

Analisis Kapasitas Efektif Tampungan Kali Pancir

Winda Harsanti¹⁾, Moh. Zenurianto²⁾, Marjono³⁾, Sitti Safiatus Riskijah⁴⁾, Ninda Prabawanti⁵⁾

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang, 65141

¹⁾winda.harsanti@polinema.ac.id

²⁾mzenpolinema@gmail.com

³⁾marjono@polinema.ac.id

⁴⁾ririssafiatus@gmail.com

⁵⁾nindaprabawanti@gmail.com

Abstract

Kali Pancir is one of the rivers in Jombang Regency which often experiences flooding. The cause was heavy rain and the critical condition of the embankments. In this research, flood discharge analysis was carried out using synthetic hydrographs and hydraulic modeling for river flow. The data needed is rain data from rain stations around the Pancir River and river profiles. The method used to calculate flood discharge is the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph for 6 different return periods. Simulation using HEC-RAS software is used to simulate flow profiles to determine river cross-sections that are critical to flooding. Based on the results of the calculation analysis, it was found that the peak flood discharge occurred at 3.5 hours. The greater the return period, the greater the river cross section that experiences overflow. At a return period of 1.01 years, the critical cross section starts at STA 45, while at a return period of 50 years, the critical cross section occurs starting at STA 6.

Keywords: Hydrograph, Overflow, Pancir River.

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan pokok bagi manusia yang diperlukan pada hampir seluruh aktivitas manusia. Di sisi lain, air juga menjadi penyebab fenomena bencana yang hampir terjadi di seluruh kota di Indonesia [1]. Tiga permasalahan yang umum terjadi yang diakibatkan oleh air adalah banjir, kekeringan dan pencemaran. Banjir adalah suatu kejadian adanya genangan pada lahan yang umumnya kering atau dapat juga terjadi akibat adanya limpasan air dari sungai yang diakibatkan limpasan air dari sungai yang melebihi daya tampung aliran sungai itu sendiri [2].

Jombang merupakan salah satu wilayah yang ada di Provinsi Jawa Timur. Di Kabupaten Jombang, banjir sudah menjadi permasalahan rutin yang terjadi setiap tahunnya. Berdasarkan laporan kejadian banjir tahun 2016 sampai 2019 oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah Jawa Timur, salah satu sungai yang sering menyebabkan terjadinya banjir adalah Kali Pancir. Beberapa wilayah yang sering terendam karena luapan sungai ini antara lain Desa Mancilan, Kademangan, Mojotrisno, Betek, Karobelah, Kedunglumpang, dan Tanggalrejo Kecamatan Mojoagung. Kedalaman air banjir yang pernah terjadi di tahun 2021 mencapai 2 m yang berdampak pada lebih dari 600 kepala keluarga [3]. Penyebab dari kejadian banjir ini adalah hujan deras yang terjadi di hulu Kali Pancir yang mengakibatkan meluapnya aliran air di sepanjang aliran sungai ini. Penyebab lain dari banjir yang terjadi adalah kondisi tanggul sungai yang semakin kritis yang tidak diperbaiki.

2. Metode Penelitian

Kajian Pustaka yang diberikan adalah dasar teori yang digunakan dalam analisis perhitungan dan pemodelan.

2.1. Curah Hujan Daerah

Dalam tujuan penyusunan rencana pemanfaatan air dan pengendalian banjir maka penyusunan rancangan curah hujan diperlukan. Curah hujan yang dirancang adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada titik tertentu saja. Curah hujan daerah ini dapat diperkirakan dari hujan di beberapa pos stasiun pengamatan hujan di sekitar wilayah studi [4]. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung besarnya curah hujan daerah, salah satunya adalah metode rata-rata aljabar seperti yang diberikan pada persamaan berikut ini [5].

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \sum_i^n \frac{X_i}{n} \quad (2-1)$$

Dengan:

\bar{X} : Curah hujan rata-rata (mm)

X_i : Curah hujan yang tercatat pada masing-masing stasiun (mm)

n : Jumlah stasiun hujan

2.2. Curah Hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode gumbel, yaitu dengan persamaan berikut [6]

$$X_r = \bar{x} + S \cdot k \quad (2-2)$$

$$k = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2-3)$$

$$Y_t = -\ln \left(-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \quad (2-4)$$

Dengan:

- Xr : curah hujan rancangan (mm)
- \bar{X} : curah hujan rata-rata (mm)
- S : Standar deviasi
- k : Faktor frekuensi k untuk harga ekstrim

Gumbel

- Y_T : Reduce Variate
- Y_n : Reduce Variate Mean
- S_n : Reduce Variate Standart Deviation
- Tr : Kala ulang hujan (tahun)

Besarnya nilai Y_n dan S_n diperoleh dari tabel berikut ini berdasarkan jumlah data yang dimiliki.

Tabel 1. Nilai Y_n Dan S_n

Jumlah Data	Y_n	S_n
10	0,4592	0,9496
11	0,4996	0,9676
12	0,5053	0,9933
13	0,5070	0,9971
14	0,5100	1,0095

2.3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah koefisien aliran permukaan sebagai laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Koefisien aliran menunjukkan efek daerah aliran sungai terhadap kehilangan air hujan yang menjadi aliran permukaan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besaran koefisien aliran (C) yaitu kemiringan lereng, kelembaban tanah, infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Besarnya nilai C tergantung dari jenis tata guna lahan pada DAS. Beberapa nilai C diberikan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Koefisien Pengaliran

Kondisi DAS	Koefisien Pengaliran
Pegunungan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0,50 – 0,75
Dataran pertanian	0,45 – 0,60
Dataran sawah irigasi	0,70 – 0,80
Sungai di pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai di dataran rendah	0,45 – 0,75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di dataran rendah	0,50 – 0,75

2.4. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air hujan dari titik terjauh menuju suatu titik tertentu [8]. Definisi lain menyebutkan waktu konsentrasi hujan atau yang disebut juga waktu tiba banjir merupakan waktu

aliran yang dihitung mulai terjadinya awal hujan di bagian hulu DAS sampai ketika seluruh daerah sungai berperan pada proses pengaliran. Ada berbagai rumus empiris yang dapat digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi (t_c) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris Mc. Dermott sebagai berikut [9]:

$$t_c = 0,76 \cdot A^{0,38} \quad (2-5)$$

Dengan:

- t_c : waktu konsentrasi (jam)
- A : luas DAS (km²)

2.5. Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan tinggi curah hujan atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Intensitas hujan diartikan pula sebagai curah hujan rata-rata selama waktu tiba banjir (t_c). Nilai intensitas hujan dihitung dengan menggunakan persamaan Mononobe dimana data yang digunakan yaitu data curah hujan harian. Intensitas metode ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [10]:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad (2-6)$$

Dengan:

I : intensitas hujan rata-rata (mm/jam)

t : lamanya hujan (jam)

R_{24} : curah hujan harian (mm)

2.6. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan bagian dari hujan total yang berupa aliran langsung (*direct runoff*) yang nilainya dipengaruhi nilai koefisien aliran (C). Dimana proses perubahan hujan menjadi aliran langsung diasumsikan berupa proses linear yang tidak berubah oleh waktu (linear and time invariant process). Besaran nilai curah hujan efektif (Re) dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$Re = d_{\text{rancangan}} \cdot C \quad (2-7)$$

Dengan:

Re : Curah hujan efektif (mm/jam)

d_{rancangan} : Curah hujan rancangan (mm/jam)

C : Koefisien aliran

Nilai curah hujan jam-jaman (jam ke-t) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_t = Re \cdot Pt \quad (2-8)$$

Dengan:

R_t : curah hujan jam ke-t (mm/jam)

Re : curah hujan efektif (mm/jam)

Pt : rasio curah hujan jam ke-t (%)

2.7. Hidrograf satuan sintetik

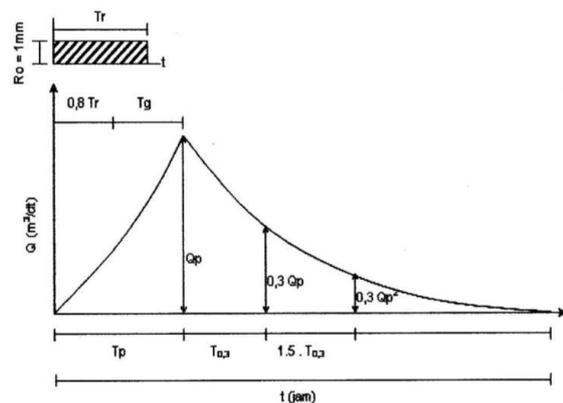
Hidrograf satuan adalah suatu hidrograf tipikal dari suatu basin yang merupakan penjumlahan hidrograf-hidrograf dasar. Disebut hidrograf satuan karena untuk penyederhanaan, volume aliran permukaan pada hidrograf disesuaikan dengan 1 cm kedalaman ekuivalen di atas basin [11]. Metode hidrograf sintetik yang digunakan pada penelitian ini ada metode Higoograf Satuan Sintetik Nakayasu.

Hidrograf Nakayasu menurunkan rumus hidrograf satuan sintetik berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian pada beberapa sungai di Jepang [12]. Dalam penggunaan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu, diperlukan beberapa parameter yang berhubungan dengan karakteristik daerah aliran sungai, antara lain yaitu: Luas daerah aliran sungai (DAS), panjang sungai utama dan koefisien aliran. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut [13]:

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 (0,3 \cdot T_p + T_{0,3})} \quad (2-9)$$

Dengan:

- Q_p : debit puncak banjir (m³/detik)
- C : koefisien pengaliran
- R_o : satuan curah hujan (mm)
- A : luas daerah aliran sungai (km²)
- T_p : tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- T_{0,3} : waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)



Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetik

2.8. Pemodelan Hidrolika

HEC-RAS adalah salah satu program aplikasi yang dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang berfungsi untuk memodelkan aliran sungai, River Analysis System (RAS). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi, yaitu [15]:

1. Hitungan profil muka air aliran permanen (*Steady Flow*)
2. Simulasi aliran tak permanen (*Unsteady Flow*)
3. Hitungan transpor sedimen
4. Hitungan kualitas air

Luaran dari program ini dapat berupa grafik maupun tabel. Diantaranya adalah plot dari skema alur sungai, potongan melintang, profil, lengkung debit (*rating curve*), hidrograf (*stage and flow hydrograph*), juga variabel hidrolik lainnya. Selain itu juga dapat menampilkan gabungan potongan melintang (*cross section*) yang membentuk alur sungai secara tiga dimensi lengkap dengan alirannya.

Data yang dibutuhkan dalam tahapan ini terdiri dari informasi sistem sungai, potongan melintang sungai, dan data hidraulik bangunan di sepanjang lokasi kajian yang dapat berupa jembatan (*bridge*), bendung (*weir*), tanggul (*levee*), dan bangunan lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan besarnya debit banjir pada aliran sungai. Pemodelan hidrolika menggunakan HEC-RAS digunakan untuk mengetahui kapasitas tampungan sungai.

3.1. Curah hujan Daerah

Data hasil percobaan dan pengolahannya yaitu berupa konstanta kekakuan ban (kt), konstanta spring (ks) dan konstantan peredaman (cs) disimulasikan ke dalam program Simulink Matlab untuk mendapatkan respon getaran kendaraan dengan dua jenis profil jalan: sinusoidal dan step. Diagram Simulink tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Curah Hujan Daerah

Tahun	Curah Hujan Daerah (mm)
2009	65.39
2010	59.72
2011	57.55
2012	60.92
2013	85.61
2014	85.61
2015	97.71
2016	63.49
2017	96.76
2018	102.15
2019	102.15
2020	86.73
2021	86.98
\bar{X}	80.828
S _D	17.053

3.2. Curah Hujan Rancangan

Berdasarkan persamaan (2-2) sampai (2-4), dilakukan perhitungan debit banjir untuk 6 kala ulang berbeda dari 1,01 tahun sampai 50 tahun. Untuk data sebanyak 10 data, besarnya nilai Yn dan Sn masing-masing sebesar 0,507 dan 0,997. Hasil perhitungan debit banjir dengan 7 kala ulang berbeda diberikan pada tabel 3.2. berikut ini.

Tabel 4. Curah Hujan Rancangan

Kala Ulang Tr (tahun)	Yt	k	Curah Hujan Rancangan (mm)
1,01	-1,529	-2,042	46.001
2	0,367	-0,141	78.425
5	1,500	0,996	97.810
10	2,250	1,748	110.645
20	2,970	2,470	122.956
25	3,199	2,699	126.861
50	3,902	3,405	138.892

3.3. Data Sungai

Data karakteristik Kali Pancir yang dibutuhkan pada analisis ini diantaranya luas DAS, panjang sungai, koefisien pengaliran yang selengkapnya diberikan pada uraian berikut ini.

- a. Luas DAS : 137,776 km²
- b. Panjang sungai utama : 36,04 km
- c. Parameter α : 3
- d. Koefisien pengaliran (C) : 0,6
- e. Satuan curah hujan (Ro) : 1 mm

3.4. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi dihitung berdasarkan persamaan (2-5) dan menggunakan data sungai dari Kali Pancir, sehingga didapatkan hasil sebesar 4,940 jam atau dibulatkan menjadi 5 jam.

3.5. Intensitas Hujan

Perhitungan intensitas hujan dilakukan menggunakan metode Mononobe berdasarkan persamaan (2-6). Perhitungan intensitas hujan dilakukan mulai jam ke-1 sampai jam ke-5. Dalam perhitungan ini, curah hujan rancangan yang digunakan adalah curah hujan dengan kala ulang 25 tahun. Setelah mendapatkan besarnya intensitas hujan, maka dilakukan perhitungan distribusi curah hujan yang hasilnya diberikan pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Distribusi Curah Hujan

t (jam)	Δt (jam)	I_t (mm/jam)	P (mm)	ΔP (mm)	Pt (%)
1	0-1	43.980	43.98	43.98	58.48%
2	1-2	27.706	55.41	11.431	15.20%
3	2-3	21.144	63.43	8.019	10.66%
4	3-4	17.454	69.81	6.384	8.49%
5	4-5	15.041	75.20	5.391	7.17%
JUMLAH				75.205	100.00%

3.6. Curah Hujan Efektif

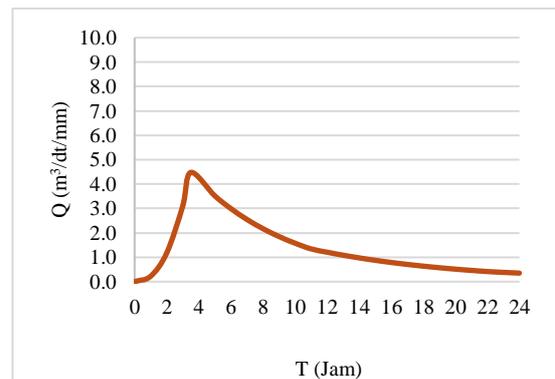
Curah hujan efektif dihitung berdasarkan persamaan (2-7) dan (2-8) dan dilakukan pada jam ke-1 sampai ke-5.

Tabel 7 Distribusi Curah Hujan Efektif

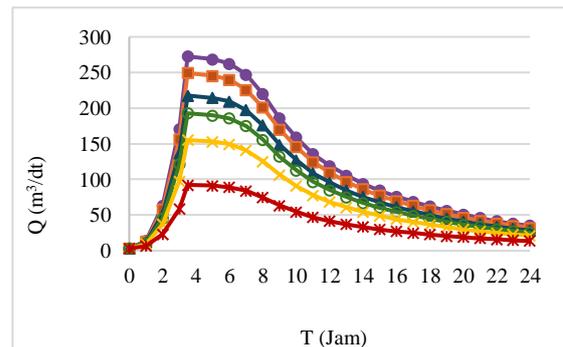
Tr (Tahun)	Jam Ke 1	Jam ke 2	Jam Ke 3	Jam Ke 4	Jam Ke 5
	Rasio (%)				
	0.585	0.152	0.107	0.085	0.072
1.01	16.141	4.195	2.943	2.343	1.978
2	27.518	7.153	5.017	3.994	3.373
5	34.320	8.920	6.258	4.982	4.207
10	38.823	10.091	7.079	5.635	4.759
25	44.513	11.570	8.116	6.461	5.456
50	48.735	12.667	8.886	7.074	5.974

3.7. Hidrograf Satuan Sintesis

Perhitungan hidrograf satuan sintetis (HSS) menggunakan metode Nakayasu dilakukan dengan menghitung waktu dari awal hujan, puncak hujan, sampai hujan mulai berhenti. Berdasarkan waktu-waktu tersebut selanjutnya akan dihitung debit banjir selama 24 jam. Hasil perhitungan hidrograf Nakayasu diberikan pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Unit hidrograf



Gambar 3. HSS Nakayasu

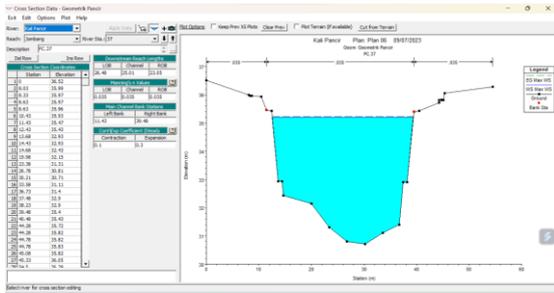
Debit puncak terjadi pada jam ke 3,5 dengan nilai untuk masing-masing kala ulang diberikan pada tabel berikut ini.

Tabel 8. Debit Banjir Maksimum

Kala Ulang (tahun)	Debit (m ³ /dt)
1,01	92,385
2	155,244
5	192,824
10	217,705
25	249,143
50	272,465

3.8. Pemodelan HEC-RAS

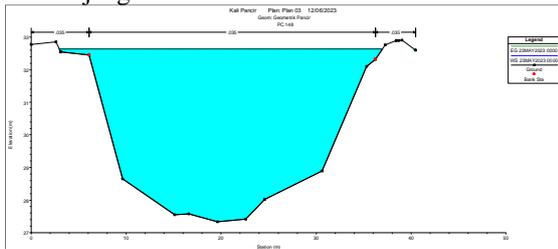
Simulasi daya tampung efektif Kali Pancir dilakukan pada 6 variasi kala ulang dengan menggunakan bantuan aplikasi HEC-RAS. Data utama yang digunakan dalam pemodelan ini adalah hidrograf dan data penampang melintang sungai. Tampilan input data pada aplikasi seperti diberikan pada gambar berikut ini.



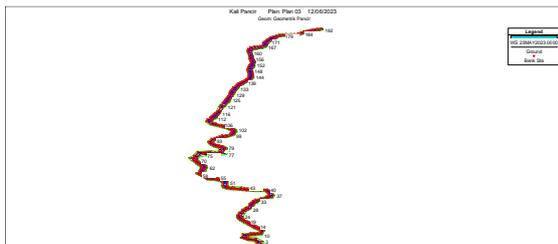
Gambar 4. Input data penampang melintang sungai

Pada tabel sisi kiri merupakan jarak dan elevasi titik pada penampang melintang, tabel di bagian tengah adalah jarak antar STA, koefisien kekasaran, dan gambar di sisi kiri adalah penampang melintang pada STA tersebut. Warna biru muda pada gambar menunjukkan muka air pada penampang tersebut. Apabila muka air masih di bawah 2 titik merah, dimana titik tersebut adalah batas tertinggi sebelum air meluap ke bantaran sungai, maka penampang sungai masih mampu mengalirkan debit air.

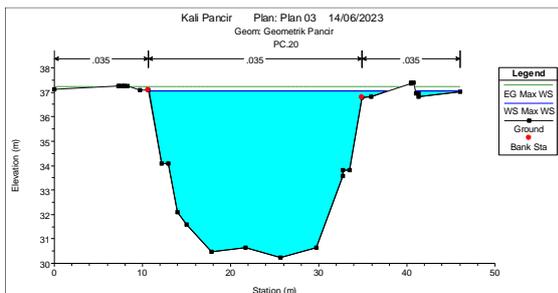
Dari data yang diinputkan pada HEC-RAS selanjutnya dimodelkan untuk menghasilkan penampang melintang tiap STA dan potongan memanjang.



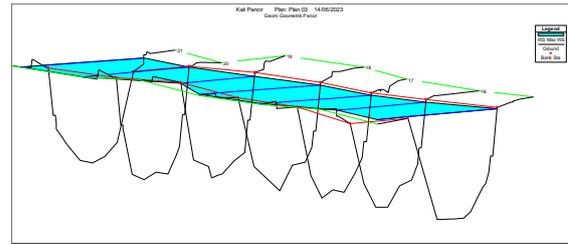
Gambar 5. Penampang melintang STA PC.148 kala ulang 1,01 tahun



Gambar 6. Profil memanjang sungai dengan kala ulang 1,01 tahun



Gambar 7. Penampang melintang STA PC.20 kala ulang 25 tahun



Gambar 8. Potongan profil memanjang sungai dengan kala ulang 25 tahun

Pada setiap kala ulang akan memiliki perbedaan pada STA mana saja yang mengalami luapan. Semakin besar kala ulang akan menghasilkan debit banjir yang semakin besar yang berdampak pada semakin banyaknya STA yang mengalami kondisi banjir. Tabel berikut akan memberikan rekapan STA pertama yang mengalami luapan.

Tabel 3.7. STA Awal Yang mengalami Luapan

Kala Ulang (tahun)	STA mulai banjir
1,01	45
2	31
5	28
10	28
25	6
50	6

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kala ulang maka STA yang mengalami banjir juga semakin ke arah hulu yang artinya jumlah STA yang mengalami banjir juga akan semakin banyak.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan simulasi yang dilakukan, maka simpulan yang dapat diambil adalah Debit banjir maksimum terjadi pada jam ke 3,5 dengan nilai terendah pada kala ulang 1,01 tahun sebesar 92,385 m³/dt dan debit terbesar pada kala ulang 50 tahun sebesar 272,465 m³/dt. Semakin besar kala ulang maka penampang kritis semakin banyak. Pada kala ulang 1,01 tahun, titik kritis mulai terjadi banjir pada STA 45, sedangkan titik kritis kala ulang 50 tahun terjadi pada STA 6. Sehingga pada kala ulang 1,01 tahun, STA 0 - STA 44 masih efektif menampung debit banjir. Dengan debit kala ulang 50 tahun, STA yang masih efektif menampung debit banjir yaitu pada STA 0 - STA 5.

Daftar Pustaka

- Nugroho, D. A., & Handayani, W. (2021). Kajian Faktor Penyebab Banjir dalam Perspektif Wilayah Sungai: Pembelajaran Dari Sub Sistem Drainase Sungai Beringin. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 17(2), 119–136. <https://doi.org/10.14710/pwk.v17i2.33912>
- Mariano Ado G. Pukan, Agustinus H. Pattiraja, & Sri Santi L M F Seran. (2022). Analisa Model Kapasitas Tampung Sungai Manikin Dengan Menggunakan Aplikasi Hec-Ras. *Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 32–40. <https://doi.org/10.30822/eternitas.v1i2.1601>
- Budianto, E. E. (2021). Dua Sungai Meluap, 8 Desa di Jombang Dilanda Banjir. In *News.Detik.Com*.

- <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-5517694/dua-sungai-meluap-8-desa-di-jombang-dilanda-banjir/2>
- [4] Safriani, M., & Ikhsan, M. (2019). Studi kapasitas tampungan sungai Sub-DAS Meureubo dengan Software Hecras di Desa Pasi Mesjid, Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 23(2), 1689–1699.
- [5] Lashari, Kusumawardani, dkk. (2017). Analisa Distribusi Curah Hujan di Area Merapi Menggunakan Metode Aritmatika Dan Poligon: *Teknik Sipil & Perencanaan* 19 (1) hal 39-48.
- [6] Ardiansyah, M., Suyono, S., Titisariwati, I., Cahyadi, T. A., & Kresno, K. (2022). Analisis Perbandingan Perhitungan Curah Hujan Rencana Berdasarkan Periode Ulang Hujan Dengan Metode Gumbell, Metode Log Pearson III, Metode Iway Kadoya Studi Kasus Tambang Andesit. *Jurnal Inovasi Pertambangan Dan Lingkungan*, 1(2), 52–58.
- [7] Lubis, Fadrizal. (2016). Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan Drainase Pemukiman Di Kecamatan Kandis: *Teknik Sipil Siklus*, vol 2, no. 1.
- [8] Pratama, Robie Angga, dkk. (2015). Analisa Draina Sekelurahan 8 Ilir Kecamatan Ilir Timur II: *Jurnal Desimenasi Teknologi*, vol. 3, no. 2.
- [9] Anadia, Silvi, HAR, Rusli. (2022). Evaluasi Sistem Penyaliran Tambang Batubara Di Pit 1 PT. Benal Aiti Bara Perkasa Jobsite Jpc Desa Pemusiran Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi: *Bina Tambang*, Vol 7, no 2.
- [10] Hendri, Andy. (2015). Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar. *Annual Civil Engineering Seminar*.
- [11] Kartiwa, Budi, dkk. (2001). Metode Alternatif Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan Menurut Model Simulasi Debit Berdasarkan Aplikasi Konsep Hidrograf Satuan (Studi Kasus Sub DAS Kali Kripik): *Jurnal Tanah dan Iklim*, no. 19.
- [12] Saidah, Humairo, dkk. (2022). Unjuk Kerja Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, Itb 2 Dan Limantara Untuk Daerah Aliran Sungai Berbentuk Memanjang: *Paduraksa Jurnal Teknik Sipil Unoversitas Warmadewa*, vol 11, no. 2.
- [13] Sutapa, I. W. (2005). Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan Di Daerah Aliran Sungai Kodina. *Majalah Ilmiah Mektek*, 7, 35–40.
- [14] Ramadani, M., dkk. (2014). Pemodelan Parameter a Pada Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Studi Banding Dengan Hidrograf Satuan Sintetik Gama 1): *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains Unibersitas Riau*, vol 1, no. 1.
- [15] Istiarto. (2014). Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras Jenjang Dasar: *Simple Geometry River*. 1–204.