

ANALISIS ARUS BALIK PADA HILIR SUNGAI BOLANGO MENGUNAKAN METODE INTEGRASI NUMERIK

Namira Salsadilla¹, Rawiyah Husnan², dan Barry Yusuf Labdul^{2*}

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo

²Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

namira_slsipil2018@mahasiswa.ung.ac.id

Pemasukan: 24 Juni 2024

Perbaikan: 29 Juli 2025

Diterima: 2 Desember 2025

Intisari

Sungai adalah jalur alami yang terbentuk di permukaan bumi untuk menyalurkan air dari wilayah dengan elevasi tinggi menuju tempat yang lebih rendah, yang mengalirkan air ke danau, laut, atau samudra. Hilir atau muara adalah akhir dari aliran sungai yang berujung ke laut, danau, samudera, atau bahkan ke sungai yang lebih besar. Curah hujan yang tinggi membuat debit air bertambah melebihi kapasitas debit aliran sehingga menyebabkan meluapnya air di sungai. Aliran air di hilir yang meluap saat terjadi pembendungan di hilir dan berbalik menuju hulu disebut dengan arus balik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis terjadi tidaknya arus balik di hilir Sungai Bolango. Lokasi penelitian berada di hilir Sungai Bolango. Data yang digunakan yaitu data sekunder berupa data curah hujan, data pasang surut, dan peta DAS Bolango-Bone. Metode analisis data yaitu analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir rancangan dan analisis hidrolika dengan menggunakan Metode Integrasi Numerik agar perhitungan dilakukan secara matematis dengan akurasi yg lebih baik untuk mendapatkan profil muka air. Parameter yang digunakan dalam analisis yaitu luas tampang basah, lebar muka air, keliling basah, jari-jari hidrolis, dan kedalaman air Sungai Bolango. Hasil analisis hidrologi diperoleh debit banjir rancangan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu untuk kala ulang 25 tahun sebesar 2046,81 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 2135,72 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 2209,06 m³/detik masing-masing terjadi pada jam ke 8. Perbedaan nilai debit banjir rancangan yang tidak signifikan dapat diakibatkan oleh minimnya data curah hujan yang digunakan dalam analisis (10 tahun). Dari hasil analisis hidrolika diketahui bahwa hilir Sungai Bolango termasuk jenis profil aliran permukaan landai atau profil M (*Mild*) karena kemiringan dasar sungai lebih kecil dari kemiringan kritis.

Kata kunci : arus balik, metode integrasi numerik, profil muka air

Latar Belakang

Sungai adalah jalur alami yang terbentuk di permukaan bumi untuk menyalurkan air dari wilayah dengan elevasi tinggi menuju tempat yang lebih rendah, yang mengalirkan air ke danau, laut, atau samudra. Hilir atau muara adalah akhir dari aliran sungai yang berujung ke laut, danau, samudera, atau bahkan ke sungai yang

lebih besar. Sungai mengalir dari hulu ke hilir dengan kondisi kemiringan berturut-turut dari curam menjadi agak curam, agak landai, dan relatif rata.

Banjir termasuk bencana alam yang terbilang umum terjadi di Indonesia. Banjir merupakan fenomena terendahnya daratan yang biasanya kering atau jarang dialiri air akibat adanya volume air yang berlebihan. Salah satu penyebab terjadinya banjir adalah curah hujan yang tinggi. Curah hujan yang tinggi membuat debit air bertambah melebihi kapasitas debit aliran sehingga menyebabkan meluapnya air di sungai. Aliran air di hilir yang meluap saat terjadi pembendungan di hilir dan berbalik menuju hulu disebut dengan arus balik. Pasang surut air laut juga termasuk penyebab terjadinya arus balik di muara sungai.

Pada penelitian ini, digunakan hidrograf satuan sintetik Metode Nakayasu untuk menghitung debit banjir rencana. Metode ini sesuai dengan kondisi DAS di Indonesia yg umumnya berukuran kecil hingga menengah, cara ini juga lebih praktis, hidrologis, dan metodologis. Penanganan banjir akibat arus balik membutuhkan profil aliran sungai untuk menganalisis keadaan sungai. Profil aliran sungai dapat diketahui dengan menggunakan metode hitungan konvensional. Metode yang digunakan dalam menganalisis profil aliran sungai antara lain Metode Integrasi Numerik, Metode Langkah Langsung (*Direct Step Method*), dan Metode Integrasi Grafis.

Monica, dkk (2020) melakukan penelitian dengan judul penelitian “Analisis Pengaruh Backwater Di Muara Sungai Talawaan-Bajo Kabupaten Minahasa Utara”. Pada penelitian ini, peneliti menyatakan bahwa analisis tinggi muka air dengan menggunakan *Direct Step Method* mendapatkan selisih pengaruh *backwater* pada kondisi pasang surut terendah dan pasang surut tertinggi untuk kala ulang 5 tahun berkisar antara 1,47-2,48 m, sedangkan untuk kala ulang 100 tahun berkisar antara 0,7-1,49 m. Dalam analisis menggunakan metode tahapan standar, mendapatkan selisih tinggi muka air banjir untuk kala ulang 5 tahun dan 100 tahun masing-masing bervariasi antara 0,63–1,2 m dan 0,07–0,35 m. Hal ini terjadi karena debit yang kecil memungkinkan masuknya sejumlah aliran balik menuju sungai. Hasil analisis metode tahapan standar menunjukkan perbedaan yang kecil dengan hasil analisis yang diperoleh menggunakan *software* HEC-RAS. Penelitian ini memperlihatkan bahwa arus balik dapat menyebabkan peningkatan muka air yang cukup besar, namun masih terbatas pada perbandingan antar metode perhitungan.

Kurniawan, dkk (2016) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Arus Balik Air Pada Saluran Drainase Primer Gayam Kabupaten Kulon Progo Dengan Metode Integrasi Numerik”. Penelitian ini menyatakan bahwa kemiringan dasar saluran drainase primer Gayam lebih kecil dari kemiringan kritis sehingga termasuk jenis profil aliran yang memiliki permukaan landai. Nilai y_n terbesar terjadi pada bulan November yaitu sebesar 1,78 m dan nilai y_c sebesar 1,43 m. Arus balik dapat dianalisis dengan menggunakan Metode Integrasi Numerik maupun menggunakan *software* HEC-RAS. Panjang arus balik yang diperoleh berbeda-beda tiap bulannya tergantung debit saluran Drainase Primer Gayam. Arus balik air terpanjang terjadi pada bulan Desember sebesar 432 m. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa ketinggian profil aliran lebih tinggi dari tanggul dan dimensi. Penelitian ini

menyimpulkan bahwa **karakteristik kemiringan saluran dan debit sangat memengaruhi panjang arus balik**. Penelitian ini juga membuktikan bahwa metode konvensional dapat digunakan untuk memodelkan arus balik, meskipun hasilnya bervariasi tergantung waktu dan volume debit.

Anandhita dan Hambali (2015) melakukan penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Back Water (Air Balik) Terhadap Banjir Sungai Rangkui Kota Pangkalpinang”. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan metode analisis aliran dengan pemodelan aliran tak seragam (*unsteady flow*) menggunakan *software* HEC-RAS. Data yang digunakan sebagai input diperoleh berdasarkan hasil analisis dan perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya debit banjir rencana Sungai Rangkui pada periode kala ulang 2 tahun (Q_2) = 46,08 m³/detik, periode kala ulang 5 tahun (Q_5) = 57,68 m³/detik, periode kala ulang 10 tahun (Q_{10}) = 64,88 m³/d dan periode kala ulang 25 tahun (Q_{25}) = 72,79 m³/detik. Pada kondisi tanpa adanya pasang surut, tinggi muka air banjir (luapan) berkisar antara 0,15-1,4 m, sedangkan untuk kondisi dengan pengaruh pasang surut berkisar antara 0,60-1,90 m. *Backwater* (air balik) sangat berpengaruh terhadap tinggi muka air banjir. Penelitian ini menunjukkan bahwa **pasang surut air laut meningkatkan tinggi muka air secara signifikan**, memperkuat bukti bahwa arus balik menjadi salah satu faktor penting dalam penanganan banjir.

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini berupa cara menganalisis debit banjir rancangan dan profil aliran di hilir Sungai Bolango dengan menggunakan Metode Integrasi Numerik.

Metodologi Studi

Lokasi terletak di hilir Sungai Bolango, Kota Gorontalo. Lokasi penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Sumber: (Google Earth, 2023)

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di hilir Sungai Bolango, dengan posisi geografis pada koordinat 00° 30' 25,164" Lintang Utara dan 123° 3' 38,171" Bujur Timur. Dilihat dari aspek topografi sebagian besar wilayah di Provinsi Gorontalo merupakan

daerah dataran, perbukitan dan pegunungan. Kota Gorontalo memiliki dua DAS besar yaitu DAS Bolango dan DAS Bone. Salah satu sungai yang mengalir DAS Bolango adalah Sungai Bolango. Berdasarkan hasil analisis ArcMap 10.8, penelitian ini memiliki luas *Catchment Area* sebesar 1856,02 km² dan panjang sungai utama 82,59 km. Penampang sungai yang ditinjau sepanjang 125 meter dari hilir Sungai Bolango ke arah hulu.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II, data tersebut berupa data curah hujan, data pasang surut, dan peta DAS Bolango-Bone.

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tujuan tahap persiapan untuk mendapatkan berbagai informasi, referensi, metode analisis, dan data-data yang diperlukan terkait penelitian ini. Tahap persiapan studi literature, tinjauan pustaka dan review penelitian terdahulu untuk mendapatkan informasi mengenai perhitungan dan metode-metode yang telah dibuat sebelumnya sebagai bahan referensi terkait penelitian ini.
2. Pengumpulan data, bertujuan untuk memperoleh data curah hujan, data debit sungai, data penampang sungai, dan data pasang surut dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan berbagai metode.
3. Tahap pengolahan dan analisis data dilakukan untuk mengetahui profil aliran dan arus balik hilir sungai. Analisis dilakukan dengan bantuan software Microsoft Excel, HEC-RAS, dan ArcMap.
4. Hasil akhir dari analisis digambarkan dalam bentuk grafik dan tabel hasil perhitungan, serta memberi saran dan solusi dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Pengumpulan data berupa debit sungai yang diperoleh dari BWS Sulawesi II, dan data sedimen yang diperoleh dari uji analisa saringan.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan debit banjir rancangan. Perhitungan debit rancangan menggunakan data berupa data curah hujan harian maksimum serta data luas DAS yang mencakup stasiun-stasiun hujan yang ditinjau. Data ini diambil dari tiga stasiun hujan yang terletak di DAS Bolango-Bone yaitu stasiun hujan Bolango-Bone Boidu, Bolango-Bone Dulamayo Selatan, dan Bolango-Bone Longalo. Data hujan yang digunakan adalah data hujan selama 10 tahun dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2021.

1. Analisis Distribusi Curah Hujan

Analisis distribusi curah hujan pada penelitian ini menggunakan metode Poligon Thiessen yang dimana dalam penggunaan metode ini dibutuhkan luas DAS yang lebih dari 500 km² dan kurang dari 5000 km². Penentuan Koefisien Thiessen (Ct) dengan cara membagi daerah aliran berdasarkan luas sebaran wilayah hujan pada DAS Bolango-Bone menggunakan software ArcMap 10.8.

Data curah hujan yang digunakan merupakan curah hujan maksimum dari tiga stasiun berbeda yang terjadi pada tanggal, bulan, dan tahun yang sama. Analisis distribusi curah hujan dihitung dengan persamaan: $P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A}$

2. Parameter Statistik

Hasil analisis distribusi curah hujan harian maksimum yang didapatkan dengan menggunakan metode Poligon Thiessen selanjutnya perlu dilakukan analisis parameter statistik. Analisis parameter statistik diperlukan untuk mengetahui metode analisis frekuensi yang akan digunakan. Parameter-parameter statistik yang diperlukan yaitu Standar Deviasi (S_d), Koefisien Skewness (C_s), Koefisien Kurtosis (C_k), dan Koefisien Variasi (C_v).

3. Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis distribusi menggunakan Distribusi Log Pearson Tipe III dengan persamaan sebagai berikut: $\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K \times S_d \text{Log } \bar{X}$

Berdasarkan nilai Koefisien Skewness (C_s) yang didapat. Hasil analisis distribusi frekuensi berdasarkan periode ulang (T) menggunakan Persamaan:

$$\text{Log } X_t = \text{Log } X_{rt} + K T \times S_d$$

4. Analisis Debit Banjir Rancangan

- a. Curah Hujan Jam-Jaman. Pada perhitungan untuk mendapatkan hidrograf banjir menggunakan cara hidrograf satuan sintetik, maka pembagian curah hujan yang terjadi dalam selang waktu diperlukan. Selang waktu yang diperlukan antara 5 sampai dengan 7 jam (Sudarmin, 2017). Pada penelitian ini tidak terdapat data pencatatan hujan jam-jaman, maka digunakan rumus Mononobe dalam perhitungan pola distribusi hujan

$$\text{dengan Persamaan: } R_t = \frac{R_{24}}{6} \times \left(\frac{6}{T}\right)^{2/3}$$

Durasi hujan yang digunakan untuk perhitungan distribusi hujan yaitu selama 6 jam. Pola distribusi hujan dihitung menggunakan Persamaan:

$$R_T = T \times R_t - (T - 1) \times R_{(T-1)}$$

- b. Analisis Curah Hujan Efektif. Analisis distribusi curah hujan yang dihitung kemudian dianalisis lagi untuk mendapatkan curah hujan efektif. Perhitungan debit banjir harus disesuaikan juga dengan kondisi daerah pengaliran dan sungai yang diteliti. Analisis curah hujan efektif menggunakan Persamaan: $R_n = C \times R$

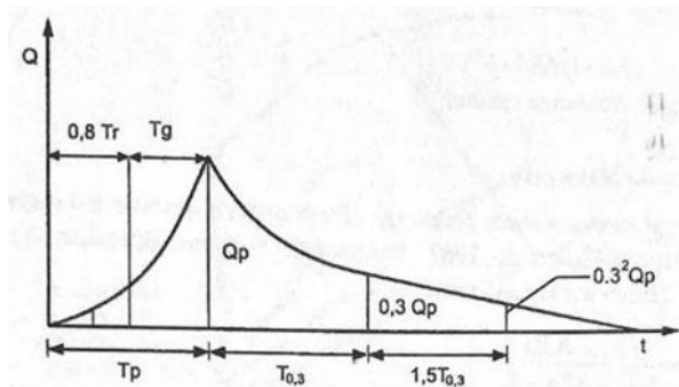
Hasil analisis curah hujan efektif yang diperoleh kemudian dikalikan dengan pola distribusi hujan jam-jaman untuk mendapatkan distribusi curah hujan efektif jam-jaman. Perhitungan curah hujan efektif jam-jaman menggunakan Persamaan: Curah hujan efektif jam – jaman = $R_n \times \text{Distribusi}$

- c. Analisis Debit Banjir Metode HSS Nakayasu. Parameter-parameter yang dibutuhkan dalam analisis debit banjir menggunakan metode HSS

Nakayasu adalah sebagai berikut:

- Luas DAS
- Panjang sungai
- Waktu konsentrasi: $t_g = 0,4 + 0,058 L$ ($L > 15 \text{ km}$)
- Waktu konsentrasi 0,3: $T_{0,3} = \alpha \times t_g$
- Waktu lama hujan: $T_r = 0,5 t_g$
- Waktu puncak: $T_p = t_g + 0,8 T_r$
- Debit puncak: $Q_p = \frac{1}{3,6} \times \frac{A R_e}{0,3 T_p + T_{0,3}}$

Bentuk hidrograf satuan sintetis Nakayasu ditunjukkan pada Gambar 2 dengan berdasarkan pada persamaan sebagai berikut:



Gambar 2. Bentuk Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu (Triatmodjo, 2014)

Selanjutnya ordinat metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu menggunakan rumus:

- a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p = 0 < t < 7,27$)

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

- b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3} = 7,27 < t < 17,65$)

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

- c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

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

- d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

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

Penentuan Tipe Aliran

Aliran dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu aliran subkritis, aliran kritis dan aliran superkritis. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada angka Froude (Fr),

yang mempunyai bentuk $Fr = V/\sqrt{gD}$, dengan V dan D merupakan kecepatan dan kedalaman aliran. Aliran subkritis apabila $Fr < 1$, kritis apabila $Fr = 1$, dan superkritis apabila $Fr > 1$ (Triatmodjo, 2003).

Kedalaman normal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$y_n = \frac{Q \times n}{I_0^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{2}{3}} \times (B + my)}$$

sedangkan nilai kedalaman kritis dapat dihitung dengan cara trial menggunakan

persamaan: $y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2(B+2my_c)}{g(B+my_c)^3}}$

Analisis Profil Aliran dan Arus Balik

Analisis arus balik pada saluran terbuka diperlukan untuk menentukan sampai seberapa jauh pengaruh kenaikan muka air yang diakibatkan oleh arus air balik (Amri, dkk, 2014). Analisis kedalaman menggunakan Metode Integrasi Numerik dilakukan dengan meninjau naik turunnya ketinggian muka air pada setiap penampang saluran pada jarak tertentu. Penelitian dilakukan dengan menganalisis kedalaman air dari hilir ke hulu karena jenis aliran merupakan aliran subkritis. Analisis menggunakan Metode Integrasi Numerik bertujuan untuk mengetahui profil aliran sekaligus untuk mengetahui terjadi tidaknya arus balik pada hilir Sungai Bolango.

Hitungan profil muka air didasarkan pada persamaan:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{f_i + f_{i+1}}{2} (x_{i+1} - x_i) = y_i + \frac{f_i + f_{i+1}}{2} (-\Delta x_i)$$

$$y_{i+1} = y_i - \frac{f_i + f_{i+1}}{2} \Delta x_i$$

dan persamaan:

$$f_i = \frac{I_0 - \left(\frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \right)}{1 - \left(\frac{Q^2 T}{g A^3} \right)}$$

Hasil Studi dan Pembahasan

Analisis Hidrologi

1. Analisis Distribusi Curah Hujan

Peta DAS dengan titik pos hujan bisa dilihat pada Gambar 2. Koefisien Thiessen (C_t) berdasarkan luas daerah tangkapan hujan ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Peta DAS

Tabel 1. Luas Daerah Tangkapan Hujan

No	Nama Stasiun Hujan	Luas Daerah Tangkapan Hujan (km ²)	Koefisien Thiessen
1	Sta. Bolango-Bone Boidu	1474.46	0.794
2	Sta. Bolango-Bone Dulamayo Selatan	108.89	0.059
3	Sta. Bolango-Bone Longalo	272.67	0.147
Luas Total		1856.02	1

Rekapitulasi distribusi curah hujan harian maksimum ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Analisis Distribusi Curah Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Curah Hujan Harian Max (mm)
1	2012	67.4
2	2013	43.9
3	2014	66.4
4	2015	53.6
5	2016	69.2
6	2017	38.7
7	2018	46.7
8	2019	28.8
9	2020	63.1
10	2021	51.0

2. Parameter Statistik

Penentuan metode analisis distribusi frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini dilihat berdasarkan hasil analisis parameter statistik yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemilihan Metode Analisis Distribusi Frekuensi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Perhitungan	Keterangan
1	Normal	$Cs \approx 0$ $Ck \approx 3$	$Cs = -0.37$ $Ck = 3.14$	Tidak Memenuhi
2	Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv = 0.96$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3 = 4.7$	$Cs = -0.37$ $Ck = 3.14$	Tidak Memenuhi
3	Gumbel	$Cs = 1.14$ $Ck = 5.4$	$Cs = -0.37$ $Ck = 3.14$	Tidak Memenuhi
4	Log Pearson Tipe III	Selain dari nilai di atas	$Cs = -0.37$ $Ck = 3.14$	Memenuhi

3. Analisis Distribusi Frekuensi

Hasil analisis distribusi frekuensi menggunakan Metode Log Pearson Tipe III ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis Distribusi Frekuensi Metode Log Pearson III

No	Tahun	Curah Hujan (Xi) (mm)	Log Xi	Log Xi - Log X _n	(Log Xi - Log X _n) ²	(Log Xi - Log X _n) ³	(Log Xi - Log X _n) ⁴
1	2012	67.40	1.82866	0.11994	0.01439	0.00173	0.00021
2	2013	43.93	1.64279	-0.06593	0.00435	-0.00029	0.00002
3	2014	66.37	1.82195	0.11323	0.01282	0.00145	0.00016
4	2015	53.60	1.72916	0.02044	0.00042	0.00001	0.00000
5	2016	69.20	1.84011	0.13139	0.01726	0.00227	0.00030
6	2017	38.73	1.58808	-0.12064	0.01455	-0.00176	0.00021
7	2018	46.67	1.66901	-0.03971	0.00158	-0.00006	0.00000
8	2019	28.83	1.45989	-0.24883	0.06191	-0.01541	0.00383
9	2020	63.13	1.80026	0.09154	0.00838	0.00077	0.00007
10	2021	50.97	1.70729	-0.00143	0.00000	0.00000	0.00000
		Σ	17.09		0.13566	-0.01129	0.00481
		Log X _n	1.71				
		Sd	0.12				
		Cs	-0.85				

Hasil analisis distribusi frekuensi berdasarkan periode ulang (*T*) menggunakan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Distribusi Frekuensi berdasarkan Periode Ulang (*T*)

No	Kala Ulang	Rumus	KT	Log Xt	Xt
1	5 Tahun		0.855	1.8137	65.12
2	10 Tahun		1.157	1.8508	70.92
3	25 Tahun	$Log Xt = Log Xrt + KT \cdot Sd$	1.429	1.8841	76.58
4	50 Tahun		1.579	1.9026	79.91
5	100 Tahun		1.698	1.9172	82.65

4. Analisis Debit Banjir Rancangan

- a. Curah Hujan Jam-jaman. Hasil analisis intensitas hujan jam-jaman ditunjukkan pada Tabel 6. Durasi hujan yang digunakan untuk perhitungan distribusi hujan yaitu selama 6 jam. Pola distribusi hujan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Intensitas Hujan

T (jam)	R_T (mm/jam)
1	0,55 R ₂₄
2	0,35 R ₂₅
3	0,26 R ₂₆
4	0,22 R ₂₇
5	0,19 R ₂₈
6	0,17 R ₂₉

Tabel 7. Pola Distribusi Hujan

T (jam)	Distribusi (%)
1	55.03
2	14.30
3	10.03
4	7.99
5	6.75
6	5.90

- b. Analisis Curah Hujan Efektif. Hasil analisis curah hujan efektif ditunjukkan pada Tabel 8. Hasil analisis distribusi curah hujan efektif jam-jaman ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Analisis Curah Hujan Efektif

Kala Ulang	Hujan Harian Maksimum (mm)	Koefisien Pengaliran (C)	Hujan Efektif (mm)
5 Tahun	65.12	0.85	55.35
10 Tahun	70.92	0.85	60.28
25 Tahun	76.58	0.85	65.09
50 Tahun	79.91	0.85	67.92
100 Tahun	82.65	0.85	70.25

Tabel 9. Distribusi Curah Hujan Efektif Jam-Jaman

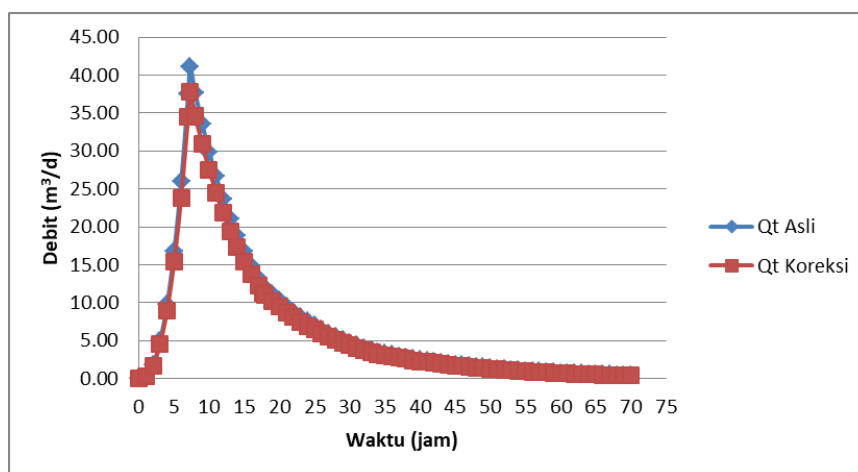
T (jam)	Distribusi (%)	Hujan Efektif (mm)				
		5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
		55.35	60.28	65.09	67.92	70.25
1	55.03	30.46	33.17	35.82	37.38	38.66
2	14.30	7.92	8.62	9.31	9.72	10.05
3	10.03	5.55	6.05	6.53	6.82	7.05
4	7.99	4.42	4.82	5.20	5.43	5.61
5	6.75	3.73	4.07	4.39	4.58	4.74
6	5.90	3.26	3.55	3.84	4.00	4.14

- c. Analisis Debit Banjir Metode HSS Nakayasu. Parameter-parameter yang dibutuhkan dalam analisis debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Parameter Debit Banjir Metode HSS Nakayasu

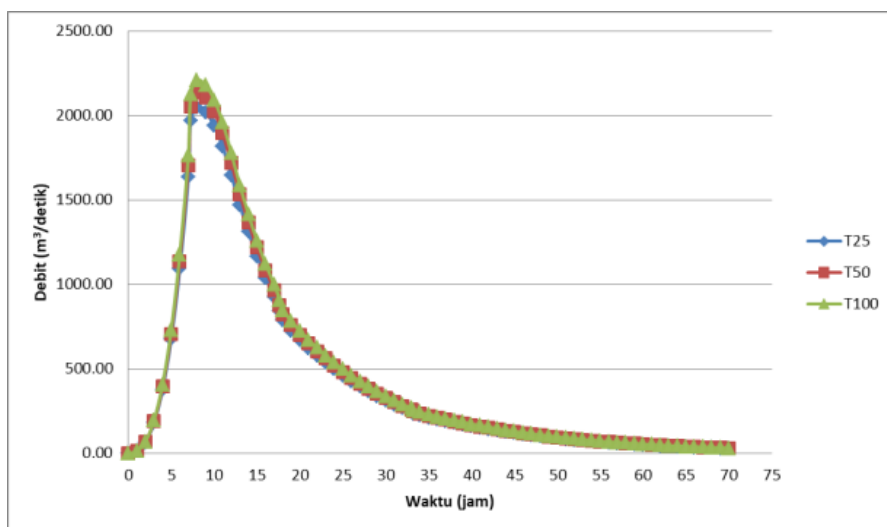
No	Keterangan	Besaran	Satuan
1	Luas DAS (A)	1856.02	km ²
2	Panjang Sungai (L)	82.589	km
3	Waktu Konsentrasi, t_g ($L > 15$ km)	5.19	jam
4	Waktu Konsentrasi 0,3; $T_{0,3}$	10.38	jam
5	Waktu Lama Hujan, T_r	2.60	jam
6	Waktu Puncak, T_p	7.27	jam
7	$0,3T_p$	2.18	jam
8	Debit Puncak Banjir, Q_p	41.05	m ³ /detik

Selanjutnya ordinat metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 4. Ordinat Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada saat jam puncak di jam 7,27 debit puncak mencapai 41,05 m³/detik.



Gambar 5. Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Berdasarkan Gambar 3 diperoleh debit banjir rancangan metode HSS Nakayasu untuk kala ulang 25 tahun sebesar 2046,81 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 2135,72 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 2209,06 m³/detik masing-masing terjadi pada jam ke 8. Perbedaan nilai debit banjir rancangan yang tidak signifikan dapat diakibatkan oleh minimnya data curah hujan yang digunakan dalam analisis (10 tahun).

Penentuan Tipe Aliran

Rekapitulasi kedalaman normal, kedalaman kritis, dan kemiringan kritis untuk kala ulang 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Kedalaman Normal, Kedalaman Kritis, dan Kemiringan Kritis

Kala Ulang (Tahun)	y_n (m)	y_c (m)	I_c
25	1.47	1.18	0.0084
50	1.51	1.21	0.0083
100	1.54	1.24	0.0082

Berdasarkan hasil perhitungan kedalaman normal dan kedalaman kritis dapat dilihat bahwa kedalaman normal lebih besar dari kedalaman kritis, sehingga dapat disimpulkan aliran pada sungai merupakan aliran subkritis ($y_n > y_c$), dan hilir Sungai Bolango termasuk jenis profil aliran permukaan landai atau profil M (*Mild*) karena kemiringan dasar sungai lebih kecil dari kemiringan kritis.

Analisis Profil Aliran dan Arus Balik

Hitungan muka air dilakukan pada titik-titik hitungan di sepanjang sungai dengan interval 5 m dan sejauh 125 m. Mengingat aliran adalah subkritis ($y_n > y_c$) maka hitungan profil muka air dilakukan dari hilir ke hulu. Kedalaman air di titik 1 telah diketahui yaitu $y_1 = 2,2$ m dari nilai pasang surut tertinggi, kemudian dihitung kedalaman di titik 1, 2, 3, dan seterusnya yang berjarak $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$.

Hasil hitungan untuk setiap kala ulang ditunjukkan pada Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.

Tabel 12. Hitungan Profil Muka Air Kala Ulang 25 Tahun

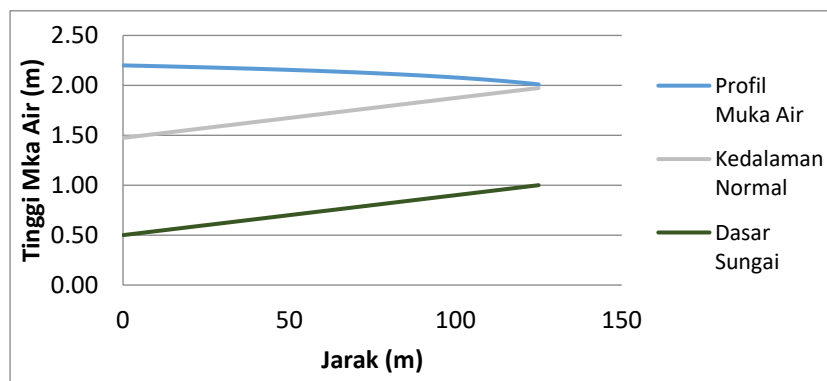
Titik i	Interval Jarak (m)	Jarak Kumulatif (m)	Y_i (m)	A dari Y_i (m ²)	T dari Y_i (m)	P dari Y_i (m)	R dari Y_i (m)	f_i	Y_{i+1} (m)	A dari Y_{i+1} (m ²)	T dari Y_{i+1} (m)	P dari Y_{i+1} (m)	R dari Y_{i+1} (m)	f_{i+1}
1	0	0	2.2											
2	5	5	2.1763	1127.75	517.01	518.05	2.18	0.004727	2.1646	1109.42	516.87	517.89	2.14	0.004770
3	5	10	2.1524	1115.47	516.92	517.94	2.15	0.004755	2.1525	1103.18	516.82	517.84	2.13	0.004786
4	5	15	2.1284	1103.14	516.82	517.84	2.13	0.004786	2.1285	1090.78	516.73	517.73	2.11	0.004818
5	5	20	2.1042	1090.74	516.73	517.73	2.11	0.004818	2.1043	1078.29	516.63	517.62	2.08	0.004853
6	5	25	2.0799	1078.24	516.63	517.62	2.08	0.004853	2.0800	1065.71	516.53	517.51	2.06	0.004890
7	5	30	2.0553	1065.66	516.53	517.51	2.06	0.004890	2.0554	1053.03	516.43	517.40	2.04	0.004930
8	5	35	2.0306	1052.98	516.43	517.40	2.04	0.004930	2.0307	1040.25	516.33	517.29	2.01	0.004973
9	5	40	2.0056	1040.20	516.33	517.29	2.01	0.004973	2.0057	1027.36	516.23	517.18	1.99	0.005019
10	5	45	1.9804	1027.30	516.23	517.18	1.99	0.005019	1.9805	1014.35	516.13	517.07	1.96	0.005069
11	5	50	1.9549	1014.28	516.13	517.07	1.96	0.005069	1.9550	1001.20	516.03	516.95	1.94	0.005124
12	5	55	1.9291	1001.13	516.03	516.95	1.94	0.005124	1.9293	987.91	515.93	516.84	1.91	0.005183
13	5	60	1.9030	987.84	515.93	516.84	1.91	0.005183	1.9032	974.47	515.82	516.72	1.89	0.005248
14	5	65	1.8766	974.38	515.82	516.72	1.89	0.005248	1.8768	960.85	515.72	516.60	1.86	0.005319
15	5	70	1.8498	960.76	515.72	516.60	1.86	0.005319	1.8500	947.05	515.61	516.49	1.83	0.005397
16	5	75	1.8226	946.94	515.61	516.48	1.83	0.005398	1.8228	933.03	515.50	516.36	1.81	0.005485
17	5	80	1.7949	932.92	515.50	516.36	1.81	0.005485	1.7952	918.78	515.39	516.24	1.78	0.005582
18	5	85	1.7668	918.66	515.39	516.24	1.78	0.005583	1.7670	904.27	515.28	516.11	1.75	0.005692
19	5	90	1.7380	904.13	515.28	516.11	1.75	0.005693	1.7383	889.47	515.16	515.99	1.72	0.005816
20	5	95	1.7085	889.31	515.16	515.98	1.72	0.005817	1.7089	874.32	515.05	515.85	1.69	0.005958
21	5	100	1.6783	874.14	515.05	515.85	1.69	0.005960	1.6787	858.79	514.93	515.72	1.67	0.006123
22	5	105	1.6472	858.58	514.93	515.72	1.66	0.006126	1.6477	842.81	514.80	515.58	1.63	0.006317
23	5	110	1.6151	842.57	514.80	515.58	1.63	0.006320	1.6156	826.30	514.67	515.44	1.60	0.006548
24	5	115	1.5816	826.01	514.67	515.43	1.60	0.006553	1.5823	809.15	514.54	515.29	1.57	0.006830
25	5	120	1.5466	808.79	514.54	515.28	1.57	0.006836	1.5474	791.21	514.40	515.13	1.54	0.007182
26	5	125	1.5095	790.76	514.40	515.13	1.54	0.007192	1.5106	772.27	514.25	514.97	1.50	0.007639

Tabel 13. Hitungan Profil Muka Air Kala Ulang 50 Tahun

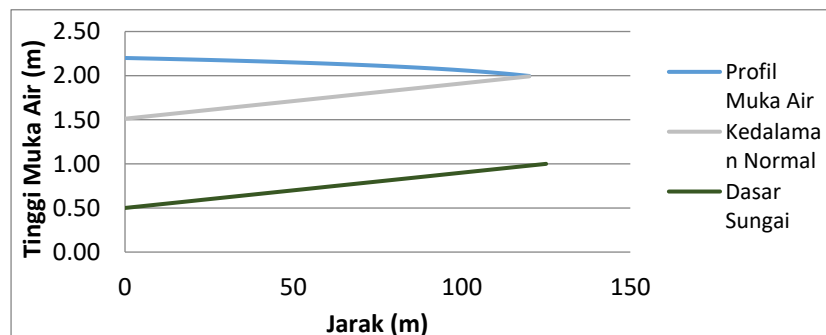
Titik i	Interval Jarak (m)	Jarak Kumulatif (m)	Y_i (m)	A dari Y_i (m ²)	T dari Y_i (m)	P dari Y_i (m)	R dari Y_i (m)	f_i	Y_{i+1} (m)	A dari Y_{i+1} (m ²)	T dari Y_{i+1} (m)	P dari Y_{i+1} (m)	R dari Y_{i+1} (m)	f_{i+1}
1	0	0	2.2											
2	5	5	2.1759	1127.75	517.01	518.05	2.18	0.004804	2.1640	1109.12	516.87	517.89	2.14	0.004854
3	5	10	2.1516	1115.26	516.92	517.94	2.15	0.004837	2.1517	1102.76	516.82	517.83	2.13	0.004872
4	5	15	2.1271	1102.72	516.82	517.83	2.13	0.004872	2.1272	1090.13	516.72	517.72	2.11	0.004909
5	5	20	2.1025	1090.08	516.72	517.72	2.11	0.004909	2.1026	1077.40	516.62	517.61	2.08	0.004949
6	5	25	2.0776	1077.35	516.62	517.61	2.08	0.004950	2.0777	1064.56	516.52	517.50	2.06	0.004993
7	5	30	2.0525	1064.51	516.52	517.50	2.06	0.004993	2.0527	1051.61	516.42	517.39	2.03	0.005039
8	5	35	2.0272	1051.55	516.42	517.39	2.03	0.005039	2.0274	1038.54	516.32	517.28	2.01	0.005089
9	5	40	2.0016	1038.48	516.32	517.28	2.01	0.005090	2.0018	1025.34	516.22	517.16	1.98	0.005144
10	5	45	1.9758	1025.27	516.22	517.16	1.98	0.005144	1.9759	1012.00	516.12	517.05	1.96	0.005203
11	5	50	1.9496	1011.92	516.11	517.05	1.96	0.005204	1.9498	998.49	516.01	516.93	1.93	0.005268
12	5	55	1.9231	998.41	516.01	516.93	1.93	0.005269	1.9233	984.82	515.90	516.81	1.91	0.005339
13	5	60	1.8962	984.73	515.90	516.81	1.91	0.005340	1.8964	970.95	515.80	516.69	1.88	0.005418
14	5	65	1.8689	970.85	515.80	516.69	1.88	0.005418	1.8691	956.88	515.69	516.57	1.85	0.005505
15	5	70	1.8411	956.77	515.69	516.57	1.85	0.005505	1.8413	942.58	515.58	516.45	1.83	0.005602
16	5	75	1.8128	942.45	515.58	516.45	1.82	0.005602	1.8131	928.01	515.46	516.32	1.80	0.005710
17	5	80	1.7840	927.87	515.46	516.32	1.80	0.005712	1.7843	913.15	515.35	516.19	1.77	0.005834
18	5	85	1.7544	913.00	515.35	516.19	1.77	0.005835	1.7548	897.96	515.23	516.06	1.74	0.005974
19	5	90	1.7242	897.78	515.23	516.06	1.74	0.005976	1.7246	882.39	515.11	515.92	1.71	0.006137
20	5	95	1.6930	882.18	515.11	515.92	1.71	0.006139	1.6935	866.37	514.99	515.79	1.68	0.006327
21	5	100	1.6608	866.13	514.98	515.78	1.68	0.006330	1.6613	849.83	514.86	515.64	1.65	0.006553
22	5	105	1.6273	849.54	514.85	515.64	1.65	0.006558	1.6280	832.67	514.72	515.49	1.62	0.006827
23	5	110	1.5923	832.32	514.72	515.49	1.61	0.006833	1.5932	814.73	514.58	515.34	1.58	0.007168
24	5	115	1.5554	814.30	514.58	515.33	1.58	0.007177	1.5564	795.84	514.44	515.17	1.54	0.007606
25	5	120	1.5158	795.29	514.43	515.17	1.54	0.007620	1.5173	775.69	514.28	515.00	1.51	0.008195
26	5	125	1.4727	774.95	514.27	514.99	1.50	0.008219	1.4747	753.82	514.11	514.81	1.46	0.009042

Tabel 14. Hitungan Profil Muka Air Kala Ulang 100 Tahun

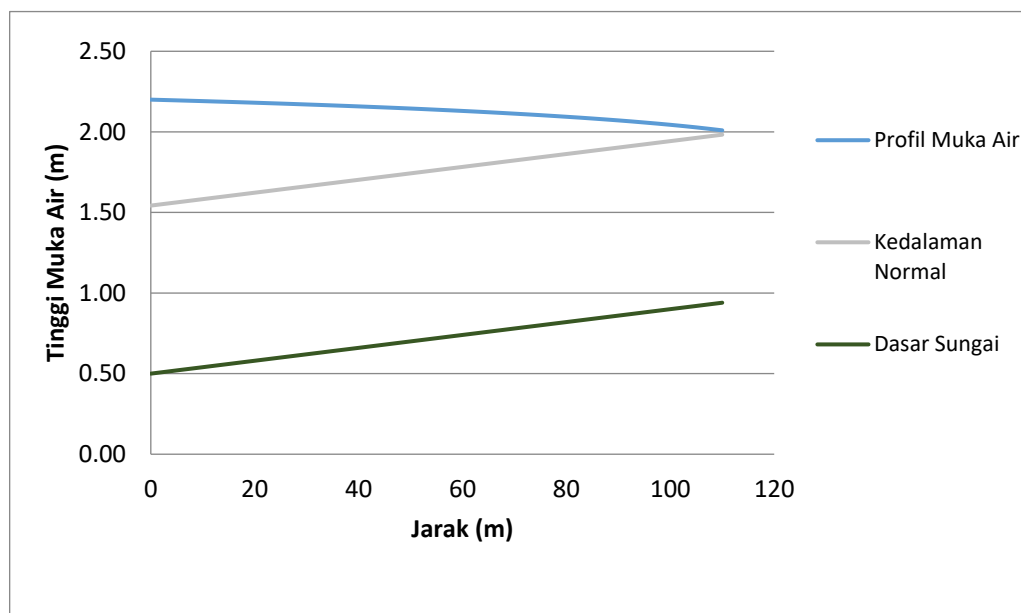
Titik i	Interval Jarak (m)	Jarak Kumulatif (m)	Y_i (m)	A dari Y_i (m^2)	T dari Y_i (m)	P dari Y_i (m)	R dari Y_i (m)	f_i	Y_{i+1} (m)	A dari Y_{i+1} (m^2)	T dari Y_{i+1} (m)	P dari Y_{i+1} (m)	R dari Y_{i+1} (m)	f_{i+1}
1	0	0	2.2											
2	5	5	2.1755	1127.75	517.01	518.05	2.18	0.004873	2.1635	1108.85	516.87	517.89	2.14	0.004928
3	5	10	2.1509	1115.08	516.91	517.94	2.15	0.004909	2.1510	1102.39	516.82	517.83	2.13	0.004948
4	5	15	2.1260	1102.34	516.82	517.83	2.13	0.004949	2.1261	1089.56	516.72	517.72	2.10	0.004990
5	5	20	2.1009	1089.50	516.72	517.72	2.10	0.004991	2.1011	1076.61	516.62	517.61	2.08	0.005036
6	5	25	2.0756	1076.55	516.62	517.61	2.08	0.005036	2.0758	1063.54	516.51	517.49	2.06	0.005085
7	5	30	2.0501	1063.48	516.51	517.49	2.06	0.005085	2.0502	1050.35	516.41	517.38	2.03	0.005138
8	5	35	2.0243	1050.28	516.41	517.38	2.03	0.005138	2.0244	1037.02	516.31	517.27	2.00	0.005195
9	5	40	1.9981	1036.94	516.31	517.26	2.00	0.005195	1.9983	1023.53	516.20	517.15	1.98	0.005258
10	5	45	1.9717	1023.45	516.20	517.15	1.98	0.005258	1.9718	1009.88	516.10	517.03	1.95	0.005326
11	5	50	1.9448	1009.79	516.10	517.03	1.95	0.005326	1.9450	996.05	515.99	516.91	1.93	0.005401
12	5	55	1.9176	995.95	515.99	516.91	1.93	0.005402	1.9178	982.02	515.88	516.79	1.90	0.005484
13	5	60	1.8900	981.91	515.88	516.79	1.90	0.005485	1.8902	967.77	515.77	516.66	1.87	0.005577
14	5	65	1.8618	967.65	515.77	516.66	1.87	0.005578	1.8621	953.27	515.66	516.54	1.85	0.005680
15	5	70	1.8331	953.13	515.66	516.54	1.85	0.005681	1.8334	938.49	515.55	516.41	1.82	0.005796
16	5	75	1.8038	938.34	515.54	516.41	1.82	0.005798	1.8041	923.40	515.43	516.28	1.79	0.005928
17	5	80	1.7738	923.23	515.43	516.28	1.79	0.005930	1.7742	907.95	515.31	516.15	1.76	0.006080
18	5	85	1.7429	907.75	515.31	516.14	1.76	0.006082	1.7434	892.09	515.19	516.01	1.73	0.006256
19	5	90	1.7111	891.86	515.18	516.01	1.73	0.006259	1.7117	875.74	515.06	515.87	1.70	0.006463
20	5	95	1.6782	875.48	515.06	515.86	1.70	0.006466	1.6788	858.83	514.93	515.72	1.67	0.006711
21	5	100	1.6439	858.51	514.92	515.72	1.66	0.006716	1.6446	841.23	514.79	515.57	1.63	0.007014
22	5	105	1.6078	840.84	514.79	515.56	1.63	0.007022	1.6088	822.77	514.65	515.41	1.60	0.007397
23	5	110	1.5696	822.29	514.64	515.40	1.60	0.007408	1.5708	803.23	514.49	515.24	1.56	0.007896
24	5	115	1.5283	802.60	514.49	515.23	1.56	0.007914	1.5300	782.24	514.33	515.05	1.52	0.008585
25	5	120	1.4827	781.38	514.32	515.05	1.52	0.008618	1.4852	759.22	514.15	514.85	1.47	0.009615
26	5	125	1.4301	757.94	514.14	514.84	1.47	0.009684	1.4343	733.05	513.95	514.63	1.42	0.011384



Gambar 6. Profil Muka Air Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 7. Profil Muka Air Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 8. Profil Muka Air Kala Ulang 100 Tahun

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis arus balik menggunakan Metode Integrasi Numerik diperoleh panjang arus balik pada kala ulang 25 tahun sepanjang 125 m, pada kala ulang 50 tahun sepanjang 120 m, dan pada kala ulang 100 tahun sepanjang 110 m. Hasil analisis debit dan panjang arus balik menunjukkan bahwa hilir Sungai Bolango didominasi oleh debit sungai. Debit banjir dan besar pasang surut berpengaruh terhadap panjang arus balik yang terjadi. Pada hilir Sungai Bolango, semakin besar debit banjir maka semakin kecil panjang arus balik. Hasil panjang arus balik yang pendek masih sesuai dengan kondisi morfologi hilir Sungai Bolango, yang memiliki dasar landai dan aliran dominan dari hulu. Faktor ini menyebabkan pengaruh pasang surut terbatas, sehingga arus balik hanya terjadi di area dekat muara. Penelitian ini sejalan dengan Kurniawan, dkk (2016) yang menyatakan bahwa debit berpengaruh terhadap panjang arus balik, meskipun hasilnya bisa berbeda tergantung kondisi saluran dan aliran. Namun, hasil ini berbeda dengan Monica, dkk (2020) yang menemukan bahwa debit tinggi pada saat pasang justru memperpanjang arus balik. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan lokasi, bentuk muara, dan pengaruh pasang surut yang lebih besar di lokasi mereka. Penelitian ini memberikan tambahan informasi dalam studi arus balik di sungai kecil dan menengah yang lebih dipengaruhi oleh debit dari hulu. Penelitian ini juga bisa menjadi dasar untuk pengembangan model pengendalian banjir yang mempertimbangkan variasi debit, serta mendorong penelitian lanjutan tentang hubungan debit, bentuk sungai, dan pasang surut.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis debit banjir rancangan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu untuk kala ulang 25 tahun sebesar 2046,81 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 2135,72 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 2209,06 m³/detik masing-masing terjadi pada jam ke 8. Perbedaan nilai debit banjir rancangan yang tidak signifikan dapat diakibatkan oleh minimnya data curah hujan yang digunakan dalam analisis (10 tahun).
2. Hilir Sungai Bolango termasuk jenis profil aliran permukaan landai atau profil M (*Mild*) karena kemiringan dasar sungai lebih kecil dari kemiringan kritis. Hasil analisis menggunakan Metode Integrasi Numerik dengan kondisi pasang surut tertinggi diperoleh $y > y_n > y_c$ pada setiap kala ulang, sehingga profil aliran hilir Sungai Bolango termasuk jenis profil aliran M₁. Arus balik yang diperoleh pada kala ulang 25 tahun sepanjang 125 m, pada kala ulang 50 tahun sepanjang 120 m, dan pada kala ulang 100 tahun sepanjang 110 m. Hasil panjang arus balik yang pendek masih sesuai dengan kondisi morfologi hilir Sungai Bolango, yang memiliki dasar landai dan aliran dominan dari hulu. Faktor ini menyebabkan pengaruh pasang surut terbatas, sehingga arus balik hanya terjadi di area dekat muara.
3. Keterbatasan dari penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengukuran langsung di lapangan terhadap parameter DAS maupun hasil debit yang dihasilkan. Oleh karena itu, hasil studi ini lebih bersifat sebagai pendekatan awal yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan lebih lanjut.

Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan data pencatatan curah hujan jam-jaman yang tersedia.
2. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan perbandingan dengan hasil analisis menggunakan program HEC-RAS.
3. Hasil dari penelitian ini bisa dijadikan referensi dalam menentukan elevasi bangunan pengendali banjir terutama pada daerah yang mengalami arus balik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi II yang telah membantu dalam pengambilan data dalam penelitian ini.

Daftar Referensi

- Amri, H., Edijatno, dan Sofia, F., 2014. Perencanaan Sistem Drainase Rumah Sakit Mitra Keluarga Kenjeran, Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil ITS*, 1-5. <https://doi.org/10.12962/jh.v1i2.1673>
- Anandhita, T., dan Hambali, R., 2015. Analisis Pengaruh Back Water (Air Balik) Terhadap Banjir Sungai Rangkui Kota Pangkal Pinang. *Jurnal Fropil* Vol.3 No.2, 131-141.
- Kurniawan, F. T., Muttaqien, A. Y., dan Hadiani, R., 2016. Analisis Arus Balik Air Pada Saluran Drainase Primer Gayam Kabupaten Kulon Progo Dengan Metode Integrasi Numerik. *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 75-82.
- Monica, L., Hendratta, L. A., dan Supit, C. J., 2020. Analisis Pengaruh Backwater di Muara Sungai Talawaan-Bajo Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol.10 No.2, 125-134.
- Sudarmin, M. A., 2017. Analisis Debit Banjir Rancangan dan Kapasitas Pelimpah Bendungan Way Yori. *Tugas Akhir*, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Triatmodjo, B., 2003. *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., 2014. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Gajah Mada Press.

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]