digunakan sebagai nilai kalibrasi elevasi muka air inundasi. Inundasi diperoleh dengan melakukan simulasi pemodelan aliran 2D pada penggal sungai yang dikaji. Elveasi muka air hasil simulasi pemodelan aliran 2D selanjutnya dikalibrasi dengan nilai elevasi daerah terkontrol. Bila telah memenuhi, selanjutnya daerah inundasi dikoreksi dengan membuang daerah inundasi bercelah atau daerah inundasi yang tidak terkoneksi langsung pada daerah inundasi utama dari sungai [17],[18]. Seluruh simulasi aliran dilakukan menggunakan HEC-RAS versi 6.0. Diagram alir untuk kajian ini disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

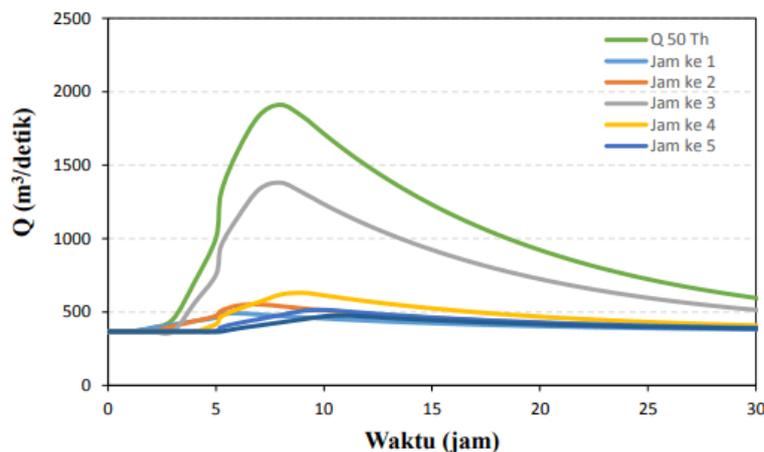
Penentuan daerah aliran sungai atau Catchment Area menjadi analisis pertama yang dilakukan dalam penelitian ini. Catchment Area di analisis dengan pendekatan teknik SIG (Sistem Informasi Geografis). Teknik ini menggunakan pendekatan topografi dan kemiringan sebagai fungsi dasar dalam menentukan arah aliran disuatu Kawasan [19]. Arah aliran ini secara kumulatif akan membentuk kawasan aliran yang menuju pada aliran yang sama. Wilayah daerah aliran sungai dari sungai yang disaji memiliki luas 4422,973 km<sup>2</sup>. Peta daerah aliran sungai disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Peta Daerah Aliran Sungai

Setelah pembuatan peta daerah aliran Sungai yang menjadi Lokasi daerah penelitian maka selanjutnya dilakukan analisis perhitungan curah hujan yang keluarannya adalah hidrograf debit banjir dengan menggunakan metode Gamma I. Komponen penyusun hidrograf yaitu aliran permukaan dan aliran dasar [20]. Aliran permukaan disebabkan oleh hujan efektif sedangkan aliran dasar adalah aliran konstan baik dari sumbangan air tanah atau pun bangunan air. Karena lokasi kajian dipengaruhi operasional Waduk PLTA Koto Panjang, maka aliran dasar yang ada akan dipengaruhi oleh operasional bendungan tersebut. Oleh sebab itu perlu dilakukan pertimbangan aliran dasar berdasarkan operasional bendungan.

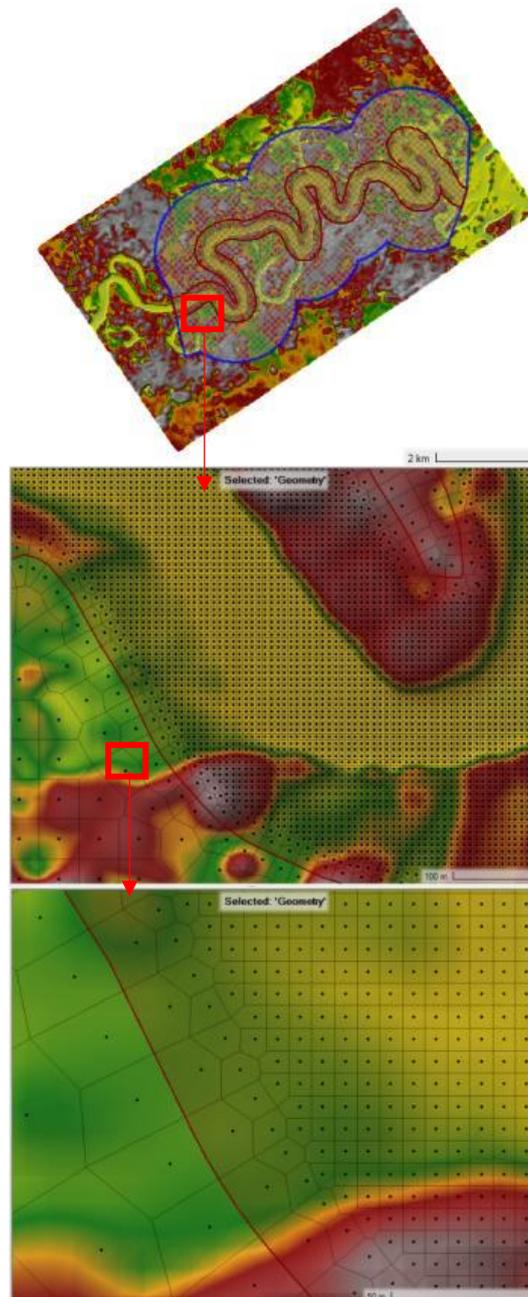
Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak PT. PLN (Persero) di PLTA Koto Panjang, operasional debit outflow maksimum bendung adalah 348m<sup>3</sup>/s, berdasarkan spesifikasi teknis bendung. Sedangkan berdasarkan data operasional waduk yang diperoleh dari Unit Layanan PLTA Koto Panjang PT. PLN (Persero), dapat dilihat pada gambar 4.15, debit outflow maksimum berdasarkan pencatatan bulan Oktober 2020 hingga Februari 2020 adalah sebesar 352,64m<sup>3</sup>/s. Maka dalam analisis hidrograf debit banjir, debit aliran dasar ini nantinya akan digunakan yaitu 352,64m<sup>3</sup>/s berdasarkan data pengukuran. Hasil analisis debit hidrograf Gamma I untuk kala ulang 50 tahun di sajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Hidrograf Debit Banjir

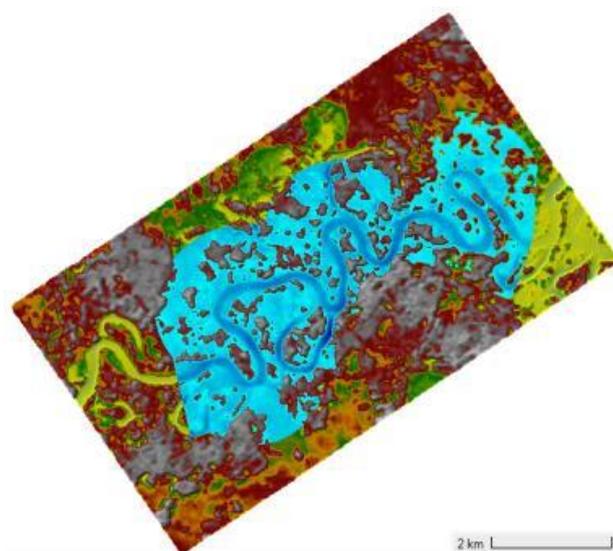
Berdasarkan hidrograf banjir hasil analisis di atas diperoleh debit maksimum kala ulang 50 tahun yaitu 1911m<sup>3</sup>/s pada jam ke-10. Kemudian debit disimulasi pada daerah terkontrol dan diperoleh elevasi muka air yaitu 13.56m.

Simulasi 2D selanjutnya dilakukan pada lokasi penelitian dengan menggunakan fungsi full 2D aliran tak permanen dengan menggunakan input debit pada simulasi sebelumnya. Sedang mesh grid untuk analisis inundasi dibatasi hanya pada buffer area 2km dari garis sungai dengan dimensi grid 50m dan *buffer area* 200m dari garis sungai dengan dimensi grid 8m, yang disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 5. Model Mesh Grid

Dari pembuatan model mesh grid diatas selanjutnya dilakukan simulasi aliran untuk daerah Lokasi penelitian yang terjadi genangan atau inundasi. Hasil simulasi aliran untuk daerah inundasi disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 6. Hasil Simulasi Inundasi

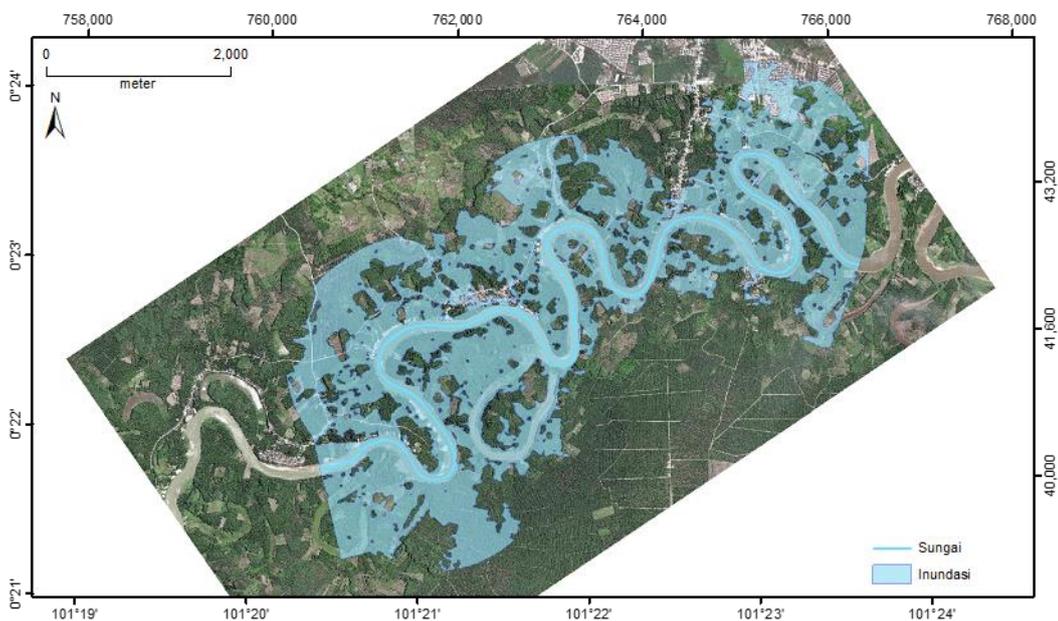
Berdasarkan hasil simulasi maka dilakukan kalibrasi muka air sebagai berikut ini.

$$\frac{([MA]_{1D} - [MA]_{2D})}{[MA]_{1D}} \times 100\% \leq 5\%$$

$$\frac{(13,56 - 13,48)}{13,56} \times 100\% \leq 5\%$$

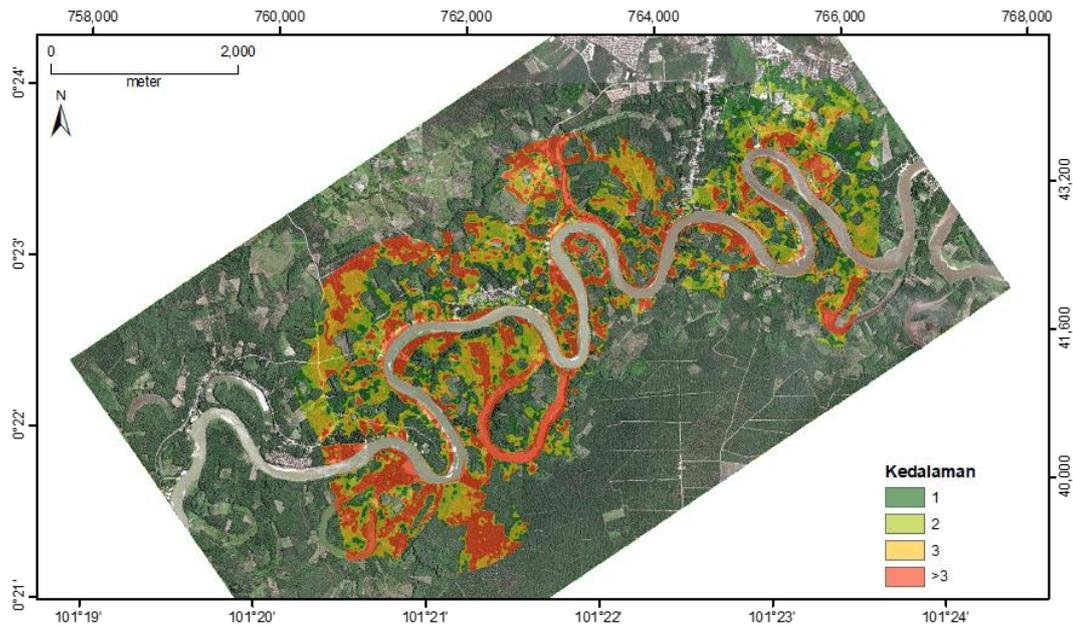
$$0,59\% \leq 5\% \dots \text{Ok}$$

Dari perhitungan diatas diketahui elevasi muka air hasil 2D telah memenuhi kesalahan minimum 5%. Area inundasi selanjutnya dikoreksi dengan membuang daerah genangan yang tidak terkoneksi langsung dengan sungai. Peta inundasi hasil koreksi disajikan pada gambar berikut ini



Gambar 7. Inundasi Area

Selanjutnya akan dibuat peta untuk klasifikasi genangan banjir dengan parameter tinggi genangan. Tinggi genangan diperoleh dari simulasi aliran dengan bantuan software HEC-RAS versi 6.0. Adapun peta wilayah genangan beserta tinggi genangan banjir di lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Kedalaman Genangan dalam Meter

Luas genangan diperoleh sebesar 997,66ha. Distribusi luas berdasarkan kedalaman genangan disajikan pada tabel berikut ini.

TABEL I  
LUAS GENANGAN DAN TINGGI GENANGAN BANJIR DI LOKASI PENELITIAN

Kedalaman	Luas (ha)
1 m	168.06
2 m	230.85
3 m	256.03
>3 m	342.72
Total	997.66

Sumber: Analisis, 2024

Analisis debit banjir pada penelitian ini dengan menggunakan metode Gamma I diperoleh debit banjir sebesar 1911 m<sup>3</sup>/s. Untuk debit rencana diambil nilai debitnya setelah dikalikan dengan SF (Faktor Keamanan) sebesar 1,1 sehingga debit banjir maksimum yang menjadi debit rencana tinggi muka air adalah 2102,72 m<sup>3</sup>/s. Jika dilihat dari debit aliran keluar kritis, debit desain rencana masih cukup aman dengan faktor keamanan sebesar 1,56. Analisis tinggi muka air banjir maksimum diperoleh 13,58 m. Jika dianalisis dengan faktor keamanan, ketinggian muka air banjir adalah 14,28m (HWL).

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan informasi prediksi luas genangan banjir di lokasi penelitian seluas 997,66 ha dengan sebaran luas berdasarkan kedalaman genangan 1 m seluas 168,06 ha, kedalaman 2 m seluas 230,85 ha, kedalaman 3 m 256,03 ha, kedalaman >3 m seluas 342,72 ha. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk mitigasi bencana banjir berupa sistem peringatan dini (*early warning system*) genangan banjir akibat adanya pola operasional waduk PLTA Koto Panjang di DAS Kampar dengan penggunaan *internet of things*. Sehingga jika terjadi kelebihan debit pada waduk PLTA Koto Panjang daerah yang berada di hilirnya dapat melakukan mitigasi bencana genangan banjir menjadi lebih baik dan terukur.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Abdurrah Unit Pelayanan Pembangkit Listrik Tenaga Air Koto Panjang (di bawah PLN wilayah Riau) yang telah memberikan informasi data untuk penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

*Journal Article*

- [1] Akbari, D, Peranan Curah Hujan Terhadap Penurunan Debit Waduk PLTA Koto Panjang [online]. Program Studi Meteorologi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung. 2012
- [2] D. Akbari, “Peranan curah hujan terhadap penurunan debit Waduk PLTA Koto Panjang,” pp. 1–5, 2012.
- [3] I. Suprayogi et al., “Pengembangan Model Peramalan Inflow Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air Kotopanjang Menggunakan Pendekatan Anfis,” Pros. Semin. Nas. Pengelolaan Drh. Aliran Sungai Secara Terpadu, pp. 253–261, 2017. Hernandez-Ramirez, G, Emerging Markets for Ecosystem Services: A Case Study of the Panama Canal Watershed. *Journal of Environment Quality*. 37 (5): 1995. doi: 10.2134/jeq2008.0010br. 2008
- [4] Magar, R.B, dkk., Intermittent Reservoir Daily Inflow Prediction Using Lumped and Distributed Data Multi-Linear Regression Model. *Journal of earth system science*. 120(6): 1067-1084. 2011
- [5] M. Irianti, B. Nasrul, and Idwar, “Analisis Tingkat Bahaya Erosi Di Daerah Aliran Sungai Kampar Bagian Hulu,” Pros. Semin. Nas. Pelestarian Lingkung., pp. 1–7, 2017
- [6] Arvandi, “Kajian aliran dan fenomena alam Bono di muara sungai Kampar,” Universitas Gadjah Mada, 2008. [Online]. Available: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/37390>
- [7] ILaila D. Khulyati, M. T. Furqon, and B. Rahayudi, “Peramalan Status Siaga Banjir Berdasarkan Data Curah Hujan (Arr) Dan Tinggi Muka Air (Awlr) Menggunakan Metode Fuzzy Time Series (Studi Kasus: Perum Jasa Tirta I),” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 8, pp. 2509–2517, 2018, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/download/3977/1583>
- [8] S. Fadilah, Istiarto, and D. Legono, “Investigasi Penyebab Genangan Banjir Di Kawasan Aerotropolis Yogyakarta International Airport,” *Teknisia*, vol. 28, no. 1, pp. 13–24, 2023, doi: 10.20885/teknisia.vol28.iss1.art2
- [9] Y. T. Ahmadi, W. Soetopo, and P. Trijuwono, “Kajian Pola Operasi Waduk Tugu Dengan Inflow Debit Andalan Dan Inflow Debit Bangkitan Awlr,” *J. Tek. Pengair.*, vol. 8, no. 2, pp. 205–213, 2017, doi: 10.21776/ub.pengairan.2017.008.02.6
- [10] A. Sulaeman and E. Suhartanto, “Bengawan Solo Untuk Mendukung Peta Risiko,” *J. Tek. Pengair.*, vol. 8, no. November, pp. 146–157, 2017

*Electronic Publication, Information from the internet*

- [11] Raden Heru, “Banjir di Jalan Lintas Timur, Arus Lalu Lintas Buka Tutup,” *Media Center Riau*. Accessed: Mar. 12, 2024. [Online]. Available: <https://mediacenter.riau.go.id/read/83246/banjir-di-jalan-lintas-timur-arus-lalu-lintas.html> [Accessed: 05-Juni-2024].
- [12] HUMAS KODIM 0313, “Jalan Lintas Timur Sumatera di Pelalawan Terkepung Banjir,” 2024. Accessed: Mar. 05, 2024. [Online]. Available: <https://kodim0313kampar.com/jalan-lintas-timur-sumatera-di-pelalawan-terkepung-banjir/> [Accessed: 07-Juni-2024].

*Monograph, edited book, book*

- [13] Unit Pengelola PLTA Koto Panjang, Laporan Bulanan operasional waduk PLTA Koto Panjang, 2021
- [14] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 04/PRT/M/2015 Tentang Kriteria Penetapan Wilayah Sungai
- [15] Asdak, C, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 2010
- [16] Sri Harto Br., Hidrologi Teori masalah penyelesaian, Nafiri Offset, Yogyakarta. 2000
- [17] Sudarmadji. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Watershed Management). 2007
- [18] Chay Asdak, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2022
- [19] M. A. Gentry, Bradford S; Newcomer, Quint; Anisfeld, Shimon C; Fotos Iii, Emerging Markets for Ecosystem Services A Case Study of the Panama Canal Watershed, 1st ed. Boca Raton, Florida, United States: CRC Press, 2007
- [20] Suwarno, Statistika Untuk Hidrologi. Bandung: PT. Nova, 1999.