

Pengaruh aliran sungai panasen terhadap proses sedimentasi di Danau Tondano

Liany Amelia Hendratta^{1*}, Arthur Haris Thambas¹, Lusia Manu², La'la Monica¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding authors: lianyhendratta@unsrat.ac.id

Submitted: 21 October 2024, Revised: 10 December 2024, Accepted: 19 December 2024

ABSTRACT: Land use changes and inappropriate land use in the Panasen watershed cause sedimentation in Lake Tondano. The influence of sediment-laden flow on the sedimentation process is still a problem that needs to be studied. The occurrence of flooding in the downstream part of the river due to the process of river silting is a problem that has an impact on economic losses, environmental problems and even unresolved social conflicts. This study aims to obtain the factors causing flooding by evaluating the capacity of the Panasen river cross-section in the downstream part and analyzing the influence of the Panasen River sediment flow on the sedimentation process in Lake Tondano. The study was conducted through field observations in the form of river geometry measurements and sediment flow sampling. Secondary data, namely topographic maps, rainfall data and measured discharge data were obtained from related agencies. Various analyses carried out were hydrological analysis, hydraulic analysis and sedimentation analysis. The hydrological analysis used maximum daily rainfall data obtained from the Noongan rainfall station and measured river discharge from the Noongan River AWLR. The magnitude of flood discharge using the HEC-HMS model with calibrated parameters for various return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years were obtained at 50.2 m³/sec, 71.6 m³/sec, 82.1 m³/sec, 91.8 m³/sec, 97.2 m³/sec and 101.4 m³/sec. From the hydraulic analysis, it was obtained that under Q₁₀₀ and lake tides, all river segments were unable to accommodate flood discharge. The flood water level (overflow) was at 1.2 - 3.1 meters and tended to occur towards the right river bank. The amount of sediment transport was determined after obtaining the dissolved sediment content, which was 6.16 gr/m³, resulted in an average increase in sediment volume to the lake for 30 years of 3,215,104.7 m³ or a thickness of 72.15 mm. The results of the study showed that the amount of sediment entering the lake was quite large, so that management efforts were needed in the Panasen River watershed, namely in the form of land conservation measures and determining appropriate land use.

KEYWORDS: flood; HEC-HMS; Lake Tondano; sedimentation; sediment-laden-flow.

ABSTRAK: Perubahan tata guna lahan dan pemanfaatan lahan yang tidak sesuai di DAS Panasen menyebabkan terjadinya sedimentasi di danau Tondano. Pengaruh aliran sarat sedimen terhadap proses sedimentasi masih menjadi permasalahan yang perlu dikaji. Terjadinya genangan banjir pada bagian hilir sungai akibat adanya proses pendangkalan sungai merupakan permasalahan yang berdampak pada kerugian ekonomi, masalah lingkungan bahkan konflik sosial masyarakat yang belum terselesaikan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan faktor-faktor penyebab banjir dengan mengevaluasi kapasitas penampang sungai Panasen di bagian hilir serta menganalisis pengaruh aliran bersedimen Sungai Panasen terhadap proses sedimentasi di Danau Tondano. Penelitian dilakukan melalui pengamatan lapangan berupa pengukuran geometri sungai dan pengambilan sampel aliran bersedimen. Data sekunder yaitu peta topografi, data curah hujan dan data debit terukur diperoleh dari instansi terkait. Berbagai analisis yang dilakukan adalah analisis hidrologi, analisis hidraulika dan analisis sedimentasi. Analisis hidrologi menggunakan data hujan harian maksimum yang diperoleh dari pos hujan Stasiun Noongan dan debit sungai terukur dari AWLR Sungai Noongan. Besar debit banjir menggunakan model HEC-HMS dengan parameter terkalibrasi untuk berbagai kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun masing-masing diperoleh sebesar 50.2 m³/det, 71.6 m³/det, 82.1 m³/det, 91.8 m³/det, 97.2 m³/det dan 101.4 m³/det. Dari analisis hidraulika diperoleh pada kondisi banjir Q₁₀₀ dan pasang air danau, di semua segmen sungai tinjauan tidak mampu menampung debit banjir. Ketinggian muka air banjir (overflow) berada pada 1.2 – 3.1 meter dan cenderung terjadi ke arah kanan tepian sungai. Jumlah sedimen yang terangkut ditentukan setelah diperoleh kandungan sedimen terlarut yaitu sebesar 6.16 gr/m³ yang mengakibatkan rata-rata penambahan volume sedimen ke danau selama 30 tahun sebesar 3,215,104.7 m³ atau ketebalan 72.15 mm. Hasil penelitian menunjukkan jumlah sedimen masuk danau yang cukup besar sehingga diperlukan upaya-upaya penanganan pada DAS sungai Panasen yaitu berupa tindakan konservasi lahan dan penetapan tata guna lahan yang tepat.

KATA KUNCI: banjir; HEC-HMS; Danau Tondano; sedimentasi; aliran bersedimen.

1. PENDAHULUAN

Sungai mempunyai peranan penting dalam menunjang kehidupan manusia. Air sungai dimanfaatkan untuk keperluan irigasi, domestik, industri, perikanan serta sebagai sumber energi. Di sisi lain, sungai juga mempunyai daya rusak berupa banjir yang dapat merugikan manusia (Morrison et al., 2018). Banjir telah dikenal sebagai salah satu bencana alam terburuk di dunia (Hapsari & Zenurianto, 2016). Banjir berkaitan erat dengan konflik sosial masyarakat (Ghimire et al., 2015), kerugian ekonomi (Aerts & Botzen, 2011) dan masalah lingkungan (Li & Shi, 2015). Proses alih fungsi lahan di hulu sungai (Daerah Aliran Sungai) yang terjadi secara sporadis menyebabkan aliran sungai membawa konsentrasi sedimen terlarut yang sangat tinggi (Daramola et al., 2022; Liu et al., 2021) yang berakibat pada penambahan kenaikan muka air sungai. Penggunaan lahan dan perubahan iklim berpotensi mempengaruhi limpasan permukaan dan genangan air di daerah aliran sungai (Ardiansyah et al., 2021).

Sungai Panasen yang mengalir ke Danau Tondano merupakan salah satu sungai yang sering meluap saat musim hujan, sehingga selain menghambat kegiatan pertanian di sekitarnya, juga mempengaruhi tingkat kelestarian Danau Tondano dan perkembangan sektor pariwisata. Sejak dicanangkannya Danau Tondano sebagai salah satu dari 15 danau prioritas di Indonesia yang perlu mendapat perhatian agar kelestariannya tetap terjaga, maka diperlukan berbagai upaya penyelamatan, antara lain dengan mencegah laju pendangkalan danau dan menjaga ekosistem danau.

Permasalahan utama yang menyebabkan terjadinya bencana banjir, sedimentasi dan kerusakan lingkungan di Danau Tondano disebabkan oleh beberapa faktor yang terjadi secara bersamaan yaitu curah hujan yang tinggi pada musim penghujan, banyaknya sedimentasi yang disebabkan oleh air sungai yang membawa sedimen terlarut (Sorey et al., 2016), penggunaan pupuk di lahan persawahan, keberadaan keramba jaring apung atau jaring berundak (Rares et al., 2016) dan pertumbuhan eceng gondok yang tidak terkendali (Wantasen & Luntungan, 2019). Besarnya kerugian akibat fenomena alam yang diakibatkan oleh berkurangnya daya tampung Danau Tondano sangat membahayakan bagi permukiman masyarakat dan sebagai penyebab utama terjadinya kerusakan lingkungan pada lahan pertanian/sawah merupakan permasalahan sangat penting yang belum terselesaikan. Beberapa penelitian sebelumnya lebih banyak membahas tentang kualitas air, pertumbuhan eceng gondok, menganalisis proses sedimentasi secara parsial yaitu akibat perubahan tata guna lahan, akibat limbah keramba jaring apung serta tumbuhan eceng gondok yang membusuk.

Kondisi terkini danau Tondano yang sudah sangat memperhatikan sehingga memerlukan studi

secara holistik untuk menunjang proses revitalisasi danau. Sungai Panasen dengan luas DAS yang cukup besar dengan pemanfaatan lahan untuk pertanian dan peternakan dianggap cukup memberikan kontribusi terhadap proses pendangkalan danau Tondano dan membutuhkan studi yang lebih mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas penampang bagian hilir sungai Panasen serta menganalisis pengaruh aliran bersedimen Sungai Panasen terhadap proses sedimentasi di Danau Tondano. Dengan menggunakan elevasi muka air maksimum danau sebagai kondisi batas bagian hilir pada simulasi pemodelan banjir, hasil penelitian berupa upaya-upaya dan metode penanggulangan banjir dapat diterapkan pada daerah studi. Penelitian ini mencakup beberapa analisis yaitu analisis hidrologi, analisis hidraulika dan analisis sedimentasi. Analisis hidrologi untuk mendapatkan debit banjir pada berbagai kala ulang dan analisis hidraulika dengan menggunakan model dari *software* HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2016) untuk mendapatkan kapasitas penampang bagian hilir sungai Panasen. Analisis sedimentasi dilakukan dengan mengambil sampel aliran tersuspensi untuk selanjutnya dilakukan analisis laboratorium.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer dan data sekunder berdasarkan beberapa metode yang diperlukan. Data primer berupa pengukuran geometri sungai dengan bantuan alat *total station* dan pengambilan sampel aliran bersedimen menggunakan *suspended sediment sampler*. Titik pengambilan sampel sedimen tersuspensi dilakukan pada tiga lokasi (tepi kiri, bagian tengah dan tepi kanan) dalam arah melintang sungai serta 2 titik lokasi pada arah kedalaman sungai yaitu pada kedalaman 0.2 H dan 0.8 H. Pengukuran geometri sungai dilakukan pada beberapa titik di bagian hilir sungai yg berbentuk lurus dan mencakup parameter lebar sungai, kedalaman sungai serta kemiringan sungai. Data sekunder diperoleh dari beberapa instansi terkait yaitu peta Daerah Aliran Sungai (DAS), peta topografi, peta tata guna lahan, data curah hujan harian maksimum dari pos hujan terdekat dan data debit terukur. Data yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum 12 tahun dari stasiun pencatat hujan Sungai Noongan dan data debit terukur diperoleh dari AWLR Sungai Noongan.

Analisis hidrologi diawali dengan uji kualitas data curah hujan dan dilanjutkan dengan analisis frekuensi hujan untuk menetapkan hujan rencana berdasarkan acuan penelitian (Ginting & Putuhena, 2017; Mandal & Choudhury, 2015). Pemilihan metode sebaran dilakukan berdasarkan analisis statistik dan penelitian ini menggunakan metode *Log Pearson III* apabila semua pilihan sebaran frekuensi Normal dari acuan penelitian (Alam et al., 2018; Kamase et al., 2017; Upomo & Kusumawardani, 2016; Widyawati et al.,

2021), sebaran Log Normal, sebaran *Gumbel* tidak memenuhi yang disyaratkan. Selanjutnya, pemodelan aliran hujan pada model HEC-HMS menggunakan metode HSS *Soil Conservation Services* dan kehilangan air dengan SCS *Curve Number* (CN) karena ukuran DAS cukup besar dengan penyesuaian karakteristik DAS di lokasi studi. Untuk aliran dasar digunakan metode resesi. Parameter HSS SCS dikalibrasi sebelum melakukan simulasi debit banjir menggunakan uji debit puncak. Selanjutnya dilakukan analisis debit banjir dengan parameter yang telah dikalibrasi (Farid et al., 2012). Berdasarkan debit banjir pada berbagai periode ulang dapat diperoleh profil muka air banjir di bagian hilir Sungai Panasen menggunakan model HEC-RAS (Quiroga et al., 2016). Perhitungan jumlah sedimen yang terangkut masuk ke danau, terdiri dari pasir dan tanah liat, dianalisis berdasarkan besar volume sedimen terlarut pada debit banjir kala ulang 100 tahun agar dapat memperhitungkan jumlah sedimen masuk ke danau terbesar. Kandungan sedimen terlarut dianalisis dengan metode gravimetri di laboratorium mekanika tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan harian maksimum dari stasiun pencatat hujan Sungai Noongan dan data debit terukur dari AWLR Sungai Noongan. Pada studi ini perhitungan debit banjir maksimum menggunakan model HEC-HMS. Analisis hidraulika menggunakan model HEC-RAS dengan kondisi aliran *steady flow*, diperoleh tinggi muka air pada 5 segmen daerah hilir Sungai Panasen untuk berbagai kala ulang banjir. Daerah-daerah di hilir Sungai Panasen yang mengalami genangan banjir akan diperoleh setelah dilakukan analisis hidraulika. Pada bagian akhir dari studi ini adalah menentukan jumlah sedimen yang masuk ke danau Tondano. Perhitungan diawali dengan pengambilan sampel sedimen tersuspensi yang dilanjutkan dengan analisis laboratorium untuk mendapatkan jumlah konsentrasi sedimen. Lokasi pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bagian sungai yang lurus bagian terhilir sungai Panasen sebelum memasuki danau Tondano. Jumlah sedimen yang masuk ke danau ditentukan oleh konsentrasi sedimen terlarut dan besar volume air banjir pada berbagai kala ulang. Hasil analisis debit banjir, analisis tinggi muka air banjir dan analisis sedimentasi diuraikan secara lebih terperinci di bawah ini.

3.1 Analisis Debit Banjir

Secara geografis bagian hulu DAS Panasen terletak pada 1°8'46.15''LU dan 124°46'35.26''BT. Untuk bagian hilir DAS Panasen terletak pada 1°11'9.53''LU dan 124°53'5.80''BT. DAS Panasen

yang cukup besar terletak pada 4 kecamatan yakni kecamatan Tomposo, kecamatan Langowan Utara, kecamatan Langowan Timur, dan Kecamatan Langowan Barat, dimana luas daerah DAS Panasen adalah 56.76 km² ilustrasi pada Gambar 1.

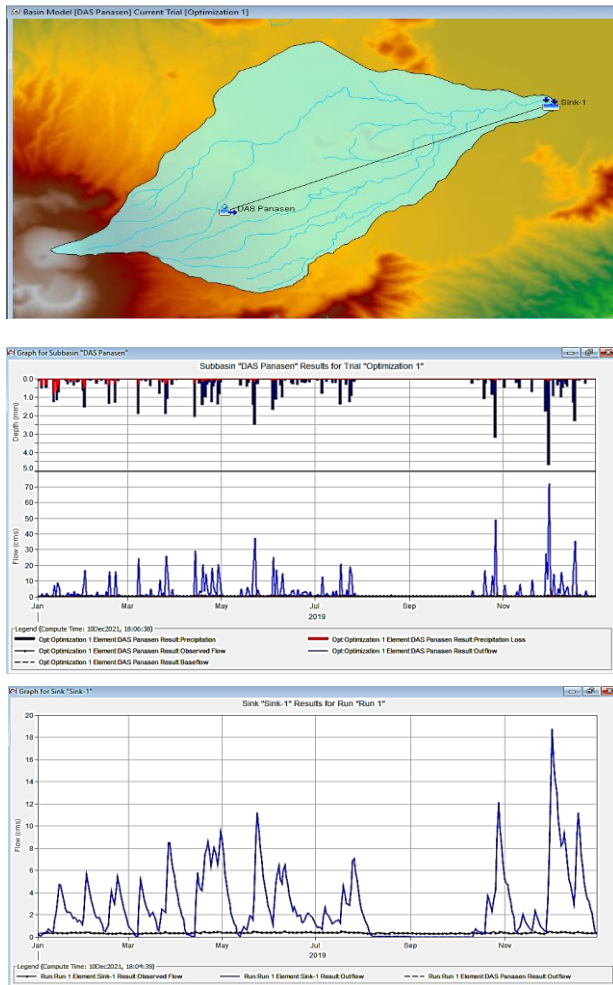


Gambar 1. Daerah aliran sungai panasen

Analisis hidrologi, khususnya perhitungan debit banjir DAS Panasen menggunakan data curah hujan harian maksimum selama 12 tahun dan data debit terukur. Tahapan uji *outlier* data curah hujan harian maksimum dilakukan sebagai bagian paling awal dari analisis hidrologi dan diperoleh bahwa keseluruhan data curah dari Stasiun hujan Sungai Noongan tidak terdapat data outlier. Artinya tidak ada data curah hujan yang menyimpang dari syarat batas data tertinggi dan terendah sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisis hidrologi selanjutnya.

Data hujan rerata, sub-sistem, luas dan beberapa parameter DAS seperti faktor tutupan lahan, jarak titik terjauh dari DAS ke sungai terdekat, kemiringan lahan, selanjutnya digunakan sebagai input untuk analisis debit banjir menggunakan model HEC-HMS. Model ini memungkinkan analisis hidrologi yang terintegrasi untuk memprediksi respons DAS terhadap curah hujan, sehingga menghasilkan debit banjir yang diestimasi. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan data debit pengamatan lapangan/terukur. Selanjutnya, parameter DAS dilakukan proses kalibrasi sehingga debit hasil hitungan mendekati debit pengamatan/debit terukur. Hal ini dilakukan karena debit terukur adalah debit yang sesungguhnya terjadi di lapangan. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi model dalam merepresentasikan kondisi aktual di lapangan.

Analisis ini adalah analisis debit banjir sehingga kalibrasi dititikberatkan pada besaran debit puncak. Dari hasil kalibrasi (terlihat pada Gambar 2) didapatkan besaran debit puncak hasil hitungan dan debit puncak terukur sudah mendekati sama. Dapat disimpulkan bahwa parameter parameter yang digunakan sudah sesuai untuk DAS Panasen, dan dapat digunakan untuk menghitung debit untuk hujan rencana yang ditentukan. Pada penelitian ini diperoleh 6 nilai hujan rencana berdasarkan debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.



Gambar 2. Debit hasil kalibrasi sungai panasen

3.2 Analisis Debit Banjir Rencana dengan HEC-HMS

Banjir rancangan beberapa periode ulang dihitung menggunakan HEC-HMS dengan parameter hasil kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 8. Dari gambar tersebut dapat dilihat pada berbagai periode ulang yaitu 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun diperoleh masing-masing banjir rancangan seperti pada Tabel 1.

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q2

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:15:36 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	50.2	01Jan2000, 03:30	38.51
Sink-1	56.76	50.2	01Jan2000, 03:30	38.51

Gambar 3. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_2)

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q5

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:16:40 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	71.6	01Jan2000, 03:30	54.95
Sink-1	56.76	71.6	01Jan2000, 03:30	54.95

Gambar 4. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_5)

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q10

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:17:23 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	82.1	01Jan2000, 03:30	62.93
Sink-1	56.76	82.1	01Jan2000, 03:30	62.93

Gambar 5. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_{10})

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q25

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:18:02 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	91.8	01Jan2000, 03:30	70.41
Sink-1	56.76	91.8	01Jan2000, 03:30	70.41

Gambar 6. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_{25})

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q50

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:18:47 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	97.2	01Jan2000, 03:30	74.53
Sink-1	56.76	97.2	01Jan2000, 03:30	74.53

Gambar 7. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_{50})

Project: Debit DAS Panasen Simulation Run: Q100

Start of Run: 01Jan2000, 00:00 Basin Model: DAS Panasen
End of Run: 05Jan2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 10Dec2021, 18:19:30 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
DAS Panasen	56.76	101.4	01Jan2000, 03:30	77.72
Sink-1	56.76	101.4	01Jan2000, 03:30	77.72

Gambar 8. Perhitungan banjir rancangan dengan HEC-HMS (Q_{100})

Tabel 1. Banjir rancangan beberapa periode ulang

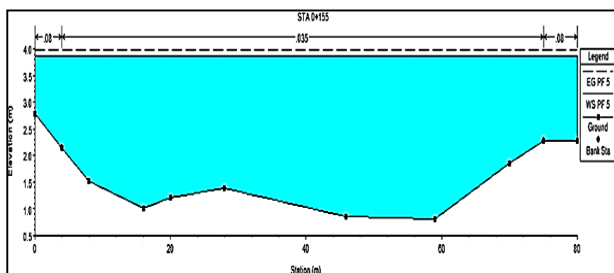
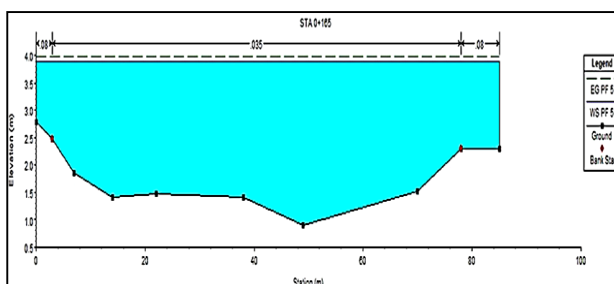
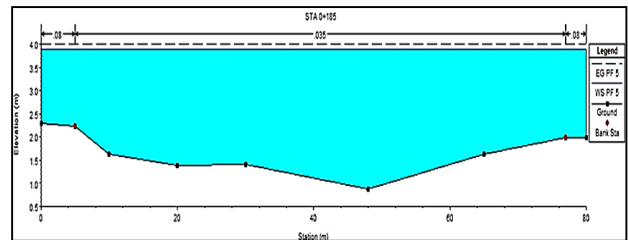
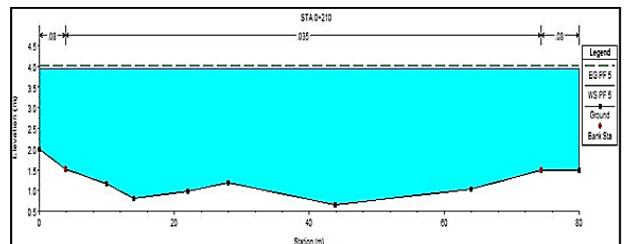
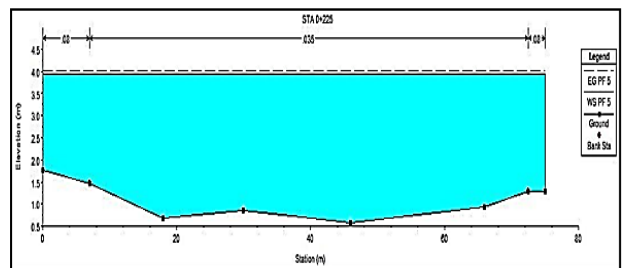
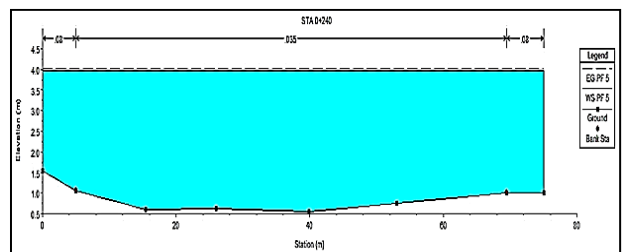
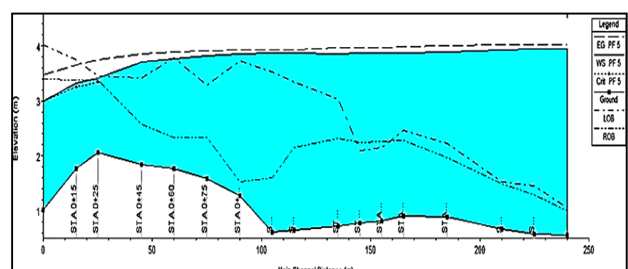
Periode ulang (tahun)	Debit banjir (m^3/detik)
2	50.2
5	71.6
10	82.1
25	91.8
50	97.2
100	101.4

3.3 Analisis Tinggi Muka Air Banjir

Model HEC-RAS difokuskan pada analisis hidraulika di sungai/sistem analisis sungai. Analisis yang dilakukan dengan model HEC-RAS dapat meliputi beberapa kondisi, seperti aliran tetap, aliran tidak tetap serta analisis angkutan sedimen.

Sepanjang hilir Sungai Panasen dilakukan tinjauan profil muka air banjir di 5 segmen, yaitu yang berada pada STA 0+155 m, STA 0+165 m, STA 0+185 m, STA 0+210 m, STA 0+225 m dan STA 0+240 m.

Hasil analisis muka air banjir pada setiap penampang di beberapa STA dengan menggunakan model HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 13. Penampang memanjang muka air banjir (Q_{100}) ditunjukkan pada Gambar 14.

**Gambar 9.** Penampang melintang muka air banjir pada STA 0+155**Gambar 10.** Penampang melintang muka air banjir pada STA 0+165**Gambar 11.** Penampang Melintang Muka Air Banjir Pada STA 0+185**Gambar 12.** Penampang melintang muka air banjir pada STA 0+210**Gambar 13.** Penampang melintang muka air banjir pada STA 0+225**Gambar 14.** Penampang melintang muka air banjir pada STA 0+240**Gambar 15.** Penampang memanjang muka air banjir (Q_{100})

Tabel 2. Muka air banjir dan kedalaman air

STA (m)	Tinggi muka air maksimum (m)	Elevasi dasar sungai (m)	Kedalaman air (m)
0+155	3.88	0.8081	3.0718
0+165	3.88	0.9086	2.9714
0+185	3.89	0.8819	3.0080
0+210	3.94	0.6591	3.2808
0+225	3.95	0.5716	3.3783
0+240	3.96	0.5605	3.3994

Berdasarkan Gambar 15 dan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa pada kondisi banjir periode ulang 100 tahun, bagian hilir sungai Panasen mulai dari STA 0+155m sampai dengan STA 0+240m mengalami luapan dengan ketinggian bervariasi antara 1.2 m – 3.1 m pada kedua tebing sungai.

3.4 Analisis Sedimentasi

Pengambilan sampel sedimen pada aliran sungai Panasen diperlukan untuk mengetahui konsentrasi sedimen. Lokasi pengambilan sampel sedimen dilakukan di bagian terhilir sungai Panasen sebelum memasuki Danau Tondano. Dari hasil analisis laboratorium diperoleh jumlah sedimen terlarut persatuan volume air. Selanjutnya dihitung besar sedimen terlarut rata-rata untuk setiap kala ulang banjir seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Sedimen terlarut rata-rata

Sedimen terlarut rata-rata (gr/m ³)							
Aliran masuk	Q _{Base}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Panasen	5.89	97.82	132.58	148.21	157.93	161.252	161.08

Tabel 4. Total sedimen

Total sedimen (m ³)							
Aliran masuk	Q _{Base}	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Panasen	5.78	525	937	1,112	1,224	1,352	1,343

Dari simulasi yang dilakukan selama 24 jam, diketahui bahwa terdapat hubungan antara jumlah debit sungai, volume sedimen, dan penambahan tinggi sedimen. Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4, dilakukan analisis estimasi penambahan volume dan tinggi sedimentasi selama kurun waktu 30 tahun seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kenaikan dasar danau setelah 30 tahun

Kala Ulang	Total Sedimen Perhari (m ³)	Penambahan Tinggi Sedimen (mm)	Frekuensi dalam 30 tahun	Total 30 Tahun (m ³)
Q _{Base}	79.73	0	10950	873,043.5
Q ₂	52,598.06	1.56	15	1,121,970.9
Q ₅	937,611.24	2.2	6	633,667.44
Q ₁₀	111,258.91	2.48	3	357,476.73
Q ₂₅	122,427.69	2.68	2	257,655.38
Q ₅₀	135,239.34	2.79	1	134,039.34
Q ₁₀₀	134,351.45	2.86	1	137,251.45
Total volume Sedimen dalam 30 Tahun (m ³)				3,215,104.7
Total Kenaikan Dasar Setelah 30 tahun (mm)				72.15

4. KESIMPULAN

Debit banjir Sungai Panasen pada periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berturut-turut adalah 50.2 m³/detik, 71.6 m³/detik, 82.1 m³/detik, 91.8 m³/detik, 97.2 m³/detik dan 101.4 m³/detik. Pada kondisi curah hujan maksimum (Q₁₀₀) dan pasang surut air danau, semua segmen sungai tinjauan tidak mampu menampung debit banjir. Ketinggian muka air banjir (*overflow*) berkisar antara 1.2 – 3.1 meter dan cenderung terjadi ke arah kanan tepian sungai. Konsentrasi sedimen terlarut di sungai Panasen sebesar 6.16 gr/m³ dengan total sedimen yang masuk berturut-turut pada Q_{Base}=5.78 m³, (Q₂)= 525 m³, (Q₅) = 937 m³, (Q₁₀) = 1,112 m³, (Q₂₅) = 1,224 m³, (Q₅₀) = 1,352 m³ dan (Q₁₀₀) = 1,343 m³. Diperoleh hubungan antara besarnya debit sungai, volume sedimen dan pertambahan tinggi sedimen di danau. Berdasarkan hasil analisis estimasi selama kurun waktu 30 tahun, akan terjadi penambahan volume sebesar 3,215,104.7 m³ dan tebal sedimentasi sebesar 72.15 mm.

Dari hasil analisis diperoleh *overflow* yang cukup besar pada bagian hilir sungai Panasen akibat pendangkalan Sungai. Selain itu jumlah sedimen masuk ke danau cukup signifikan sehingga disarankan diperlukan adanya upaya-upaya pengelolaan DAS sungai Panasen yaitu berupa tindakan konservasi lahan dan penentuan tata guna lahan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aerts, J. C. J. H., & Botzen, W. J. W. (2011). Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: A comprehensive study for the Netherlands. *Global Environmental Change*, 21(3), 1045–1060. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.005>
- Alam, M., Emura, K., Farnham, C., & Yuan, J. (2018). Best-Fit Probability Distributions and Return Periods for Maximum Monthly Rainfall in Bangladesh. *Climate*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.3390/cli6010009>

- Ardiansyah, M., Nugraha, R. A., Iman, L. O. S., & Djatmiko, S. D. (2021). Impact of Land Use and Climate Changes on Flood Inundation Areas in the Lower Cimanuk Watershed, West Java Province. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 23(2), 53–60. <https://doi.org/10.29244/jitl.23.2.53-60>
- Daramola, J., Adepehin, E. J., Ekhwan, T. M., Choy, L. K., Mokhtar, J., & Tabiti, T. S. (2022). Impacts of Land-Use Change, Associated Land-Use Area and Runoff on Watershed Sediment Yield: Implications from the Kaduna Watershed. *Water (Switzerland)*, 14(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w14030325>
- Farid, M., Mano, A., & Udo, K. (2012). Urban Flood Inundation Model for High Density Building Area. *Journal of Disaster Research*, 7(5), 554–559. <https://doi.org/10.20965/jdr.2012.p0554>
- Ghimire, R., Ferreira, S., & Dorfman, J. H. (2015). Flood-induced displacement and civil conflict. *World Development*, 66, 614–628. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.021>
- Ginting, S., & Putuhena, W. M. (2017). Hujan rancangan berdasarkan analisis frekuensi regional dengan metode tlmoment. *Jurnal Sumber Daya Air*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.32679/jsda.v12i1.160>
- Hapsari, R. I., & Zenurianto, M. (2016). View of Flood Disaster Management in Indonesia and the Key Solutions. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5, 140–151.
- Kamase, M., Hendratta, L. A., & Sumarauw, J. S. F. (2017). Analisis Debit Dan Tinggi Muka Air Sungai Tondano Di Jembatan desa Kuwil Kecamatan Kalawat. *Jurnal Sipil Statik*, 5(4), 175–185.
- Li, J., & Shi, W. (2015). Effects of alpine swamp wetland change on rainfall season runoff and flood characteristics in the headwater area of the Yangtze River. *Catena*, 127, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.020>
- Liu, W., Shi, C., Ma, Y., Li, H., & Ma, X. (2021). Land use and land cover change-induced changes of sediment connectivity and their effects on sediment yield in a catchment on the Loess Plateau in China. *Catena*, 207(August), 105688. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105688>
- Mandal, S., & Choudhury, B. U. (2015). Estimation and prediction of maximum daily rainfall at Sagar Island using best fit probability models. *Theoretical and Applied Climatology*, 121(1–2), 87–97. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1212-1>
- Morrison, A., Westbrook, C. J., & Noble, B. F. (2018). A review of the flood risk management governance and resilience literature. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 291–304. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>
- Quirogaa, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Rares, J. P., Sholichin, M., & Yuliani, E. (2016). Analisis Pengelolaan Kualitas Air Di Perairan Danau Tondano. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(2), 225–235.
- Sorey, T. D., Bisri, M., & Sisinggih, D. (2016). Kajian Penanganan Sedimentasi Danau Tondano. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(2), 259–267.
- Upomo, T. C., & Kusumawardani, R. (2016). Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan Dengan Metode Goodness Of Fit Test. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 18(2), 139–148. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i2.7480>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulics Refrence Manual HEC-RAS 5.0*. . Davis: Hydrologic Engineering Center.
- Wantasen, S., & Luntungan, J. (2019). Water Resources Management of Lake Tondano in North Sulawesi Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012005>
- Widyawati, W., Yuniarti, D., & Goejantoro, R. (2021). Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang Hujan. *Eksponensial*, 11(1), 65. <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v11i1.646>