



SIMULASI HIDRAULIK ELEVASI MUKA AIR SALURAN RAWASARI MENGGUNAKAN HEC-RAS

Aswar Amiruddin*¹, Aneza Ferdani Widiyanti ²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Jalan Amal Lama No. 1,
Tarakan Timur, Kota Tarakan, Kalimantan Utara
e-mail: [*aswaramir89@gmail.com](mailto:aswaramir89@gmail.com), afferdani@gmail.com,

ABSTRACT: *The Rawasari Channel is one of the channels in the West Tarakan Subdistrict that supplies water for the availability of water in the city of Tarakan. However, the Rawasari Channel sometimes experiences overflow during high rainfall intensity. The purpose of this research is to determine the water level in the Rawasari Channel through hydraulic simulation using HEC-RAS software. The repeated flood discharge periods used as parameters for this research are 50 years and 100 years, calculated using the Rational method. The flood discharge analysis results using the Rational method for a 50-year recurrence period are 21,098 m³/s, and for a 100-year recurrence period, it is 21,399 m³/s. Based on the HEC-RAS simulation, there is no significant difference in water surface elevations due to the 50 and 100-year floods. From the HEC-RAS simulation, it is also known that due to the flood discharge of 50 and 100 years, overflow occurs in the Rawasari Channel at stations STA 350, 325, 300, 150, and 125. The water surface elevation due to the 50-year flood at STA 350 is 20.38 m, and for STA 300, the water surface elevation for the 50-year flood is 20.29 m. The elevation of the land surface around STA 350 and STA 300 ranges from 19.99 m to 20.19 m, so the height of the inundation due to the overflow of the Rawasari Channel is known to be between 11 cm and 30 cm.*

Keywords: *Flood, Rawasari Channel, HEC-RAS.*

ABSTRAK: Saluran Rawasari merupakan salah satu saluran di Kecamatan Tarakan Barat yang memberikan suplai air bagi ketersediaan air di Kota Tarakan. Namun Saluran Rawasari terkadang mengalami overflow saat intensitas hujan tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tinggi muka air di Saluran Rawasari melalui simulasi hidraulik menggunakan software HEC-RAS. Periode ulang debit banjir yang digunakan sebagai parameter aliran penelitian ini adalah 50 tahun dan 100 tahun yang dihitung menggunakan metode Rasional. Hasil analisis debit banjir metode Rasional untuk periode ulang 50 tahun adalah 21,098 m³/dtk, dan 21,399 m³/s untuk periode ulang 100 tahun. Berdasarkan simulasi HEC-RAS, tidak ada perbedaan signifikan antara elevasi muka air akibat banjir 50 dan 100 tahun. Dari simulasi HEC-RAS juga diketahui akibat debit banjir 50 dan 100 tahun terjadi overflow di Saluran Rawasari yakni pada STA 350, 325, 300, 150 dan 125. Elevasi muka air akibat banjir 50 tahun pada STA 350 sebesar 20,38 m dan untuk STA 300, elevasi muka air banjir 50 tahun 20,29 m, elevasi permukaan lahan sekitar STA 350 dan STA 300 berkisar antara 19,99 m – 20,19 m sehingga diketahui tinggi genangan akibat overflow Saluran Rawasari antara 11 cm - 30 cm.

Kata kunci: Banjir, Saluran Rawasari, HEC-RAS

1. PENDAHULUAN

Banjir menjadi salah satu bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di Indonesia. Berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNBP) kejadian bencana banjir di Indonesia dari tahun 1900

sampai dengan 2016 tercatat sebanyak 31,3% dibandingkan kejadian bencana lainnya dan hal ini menunjukkan bahwa bencana banjir seolah tidak pernah lepas dari Indonesia pada saat musim hujan (Amsori et al., 2017). Tarakan merupakan salah satu Kota di Indonesia yang rentan terhadap bencana hidrometeorologi (Amiruddin et al., 2023). Diantara penyebab banjir di Kota Tarakan adalah perubahan fungsi lahan yang mengakibatkan tingginya aliran permukaan (runoff) (Handayani & Rahmad, 2022).

Salah satu daerah yang sering mengalami banjir di Tarakan adalah Kecamatan Tarakan Barat (Faizal et al., 2020). Gambar 1 menunjukkan salah satu saluran yang berada di Kecamatan Tarakan Barat, tepatnya berada di Kelurahan Karang Harapan. Saluran pada Gambar 1 merupakan saluran yang mengalirkan air menuju ke Embung Rawasari. Pada tahun 2023 saluran ini mengalami overflow sebanyak dua kali, yakni bulan Januari dan Maret.



Gambar 1 Banjir yang terjadi pada Saluran Rawasari

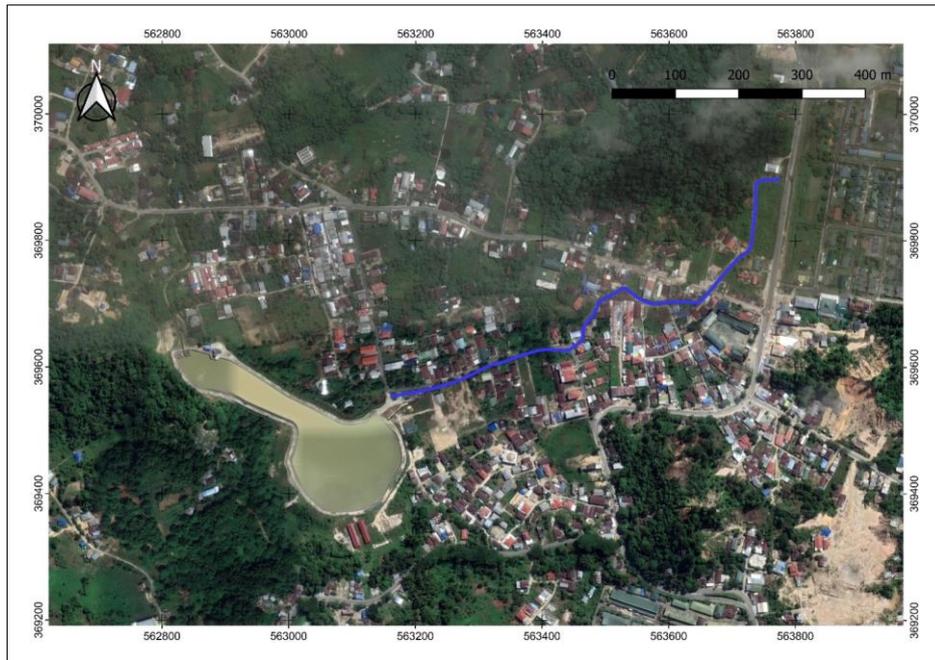
HEC-RAS merupakan software pemodelan hidrolis yang dapat membantu pengguna menghitung ketinggian permukaan air pada saluran. Beberapa peneliti juga menggunakan hec-ras untuk mengetahui sebaran genangan banjir, bahkan menurut Azimah, tahun 2019 HEC-RAS dapat memberikan gambaran serupa dengan kondisi di lapangan (Azimah et al., 2019). HEC-RAS dapat menganalisa perhitungan profil permukaan air, perhitungan transpor sedimen, perhitungan kualitas air dan simulasi aliran non permanen. HEC-RAS adalah program aplikasi yang mengintegrasikan analisis hidrolis, grafik, pelaporan, fitur antarmuka pengguna grafis, dan manajemen (Istiarito, 2018). Prastica 2018, menggunakan pemodelan HEC-RAS untuk mengidentifikasi daerah rawan, memperoleh informasi tingkat limpasan, dan menunjukkan karakteristik penampang hilir Sungai Bengawan Solo (Prastica et al., 2018).

Berdasarkan permasalahan tersebut maka kami tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “Pemodelan Elevasi Muka Air Saluran Rawasari Menggunakan HEC-RAS”. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis elevasi muka air di saluran berdasarkan nilai debit banjir 50 dan 100 tahun menggunakan software HEC-RAS.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Rawasari Kota Tarakan yang berlokasi di Kelurahan Karang Harapan, Kecamatan Tarakan Barat, Kota Tarakan. Penelitian ini dilakukan sepanjang ± 350 meter pada Saluran Rawasari. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Lokasi Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Data penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer penelitian ini yaitu data topografi lokasi penelitian menggunakan metode Terrestri (Sobatnu, 2018). Alat yang digunakan survei topografi adalah Total Station (Novriza & Agusmaniza, 2020). Pemilihan metode survei ini dikarenakan untuk simulasi aliran hidraulika menggunakan HEC-RAS membutuhkan data geometri saluran yang detail. Data sekunder pada penelitian ini adalah data hujan harian maksimum tahun 2011-2022 yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Selain itu, untuk memperoleh karakteristik daerah tangkapan (*watershed*) diperlukan data *Digital Elevation Model* (DEM) selanjutnya data dianalisis menggunakan bantuan software HEC-HMS (Amiruddin et al., 2021). Data DEM dapat diperoleh melalui platform Badan Informasi Geospasial <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.

2.3. Analisis Hidrologi

Debit banjir pada penelitian ini merupakan hasil analisis hidrologi dengan menggunakan data curah hujan. Menghitung debit rencana dimulai dari menghitung curah hujan rencana yaitu banyaknya hujan yang turun dengan periode ulang tertentu. Metode untuk menghitung curah hujan rencana adalah analisis frekuensi dengan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III menggunakan persamaan (1) (Putranda, 2022).

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T \cdot S \quad (1)$$

Dimana, $\log X_T$ adalah nilai logaritma suatu variabel yang diharapkan terjadi pada periode kembali tertentu, $\log \bar{X}$ adalah nilai rata-rata logaritma X, faktor frekuensi K_T . (tabel nilai K_T untuk Log Pearson distribusi III) dan S adalah simpangan baku dari logaritma X. Pemilihan metode ini melalui pemilihan jenis distribusi berdasarkan nilai koefisien skewness (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) seperti terlihat pada tabel 1 (Triatmodjo, 2013).

Tabel 1 Pemilihan Jenis Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$

No	Distribusi	Persyaratan
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Person III	Selain dari nilai di atas

Selanjutnya jika curah hujan rencana selesai dihitung, selanjutnya adalah melakukan perhitungan intensitas curah hujan menggunakan metode mononobe seperti pada persamaan (2). Metode ini dapat digunakan apabila tidak tersedia data curah hujan jangka pendek dan hanya tersedia data curah hujan harian saja (Suripin, 2004).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2)$$

Dimana R_{24} adalah curah hujan rencana (mm) dan t adalah durasi hujan (jam). Setelah memperoleh nilai intensitas hujan, perhitungan berikutnya adalah debit banjir. Pada penelitian ini debit banjir dihitung dengan menggunakan metode rasional seperti pada persamaan (3). Metode rasional menghasilkan debit puncak (*peak discharge*) sehingga debit ini merupakan debit banjir non hidrograf (Limantara, 2018).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (3)$$

Dimana Q adalah debit (m^3/dtk), C adalah koefisien *runoff* (koefisien limpasan) yang diperoleh dari interpretasi jenis tutupan lahan, I adalah intensitas hujan (mm/jam) dan A adalah luas daerah tangkapan (km^2), konstanta 0,278 digunakan apabila satuan yang digunakan pada luas daerah tangkapan menggunakan km^2 (Sosrodarsono & Takeda, 2003). Metode rasional memiliki asumsi bahwa bahwa terdapat hubungan linear antara debit puncak dan waktu tiba banjir t_c (Limantara, 2018). Waktu konsentrasi ini dapat digunakan pada persamaan mononobe. Persamaan waktu konsentrasi dapat menggunakan metode Kirpich seperti terlihat pada persamaan (4).

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right) \quad (4)$$

Selanjutnya, untuk menghitung nilai C diperlukan data tutupan lahan, sehingga kami menggunakan data sekunder berupa peta tutupan lahan tahun 2013 yang diperoleh dari Pemerintah Kota Tarakan. Setelah semua parameter diperoleh maka selanjutnya dilakukan pemodelan hidraulika. Parameter pengaliran yang digunakan pada pemodelan HEC-RAS adalah debit banjir rancangan hasil perhitungan metode Rasional, nilai debit ini digunakan sebagai kondisi batas pengaliran. Beberapa pemilihan kondisi batas (*boundary condition*) penelitian ini adalah aliran tetap (*steady flow*) di hulu dan kedalaman normal (*normal depth*) di hilir (US Army Corps of Engineers, 2024).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Topografi Saluran

Hasil survei topografi penelitian ini adalah peta situasi, potongan memanjang, dan potongan melintang saluran. Salah satu penampang melintang saluran dapat dilihat pada gambar 3. Selain potongan melintang saluran sebagai geometri penampang saluran, HEC-RAS juga memerlukan data kemiringan dasar saluran sebagai masukan untuk kondisi batas di hilir. Nilai kemiringan ini dapat diperoleh dari potongan memanjang saluran seperti terlihat pada tabel 2.



Gambar 3 Penampang Melintang

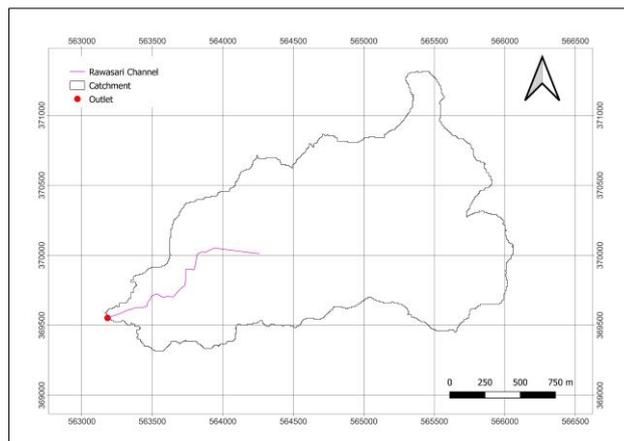
Tabel 2 Kemiringan dasar saluran

No.	STA	Elevasi (m)	Jarak Antar STA (m)	Beda Tinggi (m)	Kemiringan (%)
1	0+000	15,836			
2	0+025	16,450	25	0,614	0,0246
3	0+050	16,531	25	0,081	0,0032
4	0+075	16,776	25	0,245	0,0098
5	0+100	16,883	25	0,107	0,0043
6	0+125	17,067	25	0,184	0,0074
7	0+150	17,329	25	0,262	0,0105
8	0+175	17,565	25	0,236	0,0094
9	0+200	17,645	25	0,08	0,0032
10	0+225	17,706	25	0,061	0,0024
11	0+250	17,912	25	0,206	0,0082
12	0+275	18,240	25	0,328	0,0131
13	0+300	18,414	25	0,174	0,0070
14	0+325	18,609	25	0,195	0,0078
15	0+350	18,788	25	0,179	0,0072
16	0+365	18,852	15	0,064	0,0043
Rata-rata kemiringan dasar saluran					0,0082

Berdasarkan tabel 2 diketahui bahwa kemiringan dasar saluran rata-rata adalah 0,0082. Nilai kemiringan dasar rata-rata ini selanjutnya digunakan sebagai nilai kondisi batas hilir *normal depth* di HEC-RAS.

3.2. Daerah Tangkapa Air (*Cathment Area*)

Delineasi daerah tangkapan air pada penelitian ini dianalisis menggunakan HEC-HMS. Berdasarkan hasil analisis diperoleh luas daerah tangkapan air adalah 2,99 km² dengan panjang saluran 1,4 km seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil delineasi daerah tangkapan HEC-HMS

Berdasarkan hasil pemodelan HEC-HMS diperoleh panjang sungai adalah 1,4 km, akan tetapi tim peneliti memberikan batasan untuk panjang saluran yang ditinjau dikarenakan keterbatasan biaya, dan juga beberapa bagian dari saluran ini masuk dalam kawasan militer batalyon 613 Tarakan. Selanjutnya, batas DAS ini digunakan untuk melakukan analisis SIG untuk memperoleh nilai luas dari masing-masing jenis tutupan lahan seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3 Persentase masing-masing luas tutupan lahan Daerah Tangkapan

Keterangan	Persentase Luas (%)	Koefisien, C	Persentase C (%)
Padang rumput - jelek - belukar	26,155	0,35	9,154
Hutan	45,239	0,25	11,310
Tempat terbuka - pekarangan sedang	8,829	0,25	2,207
Tanah yang diolah dan ditanami	16,6	0,41	6,806
Industri	0,048	0,9	0,043
Permukiman	3,13	0,75	2,348
Total			31,867

Berdasarkan tabel 1 diperoleh nilai C sebesar 31,867% atau 0,31867, selanjutnya nilai ini digunakan pada perhitungan debit banjir metode Rasional persamaan (3).

3.3. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dimulai dari analisis data curah hujan. Data yang digunakan untuk analisis hidrologi adalah data curah hujan maksimum harian tahun 2010 sampai dengan tahun 2022 yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Data curah hujan

Tahun	Data curah hujan maksimum (mm)
2010	137,9
2011	114,6
2012	137,5
2013	117,4
2014	117,4
2015	103,6
2016	135,8
2017	157,2
2018	115,8
2019	132
2020	130,4
2021	101,1
2022	75,4

Data hujan pada tabel 2 dianalisis terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter statistik dasar. Berdasarkan hasil analisis statistik dasar, diperoleh nilai parameter statistik sebagai berikut, nilai standar deviasi, $S = 20,753$, nilai koefisien skewness, $C_s = -0,551$, nilai koefisien variat, $C_v = 0,171$ dan koefisien kurtois, $C_k = 2,722$. Berdasarkan uji kesesuaian sebaran dengan mengacu pada nilai batas sebaran pada tabel 1, maka perhitungan curah hujan rencana pada penelitian ini menggunakan metode Pearson Log Type III (persamaan 1) dengan hasil perhitungan curah hujan rencana periode ulang 50 dan 100 tahun seperti terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data curah hujan rancangan

Periode Ulang (tahun)	Hujan rancangan (mm)
50	155,0474
100	157,2588

Setelah mengetahui nilai curah hujan rencana, intensitas hujan dihitung menggunakan metode mononobe (persamaan (2)). Pada tahap ini juga dilakukan perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan (4). Hasil perhitungan intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Intensitas hujan

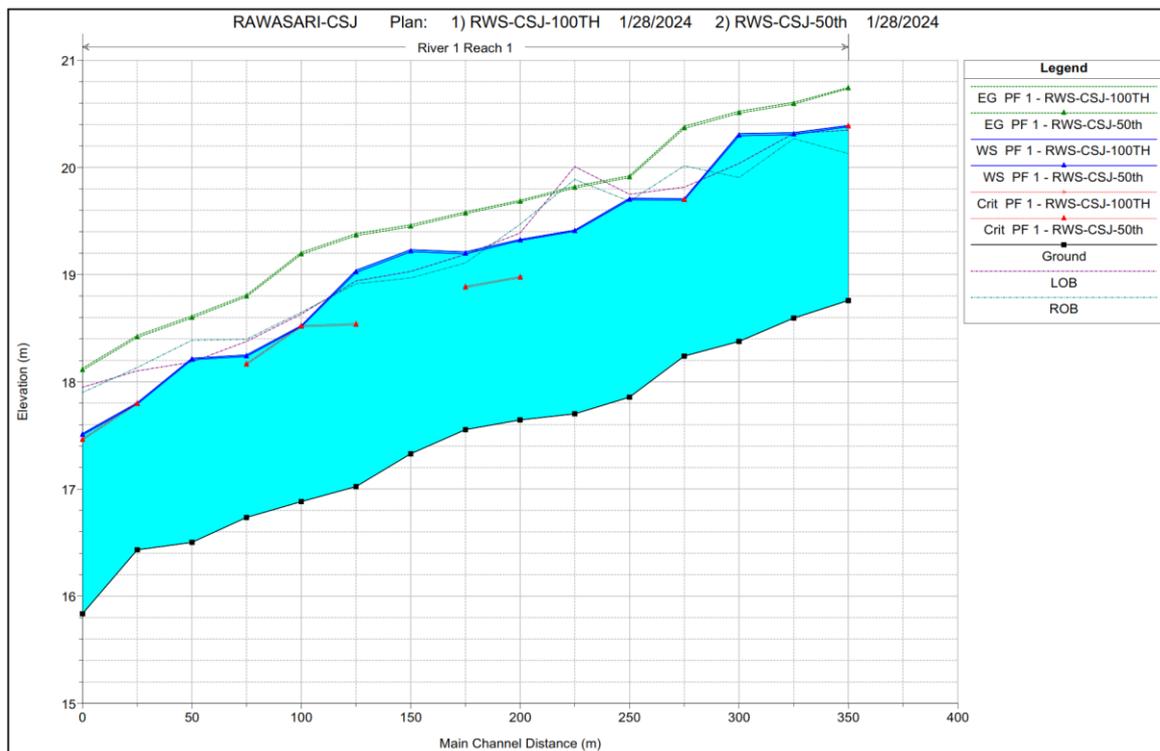
Periode Ulang (tahun)	Hujan Rancangan (mm)	Waktu konsentrasi, t_c (jam)	Intensitas hujan (mm/jam)
50	155,0474	0,55467	79,623
100	157,2588	0,55467	80,758

Setelah semua parameter penghitungan banjir rencana metode rasional diketahui, selanjutnya digunakan nilai parameter untuk menghitung debit banjir menggunakan persamaan (3). Berdasarkan perhitungan banjir metode rasional, debit banjir daerah tangkapan air Rawasari adalah 9,796 m³/dtk untuk periode ulang 5 tahun dan 10,261 m³/dtk untuk periode ulang 10 tahun. Debit banjir dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Debit banjir metode rasional

Periode Ulang (tahun)	Faktor konversi	Intensitas hujan (mm/jam)	Koefisien Limpasan (C)	Luas (km ²)	Debit Banjir (m ³ /dtk)
50	0,278	79,623	0,391	2,99	21,098
100	0,278	80,758	0,391	2,99	21,399

Data debit banjir tabel 7 digunakan sebagai masukan pada kondisi batas aliran tetap (*steady flow*) di hulu pada software HEC-RAS. Hasil simulasi HEC-RAS pada Saluran Rawasari dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 8.



Gambar 5 Profil permukaan air Saluran Rawasari hasil simulasi HEC-RAS

Tabel 8 Elevasi muka air Saluran Rawasari hasil simulasi HEC-RAS

Periode Ulang (year)	STA	Q Total (m ³ /s)	Elevasi Dasar Saluran (m)	Elevasi Muka Air Saluran (m)
50	350	21,098	18,76	20,38
100	350	21,399	18,76	20,39
50	325	21,098	18,59	20,31
100	325	21,399	18,59	20,33
50	300	21,098	18,38	20,29
100	300	21,399	18,38	20,32
50	275	21,098	18,24	19,7
100	275	21,399	18,24	19,71
50	250	21,098	17,86	19,7
100	250	21,399	17,86	19,71
50	225	21,098	17,7	19,4
100	225	21,399	17,7	19,41
50	200	21,098	17,64	19,32
100	200	21,399	17,64	19,33
50	175	21,098	17,55	19,19
100	175	21,399	17,55	19,21
50	150	21,098	17,33	19,21
100	150	21,399	17,33	19,23
50	125	21,098	17,02	19,02
100	125	21,399	17,02	19,04
50	100	21,098	16,88	18,51
100	100	21,399	16,88	18,52
50	75	21,098	16,73	18,24
100	75	21,399	16,73	18,25
50	50	21,098	16,5	18,21
100	50	21,399	16,5	18,22
50	25	21,098	16,43	17,79
100	25	21,399	16,43	17,8
50	0	21,098	15,84	17,5
100	0	21,399	15,84	17,52

Dari tabel 8 di atas, diketahui tidak terdapat perbedaan signifikan antara elevasi muka air Saluran Rawasari menggunakan data debit banjir periode ulang 50 tahun dan periode ulang 100 tahun. Hal serupa juga terlihat pada hasil simulasi aliran penelitian Prastica dkk dimana elevasi Sungai Bengawan Solo di titik 49 hanya berbeda 0,7 m antara debit 50 tahun dan 100 tahun (Prastica et al., 2018). Berdasarkan gambar 5, diketahui bahwa terjadi overflow di Saluran Rawasari pada beberapa stasiun untuk debit banjir 50 dan 100 tahun yakni pada STA 350, 325, 300, 150 dan 125. Ketinggian air terparah berada pada STA 350 dan STA 300. Elevasi muka air akibat banjir 50 tahun pada STA 350 sebesar 20,38 m sedangkan elevasi permukaan lahan sekitar STA 350 yaitu 20,14 m – 20,23 m sehingga tinggi genangan di sekitar STA 350 berkisar antara 15 cm - 34 cm. Sedangkan untuk STA 300, elevasi muka air banjir 50 tahun 20,29 m dan elevasi permukaan lahan sekitar STA berkisar antara 19,99 m – 20,18 m dengan tinggi genangan antara 11 cm - 30 cm.

4. KESIMPULAN

Dari analisis HEC-RAS disimpulkan bahwa dengan menggunakan debit banjir 50 tahun dan 100 tahun elevasi muka air Saluran Rawasari antara 17,5 m sampai dengan 20,39 m. Dari simulasi juga disimpulkan terjadi overflow pada beberapa titik yaitu STA 350, 325, 150 dan 125 dengan tinggi genangan antara 11 cm sampai dengan 30 cm. Simulasi hidraulik pada penelitian ini menggunakan asumsi saluran dalam keadaan baik tanpa adanya gangguan pada penampang saluran seperti bangunan melintang saluran dan pendangkalan akibat sedimentasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih banyak kepada semua pihak yang terlibat pada penelitian ini terutama kepada pimpinan Universitas Borneo Tarakan dan LPPM Universitas Borneo Tarakan yang membiayai penelitian ini lewat skema Riset Kompetensi Dosen Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, A., Asta, & Handayani, R. (2021). Penentuan Batas DAS Tojo Berbasis GIS Menggunakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(3), 273–282.
- Amiruddin, A., Roem, M., & Faizal, R. (2023). Analisis Tinggi Muka Air Kanal Bandara Kota Tarakan Akibat Pengaruh Pasang Surut Menggunakan HEC-RAS 6.0. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 301–312.
- Amsori, P. S., Asyantina, T., & Radhika. (2017). Informasi Peramalan Banjir Menggunakan Data Hujan dari Satelit (Flood Forecasting Information Using Rain Data from Satellites). *Jurnal Sumber Daya Air*, 13(2), 99–114.
- Azimah, M. N., Adib, M. R. M., & Mustafa, A. A. (2019). Integration of hydraulic model (HEC-RAS) with Geographical Information System (GIS) in developing flood evacuation center along Sembong River. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 220(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/220/1/012057>
- Faizal, R., Adi Prasetya, N., Alstony, Z., & Rahman, A. (2020). Evaluasi Sistem Drainase Menggunakan Storm Water Management Model (SWMM) dalam Mencegah Genangan Air di Kota Tarakan. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 143–154. <https://doi.org/10.35334/be.v3i2.1177>
- Handayani, R., & Rahmad, M. (2022). Study of Evaluation of Kenanga Road Drainage Channels, Karang Anyar Region, Tarakan City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1083(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1083/1/012073>
- Istiarto, I. (2018). *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan HEC-RAS*.
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi*. Andi Offset.
- Novriza, F., & Agusmaniza, R. (2020). Pemetaan Topografi Menggunakan Total Station Pada Komplek Sekolah Terpadu Teuku Umar Aceh Barat. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2(1), 41–48. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v2i1.42>
- Prastica, R. M. S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjiningsih, D., & Anggraheni, E. (2018). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012042>
- Putranda, J. (2022). Debit Banjir Rencana Pada DAS Citanduy Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, Hasper, Weduwen, Mononobe dan Analisis Frekuensi. *Jurnal Konstruksia*, 14(1), 152–161.
- Sobatnu, F. (2018). Survei Terrestis. In *Politeknik Bandung Press*. Politeknik Negeri Banjarmasin Press.

- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (2003). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset.
- Triatmodjo, B. (2013). *Hidrologi Terapan* (Cetakan ke). Beta Offset Yogyakarta.
- US Army Corps of Engineers. (2024). *HEC-RAS User's Manual* (Issue January).