

ANALISIS DEBIT BANJIR PADA SUNGAI BUNTUNG DI KABUPATEN SIDOARJO

Rifqi Arif Sulhan¹, Medi Efendi², Ratih Indri Hapsari³

D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Email: rifqiarifsulhan@gmail.com¹, medipolinema@gmail.com², ratihindri@gmail.com³

ABSTRAK

Kabupaten Sidoarjo sebagai salah satu daerah hilir DAS Brantas rawan banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit di Sungai Buntung dengan kala ulang 25 tahun. Data yang dibutuhkan yaitu Data Curah Hujan 3 Stasiun Hujan yaitu Bono, Ketegan dan Wonorejo tahun 2009 s/d 2018. Penentuan kebenaran data curah hujan menggunakan metode kurva masa ganda. Dalam perencanaan curah hujan rancangan menggunakan metode *rata-rata aljabar* sedang perencanaan curah hujan daerah menggunakan metode Log Pearson tipe 3. Untuk menguatkan pemilihan distribusi yang diambil menggunakan pengujian distribusi Uji Chi-kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov. Selanjutnya dilakukan analisa debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu. Berdasarkan perhitungan didapat debit banjir Sungai Buntung dengan kala ulang 25 tahun sebesar 196,923 m³/detik. Hasil perencanaan tanggul didapat jagaan tanggul 0,60 m dari permukaan air dengan lebar atas 3,0 m dan kemiringan lereng tanggul 1:2. Hasil kestabilan lereng menggunakan metode Fellenius tergolong Lereng yang Aman dengan $FK/SF 2,88 > 1,2$.

Kata kunci : kala ulang; banjir rancangan; sungai buntung; hss nakayasu

ABSTRACT

Sidoarjo Regency as one of the downstream areas of the Brantas River Basin is prone to flooding. This study aims to determine the discharge in the Buntung River with a 25 year return period. The data needed are Rainfall Data for 3 Rain Stations, namely Bono, Ketegan and Wonorejo from 2009 to 2018. The analysis covers consistency test using double mass curve method, areal rainfall using algebraic average, designed rainfall using Log Pearson type 3 method, and designed flood using Nakayasu method. Based on the calculation, it was found that the flood discharge of Buntung River with a return period of 25 years was 196.923 m³/s. The results of the embankment planning obtained a dike guard of 0.60 m from the water surface with a top width of 3.0 m and a 1: 2 embankment slope. The results of slope stability using the Fellenius method are classified as Safe Slopes with $FK / SF 2.88 > 1.2$.

Keywords : design flood; return period; buntung river; nakayasu hydrograph

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan peristiwa meluapnya air sungai karena ketidakmampuan badan sungai untuk menampung debit air yang lewat. Kabupaten Sidoarjo sebagai salah satu daerah hilir dari daerah aliran sungai (DAS) Brantas tidak luput dari masalah banjir. Kabupaten Sidoarjo terdapat beberapa titik yang menjadi langganan banjir maupun genangan.

Menurut Wigati dkk (2016) Salah satu fenomena alam yang mengancam keberadaan hidup manusia di beberapa

wilayah di Indonesia setiap masuk musim penghujan yaitu banjir. Hal ini disebabkan berkurangnya kapasitas penampang sungai sehingga dimensi sungai tidak mampu menampung debit yang ada dan menyebabkan Sungai Ciberang meluap. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besarnya debit banjir Sungai Ciberang dengan Q50 dan mengidentifikasi daerah rawan banjir serta memberikan solusi masalah banjir yang terjadi di Sungai Ciberang. Pada Penelitian ini data yang digunakan adalah

data sekunder berupa Curah hujan harian selama 19 tahun dan data dimensi penampang melintang sub-DAS Ciberang. Hasil hitungan hujan rencana dengan kala ulang 50 tahun yaitu 105,875 mm, hujan jam-jaman durasi 6 jam dengan durasi puncak pada jam ke 3 yaitu = 57,713 mm sedangkan debit rencana dengan metode HSS SCS didapat nilai debit puncak sebesar 523,174m³/s, adapun dengan menggunakan metode HSS Snyder didapat sebesar 1228,162 m³/s, langkah dilanjutkan menggunakan software HEC-RAS 4.1.0 untuk mengetahui kapasitas tampung sungai dengan menggunakan debit Snyder. Setelah dianalisis menggunakan software, sub-DAS Ciberang tidak dapat menampung debit aliran yang terjadi, oleh karenanya perlu adanya perbaikan sungai berupa normalisasi sungai dan peninggian tanggul.

Menurut Adiyatma (2013) Sungai Kemuning di Banjarbaru yang mengalir sepanjang wilayah Kota Banjarbaru, sungai ini berfungsi sebagai saluran pembuangan di Banjarbaru. Hal ini menyebabkan banjir setiap tahunnya dan merendam rumah-rumah warga yang ada di sepanjang bantaran sungai. Untuk itu diperlukan Normalisasi sungai agar mampu menghindarkan bencana yang diakibatkan oleh banjir. Dalam studi ini, untuk menanggulangi bencana yang terjadi di Sungai Kemuning dengan merencanakan pembuatan tanggul pada titik-titik yang berkelok-kelok guna melindungi lereng sungai dari gerusan-gerusan. Cara pembagian yang akan dipakai adalah dengan menggunakan cara poligon Thiessen yakni dengan cara menarik garis tegak lurus terhadap garis tengah penghubung antara dua stasiun tersebut. Hasil yang didapat setelah dilakukan peninjauan langsung dilapangan dan pengolahan data-data yang terkait dengan Normalisasi Sungai Kemuning adalah menggunakan Metode Log Pearson Type III. Dari hasil perhitungan debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 324,4735 m³/det., maka diperlukan perbaikan sungai dengan cara pembuatan tanggul guna mengendalikan banjir pada kelokan sungai, guna melindungi tebing sungai dari gerusan-gerusan. Dalam perencanaan bentuk dimensi penampang sungai yang didapat dari hasil perhitungan analisa kapasitas debit dan kondisi pada lapangan, maka dibuat dimensi penampang sungai memakai bentuk trapesium double dengan kemiringan tebing 1:2.

2. METODE

Uji Konsistensi

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran. Kurva masa ganda adalah salah satu metode grafis untuk alat identifikasi atau untuk menguji konsistensi dan kesamaan jenis data hidrologi dari suatu pos hidrologi.

Curah Hujan Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu dan dinyatakan dalam mm. Berikut perhitungan dengan rumus:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (1)$$

Curah Hujan Rancangan

Distribusi log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum). Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log-Person Tipe III:

1) Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X = \log X$

2) Hitung harga rata-rata:

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{n} \quad (2)$$

n = jumlah data

3) Hitung harga simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

4) Hitung koefisien kemencengan

$$CS = \frac{n \sum (\log x - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (4)$$

5) Hitung logaritma hujan dan curah hujan rancangan dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\log X_T = \overline{\log X} + K \cdot s \quad (5)$$

$$d_{\text{rancangan}} = 10^{\log X_T} \quad (6)$$

Uji Kecocokan

Untuk menguatkan perkiraan pemilihan distribusi yang diambil, maka dilakukan pengujian distribusi yaitu:

1) Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi yang dianalisis yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\chi^2_h = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (7)$$

χ^2_h = parameter chi-kuadrat terhitung

G = jumlah sub kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

2) Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametric, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

$$D = \text{maksimum } (P(X_n) - P'(X_n)) \quad (8)$$

D = selisih terbesar 80untin peluang pengamatan dan peluang teoritis

P(X_m) = peluang pengamatan

P'(X_m) = peluang teoritis dan persamaan distribusi yang dipakai

Debit Banjir Rencana dengan metode Nakayasu

Nakayasu dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya. Rumus tersebut adalah

t_g adalah time lag yaitu waktu 81untin hujan sampai debit puncak banjir (jam). T_g dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

Sungai dengan panjang alur $L > 15$ km: $t_g = 0,4 + 0,058 L^{(9)}$

Sungai dengan panjang alur $L < 15$ km: $t_g = 0,21 L^{0,7}$

Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan:

- $\alpha = 2$ pada daerah pengaliran biasa
- $\alpha = 1,5$ pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat
- $\alpha = 3$ pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

$$T_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (\text{jam}) \quad (10)$$

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \quad (11)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (\text{jam}) \quad (12)$$

$$Q_P = \frac{C A R_O}{3,6(0,3 T_P + r_{0,3})} \quad (13)$$

Dimana:

- Q_p = debit puncak banjir (m3/detik)
- RO = hujan satuan (mm)
- 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).
- CA = luas daerah pengaliran sampai outlet (km2)

Pada kurva waktu naik:

$$Q_a = Q_P \left(\frac{t}{T_P} \right)^{2,4} \quad (14)$$

Pada kurva turun (*decreasing limb*):

$$Q_{d1} = Q_P \cdot 0,3^{\frac{t-T_P}{T_{0,3}}} \quad (15)$$

$$Q_{d2} = Q_P \cdot 0,3^{\frac{(t-T_P+0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}} \quad (16)$$

$$Q_{d3} = Q_P \cdot 0,3^{\frac{(t-T_P+1,5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}} \quad (17)$$

Perencanaan Saluran Sungai

Pada perencanaan ini dimensi baru sungai menggunakan penampang double trapesium dengan cara coba-coba di aplikasi Hec-Ras.

Stabilitas Tanggul

Pada perencanaan tanggul yang stabil perlu memeriksa stabilitas tanggul terhadap longsoran karena tidak stabil akibat gaya-gaya yang bekerja. Berikut perhitungan dengan metode fellinius:

$$S_F = \frac{\sum(C_i * L_i) + \sum(N_i * tg \alpha)}{\sum(T_i)} \geq 1,20 \quad (18)$$

Diagram Alir Pekerjaan

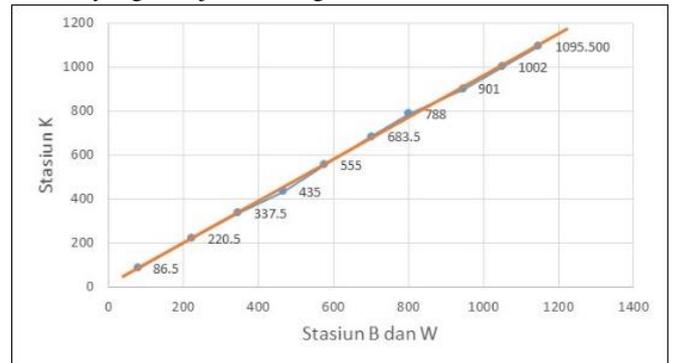


Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

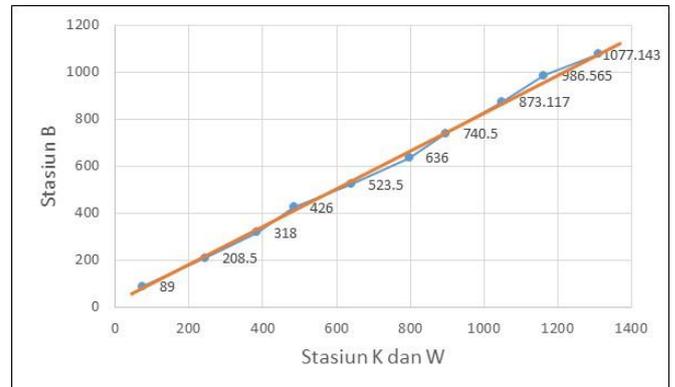
Uji Konsistensi

Didapatkan hasil uji konsistensi data curah hujan semua stasiun yang ditinjau sesuai grafik berikut:



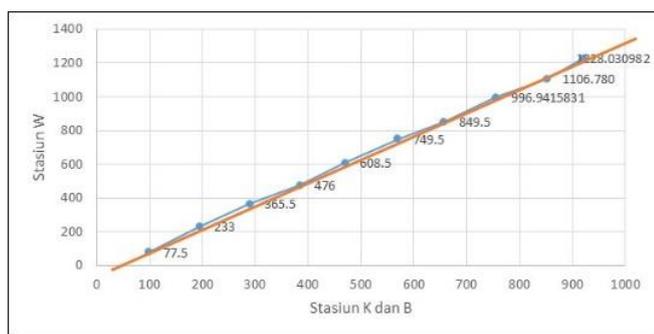
Sumber: Gambar Hasil Hitungan

Gambar 2. Grafik uji konsistensi Stasiun Ketegan sesudah koreksi



Sumber: Gambar Hasil Hitungan

Gambar 3. Grafik uji konsistensi Stasiun Bono sesudah koreksi



Sumber: Gambar Hasil Hitungan

Gambar 4. Grafik uji konsistensi Stasiun Wonorejo sesudah koreksi

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa grafik berbentuk linier sehingga data dapat dikatakan Konsisten.

Curah Hujan Daerah

Perhitungan ini dilakukan setelah data curah hujan dari ketiga stasiun tersebut dinyatakan konsisten dengan rumus rata-rata aljabar. Berikut perhitungan curah hujan daerah pada tahun 2009 menggunakan **persamaan 1**:

$$d_{rata-rata} = \frac{80+75+18}{3} = 57,667 \text{ mm}$$

$$CH_{Daerah} = d_{rata-rata \text{ maksimum}} = 57,667 \text{ mm}$$

Tabel 1. Perhitungan data curah hujan daerah

Tahun	Tanggal	Sta. K	Sta. B	Sta. W	d _{rata-rata}	CH _{Daerah}
2009	25-May	80	75	18	57.667	57.667
	25-May	80	75	18	57.667	
	09-Jan	25	38	98	53.667	
2010	03-Dec	141	170	98	136.333	136.333
	03-Dec	141	170	98	136.333	
	03-Dec	141	170	98	136.333	
2011	09-Nov	125	71	94	96.667	96.667
	26-Mar	95	140	34	89.667	
	09-Nov	125	71	94	96.667	
2012	30-Jan	121	90	95	102.000	102.000
	27-Dec	55	100	65	73.333	
	30-Jan	121	90	95	102.000	
2013	10-Dec	110	25	0	45.000	81.667
	26-Nov	90	155	0	81.667	
	23-Apr	6	17	85	36.000	
2014	19-Dec	125	49	94	89.333	101.000
	17-Jun	110	157	36	101.000	
	12-Dec	22	40	100	54.000	
2015	07-Dec	100	57.390	22.481	59.957	66.128
	19-Mar	27	100.000	32.517	53.172	
	12-Feb	75	35.869	87.515	66.128	
2016	08-Feb	144.234	25.826	8.832	59.630	64.965
	15-Jul	30.595	150.650	13.649	64.965	
	21-May	0.000	0.000	97.149	32.383	
2017	25-Nov	104.897	68.868	0.000	57.922	57.922
	18-Nov	39.336	114.781	14.452	56.190	
	24-Nov	4.371	0.000	97.952	34.108	
2018	15-Dec	96.156	54.521	2.409	51.028	64.719
	09-Mar	34.966	146.345	12.846	64.719	
	10-Jan	0.000	0.000	68.245	22.748	

Sumber: Hasil Perhitungan

Curah Hujan Rancangan

Perhitungan curah hujan rancangan menggunakan metode Log-Person Tipe III. Berikut hasil perhitungan metode Log-Person Tipe III:

Menggunakan **persamaan 2** untuk menghitung nilai rata-rata Log d. Dengan uraian sebagai berikut:

$$\overline{\log X} = \frac{19.013}{10} = 1,901$$

Menggunakan **persamaan 3** untuk menghitung simpangan baku. Dengan uraian sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{0.145}{10-1}} = 0.127$$

Menggunakan **persamaan 4** untuk menghitung koefisien kemencengan. Dengan uraian sebagai berikut:

$$CS = \frac{10 \cdot 0.008252}{(10-1)(10-2)S^3} = 0.560$$

Menggunakan **persamaan 5 dan 6** untuk menghitung curah hujan rancangan dengan periode ulang T. Dengan uraian sebagai berikut:

$$\log X_5 = 2.003$$

$$d_{rancangan} = 10^{\log X_T}$$

$$d_{rancangan TR5} = 10^{2,003} = 100,757 \text{ mm}$$

Tabel 2. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Kala Ulang

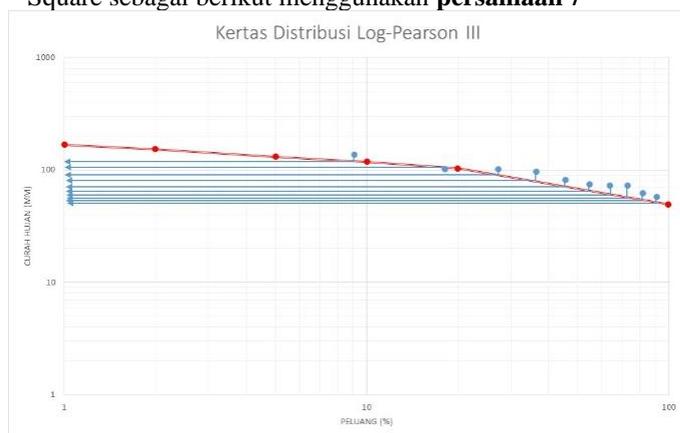
TR	P	G	log d _{rancangan}	d _{rancangan}
5	20.00	0.803	2.003	100.757
10	10.00	1.326	2.070	117.392
25	4.00	1.927	2.146	139.959
50	2.00	2.339	2.198	157.883
100	1.00	2.727	2.248	176.827
1.01	99.01	-1.910	1.659	45.572

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan hitungan menggunakan metode Log Pearson Type 3 didapat nilai kemencengan / Cs sebesar 0,56 yang artinya bahwa distribusi ini bisa digunakan karena nilai Cs dari Log Pearson Type 3 harus ≠ 0.

Uji Kecocokan

Uji kecocokan distribusi untuk simpangan vertikal (hujan) dengan metode Chi-Square, sedangkan untuk simpangan horizontal (peluang) dengan metode Smirnov-Kolmogorov. Berikut hasil dalam perhitungan metode Chi-Square sebagai berikut menggunakan **persamaan 7**



(Sumber: Gambar Hasil Perhitungan)

Gambar 5. Grafik Simpangan Vertikal Chi-Square



(Sumber: Gambar Hasil Perhitungan)

Gambar 6. Grafik Uji Simpangan Horizontal Smirnov-Kolmogorov

Debit Banjir Rencana Metode Nakayasu

Perhitungan debit banjir rencana menggunakan Hidrograf Satuan Sintesis metode Nakayasu. Berikut hasil perhitungan sebagai berikut:

Menghitung nilai waktu konsentrasi (tg) (untuk L > 15 Km) dengan **persamaan 9**:

$$T_g = 0,4 + 0,058 \times L$$

$$= 0,4 + 0,058 \times 43,72 = 2,935 \text{ jam}$$

Menghitung nilai satuan waktu dari curah hujan (Tr) dengan **persamaan 10**:

$$T_r = (1 - 0,5) \times T_g$$

$$= (1 - 0,5) \times 2,935 = 1,468 \text{ jam}$$

Menghitung waktu permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (Tp) dengan **persamaan 11**:

$$T_p = T_g + 0,8 \times T_r$$

$$= 2,935 + 0,8 \times 1,468 = 4,110 \text{ jam}$$

Menghitung waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali puncak banjir (T0,3) dengan **persamaan 12**:

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g$$

$$= 2 \times 2,935 = 5,871 \text{ jam}$$

Menghitung nilai hidrograf untuk tiap interval tertentu dengan **persamaan 13**:

$$Q_p = \frac{C.A.R_o}{3,6 \cdot (0,3T_p + T_{0,3})}$$

$$= \frac{110,499 \times 1}{3,6 \times (0,3 \times 4,110 + 5,871)} = 4,321 \text{ m}^3/\text{det}$$

Menghitung pada kurva naik sebelum mencapai debit puncak (Qp) dengan **persamaan 14**:

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$$

$$Q_1 = 4,321 \left(\frac{1}{4,110}\right)^{2,4} = 0,145 \text{ m}^3/\text{det}$$

Menghitung pada kurva turun (Qr) dengan **persamaan 15**:

$$Q_r = Q_p \cdot 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}}$$

$$Q_5 = 4,321 \times 0,3^{(5-4,110)/5,871} = 3,600 \text{ m}^3/\text{det}$$

Menghitung pada kurva turun (Qt) dengan **persamaan 16**:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{[(t-T_p) + (0,5 \cdot T_{0,3})] / (1,5T_{0,3})}$$

$$Q_{10} = 4,321 \times 0,3^{[(10-4,110) + (0,5 \cdot 5,871)] / (1,5 \cdot 5,871)}$$

$$= 1,293 \text{ m}^3/\text{det}$$

Menghitung pada kurva turun (Qt) dengan **persamaan 17**:

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{[(t-T_p) + (1,5T_{0,3})] / (2 \cdot T_{0,3})}$$

$$Q_{19} = 4,321 \times 0,3^{[(19-4,110) + (1,5 \cdot 5,871)] / (2 \cdot 5,871)}$$

$$= 0,380 \text{ m}^3/\text{det}$$



(Sumber: Gambar Hasil Perhitungan)

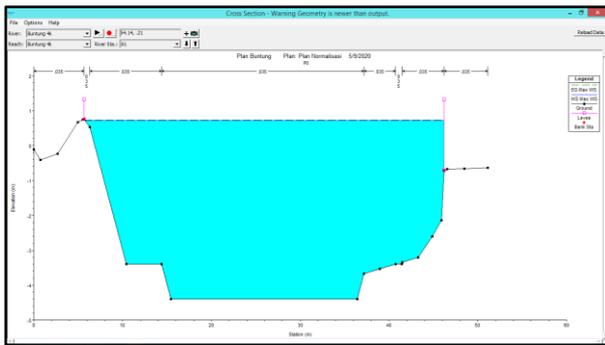
Gambar 7. Grafik Banjir Rancangan Nakayasu

Perencanaan Saluran Sungai

Karena kapasitas alur Sungai tidak mampu mengalirkan debit rencana pada kala ulang 25 tahun, maka direncanakan dimensi saluran sungai dan direncanakan peninggian tanggul pada sisi kanan kiri sungai.

Hasil dari coba-coba dimensi saluran rencana didapat kedalaman saluran dari -3.56 m menjadi -4.07 di Sta P1

dengan lebar saluran atas 44.65 m dan lebar bawah 19.19 m dan 17 m.

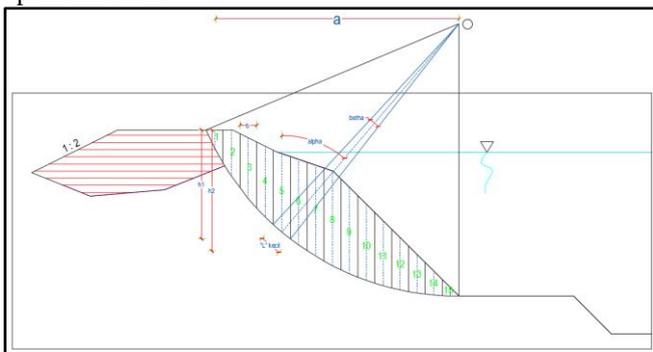


(Sumber: Hasil Perencanaan)

Gambar 8. Penampang Rencana dan Tanggul

Stabilitas Tanggul

Pembangunan tanggul sepanjang alur sungai sebagai pelindung terhadap tinggi muka air merupakan salah satu bagian yang penting dalam usaha pencegahan banjir. Tinggi minimum jagaan tanggul sebaiknya diambil 0,60 m. Untuk tanggul tanah yang direncanakan lebar atas diambil sekurang-kurangnya 3,0 m jika tanggul dipakai untuk jalur pemeliharaan.



(Sumber: Hasil Perencanaan)

Gambar 9. Pembagian Segmen Kelongsoran

Perhitungan selanjutnya di lanjutkan dengan cara yang sama seperti pada **persamaan 18** dari pias 1-15 menggunakan program excel maka didapat hasil sebagai berikut:

$$SF = \frac{43,910}{15,241} = 2,88 > 1,2 \text{ (AMAN)}$$

Berdasarkan hasil Perhitungan kestabilan lereng tergolong Lereng yang Aman dimana FK/SF 2,88 dari Lereng tersebut $> 1,2$ dengan kondisi Lereng yang Aman, maka tidak perlu perencanaan dinding penahan tanah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Analisa uji konsistensi terhadap data curah hujan stasiun Ketegan, Bono, dan Wonorejo didapat hasil grafik berbentuk linier, sehingga dapat dikatakan Konsisten.
- 2) Perhitungan curah hujan daerah didapatkan curah hujan tertinggi pada tahun 2010 sebesar 136,333 mm.

- 3) Perhitungan curah hujan rancangan metode Log-Pearson Type III dengan kala ulang 25Th mendapat hasil sebesar 139,959 mm.
- 4) Analisa uji kecocokan distribusi untuk simpangan vertical dan horizontal metode Uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov didapat hasil sesuai sehingga distribusi yang dipakai bisa digunakan.
- 5) Dari hasil perhitungan debit banjir Sungai Buntung dengan kala ulang 25 tahun didapat sebesar 196,923 m³/detik.
- 6) Direncanakan dimensi saluran sungai menggunakan penampang double trapezium dan direncanakan peninggian tanggul pada sisi kanan kiri sungai.
- 7) Perhitungan kestabilan lereng tanggul rencana tergolong Lereng yang Aman dimana FK/SF 2,88 dari Lereng tersebut $> 1,2$ yang diijinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soemarto., C.D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional.
- [2] Soewarno., 1995. *Hidrologi*. Bandung : Nova.
- [3] Kodoatie., Robert J. 2013. *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta : ANDI.
- [4] Sosrodarsono., Suyono dan Kensaku Takeda. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [5] Sosrodarsono., Suyono. 1985. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [6] Suripin., 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : ANDI.
- [7] Sosrodarsono., Suyono. 1985. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [8] Hardiyatmo., Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- [9] KP-04 Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan