

ANALISIS PENGARUH PEMBANGUNAN WADUK KUWIL-KAWANGKOAN TERHADAP DEBIT BANJIR DI HILIR SUNGAI TONDANO

Victor Christofel Lahamendu,
Liany A Hendratta, Tommy Jansen

Prodi S2 Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado
e-mail : Victorlahamendu@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mencegah terjadinya banjir adalah dengan membuat rekayasa bangunan air seperti waduk, waduk adalah suatu bangunan air yang berfungsi untuk menampung air sungai yang memiliki kelimpahan air di musim penghujan dan menampung air pada musim kemarau, dengan demikian dengan adanya waduk maka pada musim hujan dapat menampung kelebihan air sehingga tidak menyebabkan banjir, melainkan dapat ditampung untuk digunakan pada musim kemarau.

Waduk Kuwil Kawangkoan dibangun untuk keperluan pencegahan banjir dan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga air. Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh waduk ini terhadap debit banjir di hilir sungai Tondano, dengan kala ulang 25, 50 dan 100 tahun, menggunakan bantuan program HEC-HMS.

Data yang diperlukan adalah data curah hujan rerata harian maksimum dari beberapa stasiun, Peta DAS Tondano, Tata Guna Lahan DAS Tondano, kurva hubungan antara elevasi dan luas bendungan, dan data debit AWLR di daerah tinjauan, sedangkan untuk pengolahan hidrolika dibutuhkan data penampang sungai.

Hasil analisis menunjukkan debit yang terjadi sebelum adanya bendung untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun adalah sebesar, 481,3 m³/det, 534,7 m³/det dan 588,2 m³/det, setelah adanya waduk untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun dengan elevasi air dalam waduk 87,5 m atau dalam keadaan low water level (LWL) debit banjir outflow sebesar 230,8 m³/det, 283,3 m³/det dan 337,3 m³/det sehingga banjir yang tereduksi dari sebelum adanya waduk dengan kala ulang 25,50 dan 100 tahun sebesar 250,5m³/det, 251,4 m³/det dan 250,9 m³/det.

Keadaan tinggi air dalam waduk pada elevasi 100 m (Normal Water Level) debit outflow untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun masing-masing sebesar 439,5 m³/det, 490 m³/det dan 540 m³/det sehingga debit banjir yang tereduksi 41,8 m³/det, 44,7 m³/det dan 48,2 m³/det. Keadaan air dalam waduk pada elevasi (103,6) (High Water Level), outflow untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun sebesar 445,7 m³/det, 495,4 m³/det dan 545,6 m³/det dengan reduksi banjir sebesar 35,6 m³/det, 39,3 m³/det dan 42,6 m³/det. Informasi yang didapat adalah adanya waduk sangat mempengaruhi debit banjir di hilir sungai Tondano pada saat air dalam waduk terisi air sampai pada elevasi low water level atau 87,5 m ketika akan terjadinya banjir.

Keywords: Debit Banjir, Tinggi Muka Air Banjir, Waduk Kuwil-Kawangkoan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Waduk adalah bangunan teknik yang berfungsi menahan laju air di sungai sehingga menaikkan tinggi muka air dengan berbagai tujuan, misalnya untuk keperluan air irigasi, pembangkit listrik tenaga air, penyimpanan dan pengaturan pasokan air serta pengendalian banjir, tempat rekreasi dan sebagainya.

Adapun fungsi utama waduk Kuwil-Kawangkoan ialah menghasilkan energi listrik untuk tambahan pasokan ke dalam sistem

interkoneksi suplay daya listrik Kota Manado, Minahasa Utara dan Kota Bitung dengan fungsi lainnya adalah penyediaan air untuk kebutuhan pertanian, perikanan dan pariwisata.

Banyak manfaat yang dapat diterima dari pembangunan waduk Kuwil-Kawangkoan ini, tetapi selain manfaat yang baik akan terdapat berbagai macam pengaruh negatif dalam pembangunan waduk kuwil kawangkoan.

Pembangunan waduk Kuwil-Kawangkoan akan mempengaruhi kondisi lingkungan dan sosial ekonomi masyarakat setempat terutama

yang berada didaerah hilir waduk Kuwil Kawangkoan.

Pada penelitian ini, penulis mencoba menganalisis bagaimana pengaruh pembangunan waduk Kuwil Kawangkoan terhadap debit banjir di bagian hilir khususnya di lokasi jembatan Kairagi.

Dalam menghitung pengaruh Waduk Kuwil-Kawangkoan digunakan tiga program, yaitu Arcgis yang berfungsi untuk mengetahui parameter DAS, kedua HEC-HMS yang berfungsi sebagai alat untuk menghitung Hidrologi dan ketiga adalah Hec-RAS yang digunakan untuk menghitung Hidrolika pada saluran terbuka.

Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah ditulis maka rumusan masalah yang akan dianalisis adalah

- 1) Bagaimana pengaruh pembangunan Waduk Kuwil Kawangkoan terhadap debit banjir di sungai bagian hilir khususnya lokasi jembatan kairagi
- 2) Bagaimana pengaruh tinggi muka air banjir akibat pembangunan Waduk Kuwil Kawangkoan di sungai bagian hilir khususnya lokasi jembatan Kairagi.

Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain

1. Daerah tinjauan pada hilir sungai Tondano yaitu pada jembatan Kairagi sebagai titik nol dan sejauh 250 meter kearah hilir sungai dari titik nol, serta sejauh 250 meter kearah hulu dari titik nol dengan interval penampang 50 meter
2. Debit banjir kala ulang yaitu 25, 50 dan 100 tahun.
3. Ketika terjadi banjir tinggi muka air dalam waduk terdapat pada elevasi Low water level (87,5 m), Normal Water Level (100 m) dan High Water Level (103,5 m)

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

1. Bagaimana debit banjir di sungai bagian hilir untuk lokasi tinjauan sekitar jembatan Kairagi
2. Bagaimana pengaruh pembangunan Waduk Kuwil Kawangkoan terhadap debit banjir di sungai bagian hilir khususnya di lokasi jembatan Kairagi

3. Bagaimana tinggi muka air banjir setelah dibangun Waduk Kuwil Kawangkoan.

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan latar belakang masalah dan judul yang diangkat, maka ada beberapa teori yang melandasi penelitian ini yaitu, pertama Teori Hidrologi yang memerlukan suatu perhitungan analisis frekuensi curah hujan dan perhitungan limpasan aliran. Kedua Analisa hidrolika sungai, yang bertujuan untuk menganalisa profil muka air banjir di sungai dengan berbagai kala ulang dari debit banjir rancangan.

Yuniarti (2009) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa, tidak hanya Intensitas air hujan yang besar menimbulkan Banjir tetapi dijelaskan pula bahwa semakin berkembangnya pertumbuhan perekonomian dan pembangunan sarana dan prasarana infrastruktur kota yang sangat pesat dapat mengubah tata guna lahan yang ada.

Daerah yang mengalami perubahan tata guna lahan mengakibatkan kurangnya daerah resapan sehingga daerah ini mengalami genangan dan banjir jika terjadi musim hujan. Sehingga perhitungan dan analisa debit banjir sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Metode yang digunakan adalah metode rasional, hidrograf sintesis Gama-I dan Nakayatsu.

Dalam menghitung debit banjir rancangan dengan metode-metode perlu dilakukan uji distribusi yang dimaksudkan untuk mengetahui apakah curah hujan rancangan dapat diterima atau tidak dalam menghitung debit banjir. Dari hasil perhitungan debit banjir rancangan maka didapat metode ini bisa menjadi acuan pengendalian banjir sehingga dapat mengurangi dampak banjir yang terjadi menggunakan debit banjir rancangan metode rasional.

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi dimulai dari: Air menguap dari permukaan samudra akibat energi panas matahari. Laju dan jumlah penguapan bervariasi, dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut mengalami kondensasi dan membentuk butir – butir air yang akan jatuh kembali sebagai presipitasi berupa hujan atau salju. Air hujan atau salju akan mengalir ke saluran dan sungai, hal ini disebut limpasan permukaan. Jika permukaan tanah porous, maka sebagian air akan

meresap ke dalam tanah melalui peristiwa infiltrasi. Sebagian lagi akan kembali ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman (Evapotranspirasi).

Air yang mengalir dalam saluran atau sungai dapat berasal dari aliran permukaan atau dari air tanah yang merembes di dasar sungai. Kontribusi air tanah pada aliran sungai disebut aliran dasar (*base flow*), dan total aliran disebut debit *runoff*. Air yang tersimpan di danau, waduk dan sungai disebut air permukaan (*surface water*). Dalam kaitan dengan perencanaan drainase, komponen dalam siklus hidrologi yang terpenting adalah air permukaan. Oleh karena itu, komponen inilah yang perlu ditangani secara baik untuk menghindari bencana, khususnya banjir

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Pola sungai akan menentukan bentuk suatu daerah aliran sungai. Bentuk suatu DAS mempunyai arti penting dalam hubungannya dengan aliran sungai, yaitu berpengaruh terhadap kecepatan aliran. Secara fisik setelah batas DAS ditentukan garis batasnya, maka bentuk DAS dapat diketahui. Pada umumnya dapat dibedakan menjadi empat bentuk yaitu daerah aliran sungai berbentuk:

a) Memanjang

Biasanya induk sungai akan memanjang dengan anak-anak sungai langsung mengalir ke induk sungai, kadang-kadang berbentuk seperti bulu burung. Bentuk ini biasanya akan menyebabkan besar aliran banjir relatif lebih kecil karena perjalanan banjir dari anak sungai berbeda-beda. Tetapi biasanya banjir berlangsung agak lama.

b) Radial

Bentuk ini karena arah sungai seolah-olah memusat pada suatu titik sehingga adanya bentuk radial, kadang-kadang gambaran tersebut memberi bentuk kipas atau lingkaran. Sebagai akibat dari bentuk tersebut maka waktu yang diperlukan aliran yang datang dari segala penjuru anak sungai memerlukan waktu yang hampir bersamaan. Apabila terjadi hujan yang sifatnya merata di seluruh DAS akan menyebabkan terjadinya banjir

c) Paralel

Daerah aliran sungai ini dibentuk oleh dua jalur DAS yang bersatu dibagian hilir. Apabila terjadi banjir di daerah hilir biasanya terjadi setelah dibawah titik pertemuan

d) Kompleks

Daerah aliran sungai ini merupakan bentuk DAS yang sangat kompleks atau mengandung ciri dari gabungan dari DAS radial dan paralel

Hujan

• Penentuan hujan kawasan

Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada; sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang ditempatkan secara terpecah, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tinjauan, ada tiga metode untuk menentukan hujan rerata, antara lain:

1. Metode rerata aritmatik
2. Metode poligon Thiessen
3. Metode Isohiet

Tetapi dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *poligon Thiessen*, karena memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya dan metode ini sangat baik digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata.

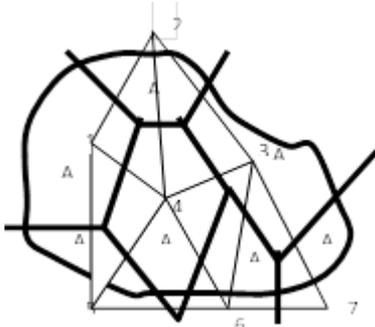
Pembentukan poligon Thiessen adalah sebagai berikut:

- a. Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan, seperti di tunjukan pada gambar 1.
- b. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis putus-putus sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
- c. Di buat titik berat pada sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan dengan garis penuh pada gambar 1.
- d. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk
- e. Luas tiap poligon diukur kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada dipolygon.
- f. Jumlah dari hitungan dari perkalian luas dan kedalaman hujan stasiun di bagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut, yang dalam matematik mempunyai bentuk sebagai berikut.

$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_n} \quad (1)$$

dengan:

- \bar{P} : Hujan rerata kawasan
- $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$: Hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n
- A_1, A_2, \dots, A_n : Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3, ..., n



Gambar 1. Poligon Thiessen

Hidrograf Satuan Sintetis

Dalam praktek sering dijumpai keadaan data dari suatu daerah aliran sungai mempunyai kualitas yang baik maupun kualitas yang tidak memenuhi syarat, misalnya banyak data yang hilang, besaran data yang meragukan ataupun belum dilakukan observasi hidrograf banjir.

Hidrograf satuan sintetik (HSS) merupakan suatu cara yang memungkinkan penggunaan konsep hidrograf satuan untuk suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran-pengukuran langsung.

Mengenai hidrograf banjir persamaan-persamaan yang digunakan pada HSS memanfaatkan parameter-parameter DAS untuk memperoleh penyajian grafis antara unsur aliran dan waktu parameter-parameter DAS dapat diukur dari peta topografi.

Parameter-parameter DAS yang umumnya dipakai dalam HSS adalah luas DAS, kelandaian DAS, panjang sungai, jumlah pertemuan sungai, kerapatan jaringan sungai, orde sungai.

1. Hidrograf satuan sintetik Snyder

Snyder (1928) dalam (Soemarto, 1987) memanfaatkan parameter DAS untuk memperoleh hidrograf satuan sintetik snyder. Persamaan-persamaan yang digunakan pada HSS Snyder adalah:

Debit puncak hidrograf satuan (qp)

$$qp = cp \frac{275}{tp} \quad (2)$$

dimana :

- qp = Debit puncak hidrograf satuan ($m^3/det/km$)
- Cp = Koefisien kapasitas tampungan Snyder: 0.9 – 1.40

- tp = $Ct (Lc.L)^{0.3}$
- L = Panjang sungai ke titik berat DAS (km)
- n = Koefisien yang bersifat proporsional terhadap Ct biasa di gunakan $n > 0.2$
- Ct = Koefisien kelandaian DAS dari Snyder: 0.75 – 3.00

Waktu capai puncak (Tp – Time Rise to Peak)

Lamanya hujan Efektif (tr^*)

$$(tr^*) = \frac{tp}{5.5} \quad (3)$$

Dengan, tr di asumsikan satu jam Jika (tr^*) > tr (asumsi), maka dilakukan koreksi terhadap tp ,

$$tp^* = tp + 0.25(tr^* - tr) \quad (4)$$

Jadi

$$Tp = tp^* + \frac{tr}{2} \quad (5)$$

Jika $tr^* < tr$ (Asumsi), maka :

$$Tp = tp + \frac{tr}{2} \quad (6)$$

Debit puncak

$$Qp = \frac{qp(A)}{1000} \quad (7)$$

$heff$ (Asumsi) = 1 mm

dengan

Qp = Debit puncak (m^3)

qp = Debit puncak hidrograf satuan ($m^3/det/km^2$).

Menentukan grafik hubungan antara Qp dan t berdasarkan persamaan Alexseyev:

$$Y = 10^{-\lambda \left[\frac{(1-t)^2}{n} \right]} \quad (8)$$

$$X = \frac{t}{tp} \quad (9)$$

$$\alpha = 1.32 * \lambda^2 + 0.15 * \lambda + 0.045 \quad (10)$$

$$\lambda = \frac{(Qp \times TR)}{(heff \times A)} \quad (11)$$

Dengan:

- Qp = Debit puncak (m^2/det)
- t = Waktu (jam)
- X = Fungsi waktu
- Y = Fungsi debit
- λ = Hasil perkalian Debit terhadap waktu dan berbanding terbalik dengan hasil perkalian hujan efektif dengan luas.

Program HEC-HMS

Model Hidrologi

Model hidrologi merupakan sebuah sajian sederhana dari sebuah system hidrologi (lihat Gambar 1) pada suatu daerah aliran sungai

(DAS). Model tersebut bertujuan untuk menggambarkan tanggapan suatu DAS terhadap proses hidrologi yang terjadi jika diberi masukan-masukan tertentu. Dalam penyusunan model hidrologi, titik berat analisa dipusatkan pada proses pengalihragaman hujan menjadi aliran melalui satu sistem DAS. Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan untuk mengalihragamkan hujan menjadi aliran baik *event flow* maupun *continuous flow* adalah HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System, US Army Corps of Engineers, 2000).

Tinggi Muka Air Banjir

Setelah didapat Debit maksimum dengan kala ulang tertentu, maka elevasi tinggi muka air banjir dapat diketahui dengan cara mengukur luas penampang palung sungai sedangkan kecepatan air di hitung secara analitis. Rumus yang digunakan adalah rumus Chezy.

$$Q = V \cdot A \tag{12}$$

$$V = CR^{1/2}S^{1/2} \tag{13}$$

$$Q = CAR^{1/2}S^{1/2} \tag{14}$$

$$AR^{2/3} = \frac{Q}{CS^{1/2}} \tag{15}$$

dengan :

- Q = Debit aliran (m^3/det)
- S = Kemiringan dasar saluran
- R = Jari – jari hidrolis (m)
- A = Luas Penampang basah (m^2)
- C = Koefisien Chezy

Banyak percobaan yang telah dibuat untuk menentukan Koefisien Chezy C.

Penentuan faktor hambatan Chezy

Rumus Ganguillet-Kutter.

Pada tahun 1869, dua insinyur Swiss, Ganguillet dan kutter mengumumkan rumus yang menyatakan besarnya nilai C sehubungan dengan kemiringan S, jari-jari hidrolis R dan Koefisien kekasaran n. Rumus dalam satuan inggris adalah.

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{S} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \tag{16}$$

Rumus Bazin.

Pada tahun 1897 seorang ahli hidrolika Perancis, H Bazin mengusulkan suatu rumus yang bagi Koefisien C dari Chezy dianggap fungsi R bukan S. Rumus ini dalam satuan inggris dinyatakan sebagai berikut

$$C = \frac{157.6}{1+m/\sqrt{R}} \tag{17}$$

dimana:

R = koefisien Bazin

Rumus Powell.

Pada tahun 1950, Powel mengusulkan suatu rumus logaritmis untuk kekasaran saluran buatan. Rumus ini menyatakan fungsi C adalah:

$$C = -42 \log \left(\frac{C}{4R} + \frac{\epsilon}{R} \right). \tag{18}$$

dengan :

- R = Jari-jari Hidrolik
- R = Bilangan Reynolds
- ε = Ukuran kekasaran saluran.

METODOLOGI PENELITIAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Bendungan Kuwil direncanakan pada Sungai Tondano di sebelah hilir PLTA Tanggari II, tepatnya terletak di desa Kuwil, Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Propinsi Sulawesi Utara dimana secara geografis terletak antara 124 o 55 ' - 124 o 56 ' Bujur Timur dan 1 o 26 ' - 1 o 27 ' Lintang Utara.

Luas total wilayah Kabupaten Minahasa Utara adalah 932,20 Km2 yang berbatasan dengan:

- Sebelah Utara dengan Kabupaten Sangihe
- Sebelah Timur dengan Kota Bitung
- Sebelah Selatan dengan Kabupaten Minahasa dan
- Sebelah Barat dengan Kota Manado.

Kondisi Topografi di sekitar rencana bendungan merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian berkisar antara 120 m sampai 125 m diatas permukaan laut.

PENGUMPULAN DATA

Data dan Sumber Data.

Data Primer

Data yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian, dengan pengukuran, pengamatan dan wawancara

- Karakteristik DAS Tondano,
- Data Penampang Memanjang dan Melintang Sungai , data ini di dapat dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dengan alat theodolit.
- Data waduk Kuwil

Data Sekunder.

Data yang diperoleh dari instansi-instansi dan pihak-pihak yang dianggap perlu, serta dapat diperoleh dari literatur, laporan atau catatan dari pihak yang berhubungan dengan penelitian:

- Peta DAS, Peta Tata Guna Lahan, dan Peta Stasiun , diperoleh dari BP DAS Tondano di Manado
- Data Curah Hujan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Sulawesi Utara.
- Data Debit Jam-jaman di sungai sekitar jembatan Kairagi

Data Teknis Waduk

Data teknis rencana pembangunan Bendungan Kuwil Kawangkoan Kawangkoan di Kabupaten Minahasa Utara berdasarkan hasil pelaksanaan Investigasi Geoteknik Tambahan, Analisis Keruntuhan dan Sertifikasi Bendungan Kuwil Kawangkoan meliputi:

Daerah Pengaliran Sungai

- Panjang sungai: ± 120,00 km²

Waduk

Elevasi MA

- Min (LWL): El. 87,10 m
- Normal (NWL): El. 100,00 m
- Banjir QPMF (FWL): El. 103,80 m
- Banjir (Q1000th): El. 101,70 m
- Volume tampungan total waduk: 29,10 juta m³
- Volume tampungan efektif waduk: 13,68 juta m³
- Volume tampungan minimum: 9,69 juta m³
- Luas daerah genangan: 144,32ha
- Luas Tampungan pada Elevasi HWL: 139 ha
- Hujan Tahunan Rata-rata: 2476 mm

Sistem Pengelak

- Tipe: Terowongan
- Debit banjir rencana (inflow - Q25): 429,20 m³/det
- Debit outflow: 228,37 m³/det
- Diameter: 5,60 m
- Elevasi Inlet terowongan: El. 56,00 m
- Elevasi Outlet terowongan: El. 52,00 m
- Panjang terowongan I: 550,00 m
- Panjang terowongan II: 550,00 m

Bendungan Pengelak (Cofferdam)

- Tipe: Urugan Batu dengan Inti Miring
- Lebar puncak: 8,00 m
- Panjang Cofferdam: 130,00 m

- Elevasi puncak Cofferdam: El. 73,00 m
- Kemiringan lereng
Hulu: 1 : 2,50
Hilir: 1 : 2,00

Bendungan

- Tipe: Urugan Batu dengan Inti Tegak
- Tinggi bendungan: 65.00 m
- Lebar puncak: 11,00 m
- Panjang puncak: 345,00 m
- Elevasi puncak: El. 106 m
- Kemiringan lereng - Hulu: 1 : 3,00
- Hilir: 1 : 2,50
- Volume timbunan: 2,737.600,00 m³

Bangunan Pelimpah (Spillway)

- Tipe: Kombinasi Pelimpah Bebas dan Berpintu
- Elevasi ambang bebas: El. 100,00 m
- Lebar Ambang bebas: 68,00 m (2@ 34,00 m)
- Elevasi Ambang berpintu: El. 95,50 m
- Lebar Ambang Berpintu: 11,00 m (2@ 5,50m)
- Pintu Baja dengan roda tetap: 5,50 m (L) x 4,5 m (T), 2 set
- Stoplog Baja: 2 block @ 5,5 m (L) x 2,3 m (T), 1 set
- Panjang total: 295.00 m
- Debit banjir rancangan Q1000th (inflow): 841,75 m³/detik
- Debit outflow Q1000th: 722,22 m³/detik
- Debit banjir PMF (inflow): 1957,91 m³/detik
- Debit outflow QPMF: 1747,26 m³/detik
- Panjang Peredam Energi: 40,00 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan Rencana

Untuk perencanaan ini digunakan data curah hujan harian maksimum tahunan di 4 lokasi stasiun:

1. Stasiun Tikala Sawangan

Tabel 1. Data Curah Hujan, Sta Tikala Sawangan

NO	Tahun	Curah Hujan Maks Tahunan (mm)
1	2002	117.87
2	2003	321.6
3	2004	120.4
4	2005	135.51
5	2006	81.36
6	2007	100.6

7	2008	130.8
8	2009	100.3
9	2010	123
10	2011	116
11	2012	110
12	2013	180.4
13	2014	110.5
14	2015	90
15	2016	70

2. Stasiun Noongan

Tabel 1. Tabel Curah Hujan Sta Noongan

No	Tahun	Curah Hujan Maks Tahunan (mm)
1	2002	112
2	2003	112.3
3	2004	100
4	2005	98.6
5	2006	59.3
6	2007	107
7	2008	57.6
8	2009	98.2
9	2010	54.4
10	2011	116.4
11	2012	94.8
12	2013	84.6
13	2014	100
14	2015	95
15	2016	99.6

3. Stasiun Paleloan

Tabel 3. Curah Hujan Stasiun Paleloan

NO	Tahun	Curah Hujan Maks Tahunan (mm)
1	2002	107.29
2	2003	63
3	2004	136.6
4	2005	98.6
5	2006	59.2
6	2007	65.5
7	2008	71.6
8	2009	40
9	2010	67.2
10	2011	90.9
11	2012	69.8
12	2013	66.5
13	2014	110.5
14	2015	68.56
15	2016	115.5

4. Stasiun Tikala Rumengkor

Tabel 4. Curah Hujan Stasiun Tikala Rumengkor

NO	Tahun	Curah Hujan Maks Tahunan (mm)
1	2002	77.9
2	2003	105.4
3	2004	79
4	2005	105.9
5	2006	63.6
6	2007	55.4
7	2008	82.1
8	2009	118.4
9	2010	104.5
10	2011	87.8
11	2012	111.5
12	2013	146.6
13	2014	183
14	2015	94.9
15	2016	76.2

5. Stasiun Talawaan

Tabel 5. Curah Hujan Stasiun Tikala Rumengkor

NO	Tahun	Curah Hujan Maks Tahunan (mm)
1	2002	106.06
2	2003	152
3	2004	81
4	2005	121.9356126
5	2006	73.21083436
6	2007	118
7	2008	161
8	2009	106
9	2010	110
10	2011	141.5
11	2012	118
12	2013	94
13	2014	94
14	2015	131
15	2016	109.5

Penentuan Hujan Kawasan

Poligon Thiessen

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 \dots \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 \dots \dots + A_n}$$

Dengan menggunakan program Arcgis diperoleh luas daerah yang mewakili stasiun pencatat hujan:

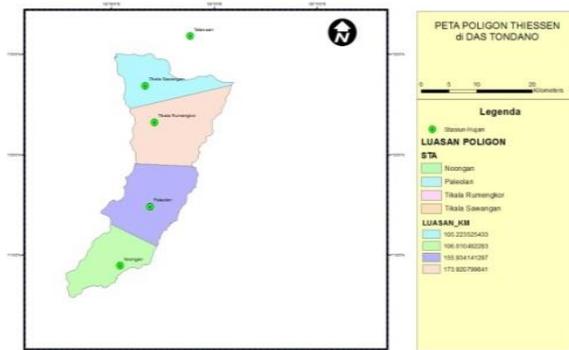
- A₁ (Stasiun Sawangan) = 105.22 km²
- A₂ (Stasiun Noongan) = 106,01 km²
- A₃ (Stasiun Paleolan) = 155,93 km²
- A₃ (Stasiun Rumengkor) = 173,92 km²

Untuk hujan rerata kawasan tahun 2002 adalah: $\overline{P}_{2002} = 100,82$

Perhitungan dilanjutkan sampai tahun 2016, maka didapat hujan rerata, seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Curah Hujan rerata kawasan

No	Tahun	Data rata2 (mm)
1	2002	100.82
2	2003	116.43
3	2004	107.76
4	2005	108.16
5	2006	64.94
6	2007	77.21
7	2008	83.74
8	2009	88.33
9	2010	87.53
10	2011	99.78
11	2012	95.92
12	2013	117.94
13	2014	131.75
14	2015	86.39
15	2016	90.90



Gambar 2. Polygon Thiesen dengan bantuan Arcgis

Pemilihan Tipe Distribusi

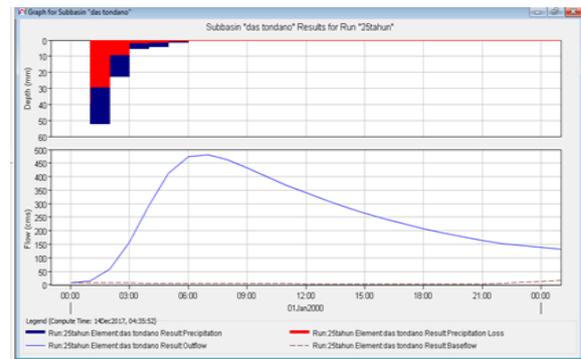
Tabel 7. Pemilihan Tipe Distribusi

No	Tipe Distribusi	Syarat Parameter	Parameter Statistik	Keterangan
1	Normal	Cs ≈ 0 Ck ≈ 3	Cs ≈ 0,207 Ck ≈ 3,53	Tidak Mendekati
2	Log Normal	Cs ≈ 0,54 Ck ≈ 3,52		Tidak Mendekati
3	Gumbel	Cs ≈ 1,139 Ck ≈ 5,4		Tidak mendekati
4	Person III	Cs > 0 Ck ≈ 3,064		Tidak Mendekati
5	Log Person III	Selain dari nilai di atas		

Berdasarkan hasil tinjauan parameter-parameter statistik data pengamatan terhadap syarat batas parameter statistik, maka distribusi tipe distribusi yang digunakan Log Person III.

Analisis Debit Banjir Rencana Tanpa Waduk

- Untuk Kala Ulang 25 Tahun

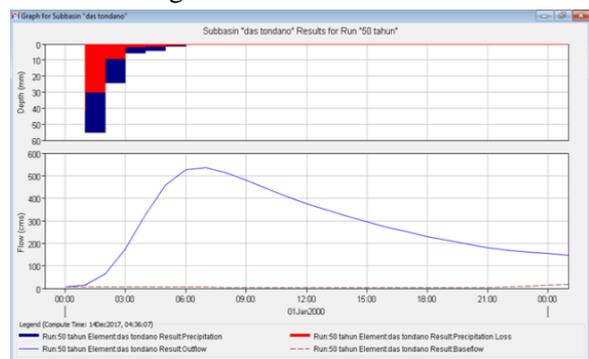


Gambar 3. Grafik hubungan hujan dan limpasan untuk kala ulang 25 tahun

Berdasarkan Gambar 3, untuk kala ulang 25 tahun hujan selama enam jam dengan jam pertama sebesar 47.92 mm, jam kedua sebesar 51,91 mm jam ketiga 22,63 mm jam ke 4 sebesar 5,32 mm jam ke lima sebesar 3.99 mm dan jam ke enam sebesar 1,33 mm.

Direct flow atau aliran langsung terbesar yang diakibatkan hujan terjadi pada jam ketujuh yaitu sebesar 475,6 m3/det dengan *base flow* atau aliran dasar sebesar 5,6 m3/det sehingga jumlah dari *direct flow* dan *base flow* adalah *total flow* sebesar 481,3 m3/det merupakan debit puncak yang diakibat oleh hujan dengan kala ulang 25 tahun

- Kala Ulang 50 tahun



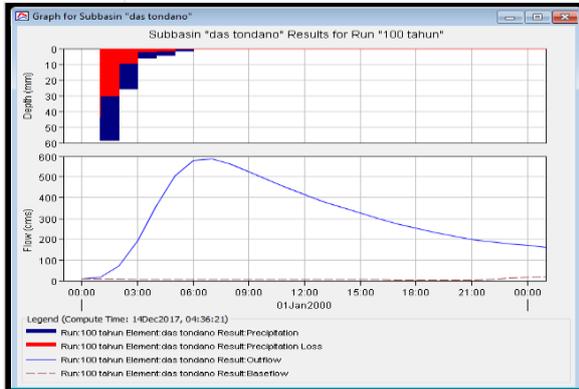
Gambar 4. Grafik hubungan hujan dan limpasan untuk kala ulang 50 tahun

Gambar 4. untuk kala ulang 50 tahun hujan selama enam jam dengan jam pertama sebesar 50,99 mm, jam kedua sebesar 55,24 mm jam ketiga 24,08 mm jam ke 4 sebesar 5,64 mm jam ke lima sebesar 4,25 mm dan jam ke enam sebesar 1,42 mm.

Direct flow atau aliran langsung terbesar yang diakibatkan hujan terjadi pada jam ketujuh

yaitu sebesar 529 m³/det dengan *base flow* atau aliran dasar sebesar 5,6 m³/det sehingga jumlah dari *direct flow* dan *base flow* adalah *total flow* sebesar 534,7 m³/det merupakan debit puncak yang diakibat oleh hujan dengan kala ulang 50 tahun.

- Kala ulang 100 tahun



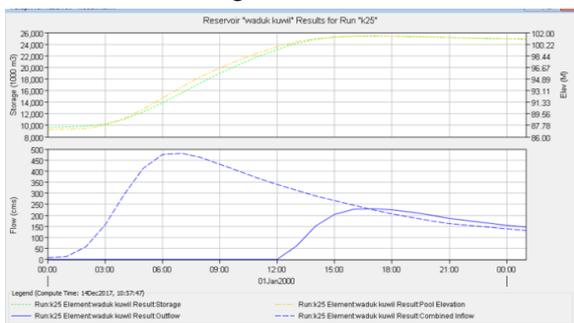
Gambar 5. Grafik hubungan hujan dan limpasan untuk kala ulang 100 tahun

Gambar 5, untuk kala ulang 100 tahun hujan selama enam jam dengan jam pertama sebesar 53,98 mm, jam kedua sebesar 58,48 mm jam ketiga 25,49 mm jam ke 4 sebesar 6 mm jam ke lima sebesar 4,5 mm dan jam ke enam sebesar 1,5 mm

Direct flow atau aliran langsung terbesar yang diakibatkan hujan terjadi pada jam ketujuh yaitu sebesar 582,6 m³/det dengan *base flow* atau aliran dasar sebesar 5,6 m³/det sehingga jumlah dari *direct flow* dan *base flow* adalah *total flow* sebesar 588,2 m³/det merupakan debit puncak yang diakibat oleh hujan dengan kala ulang 50 tahun.

Analisis Debit Banjir Dengan Waduk

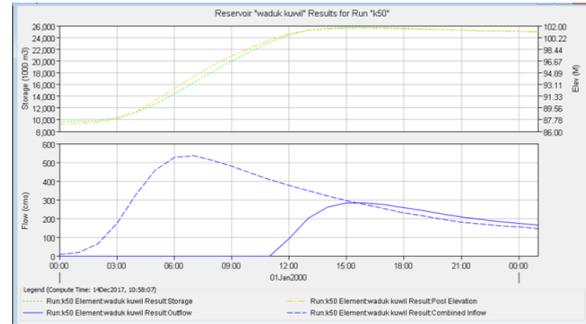
1. Simulasi untuk elevasi minimum air dalam waduk (LWL) = 87,5 m
- Debit Kala Ulang 25 tahun



Gambar 6. Tampungan waduk untuk kala ulang 25 tahun, elevasi 87,5 m

Dari hasil simulasi gambar 6. didapatkan debit maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 481,3 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 17340.5 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 93,7 m. grafik *outflow* setelah ada bendung menunjukkan air banjir yang dikeluarkan akibat ada bendung sebesar 230,8 m³/det pada jam ke 17.

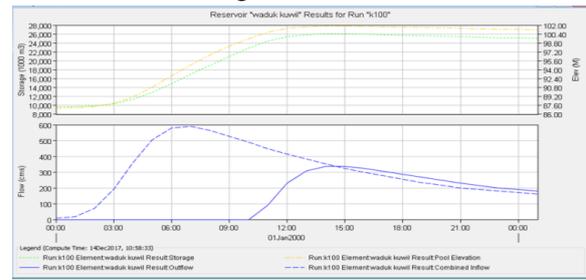
- Debit kala ulang 50 tahun



Gambar 7. Tampungan waduk untuk kala ulang 50 tahun, elevasi 87,5 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit inflow maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 534,7 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 16303,8 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 94.3 m. gambar 7. pada grafik *outflow* sesudah ada waduk menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 283,3 m³/det pada jam ke 16.

- Debit kala Ulang 100 tahun

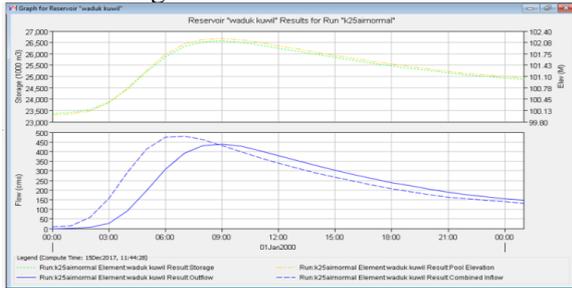


Gambar 8. Tampungan waduk untuk kala ulang 100 tahun, elevasi 87,5 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 588,2 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 16968,8 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 94.9 m. Gambar 8. pada kolom *outflow* menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 337,3 m³/det pada jam ke 15.

2. Simulasi untuk elevasi minimum air dalam waduk (NWL) = 100 m

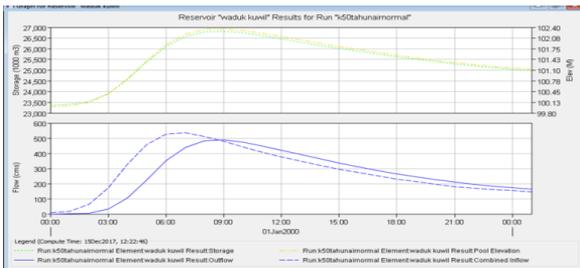
• Kala ulang 25 tahun



Gambar 9. Tampungn waduk untuk kala ulang 25 tahun, elevasi 100 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 481,3 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26316m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,2 m. Gambar 9 pada kolom *outflow* menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 439,5 m³/det pada jam ke 9.

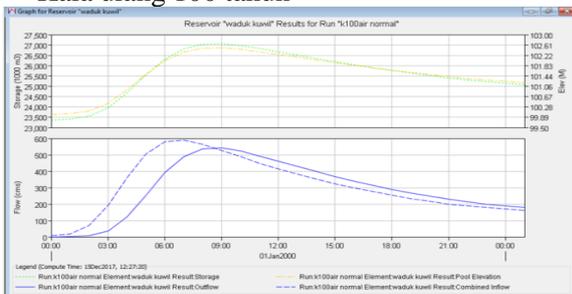
• Kala ulang 50 tahun



Gambar 10. Tampungn waduk untuk kala ulang 50 tahun, elevasi 100 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 534,7 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26568 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,2 m. Gambar 10 pada grafik *outflow* setelah ada waduk menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 490 m³/det pada jam ke 9.

• Kala ulang 100 tahun

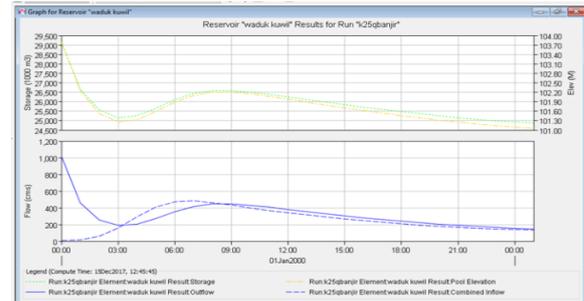


Gambar 11. Tampungn waduk untuk kala ulang 100 tahun, elevasi 100 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 534,7 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26568 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,2 m. Gambar 11. pada kolom *outflow* menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 540,7 m³/det pada jam ke 9

3. Simulasi untuk elevasi minimum air dalam waduk (HWL) = 103,8 m

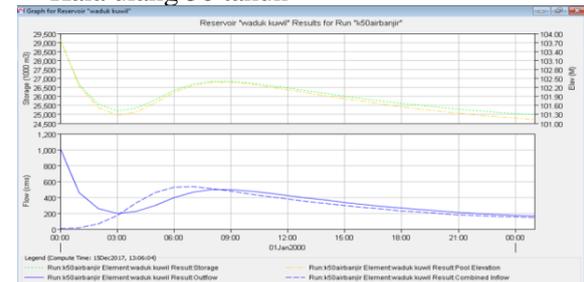
• Debit kala ulang 25 tahun



Gambar 12. Tampungn waduk untuk kala ulang 25 tahun, elevasi 103,8 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 481,3 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26441.5 m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,1 m. Gambar 12 pada grafik *outflow* setelah ada waduk menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 1007,4 m³/det pada jam ke 0, dan kedua terbesar 445.7 m³/det pada jam ke 9

• Kala ulang 50 tahun

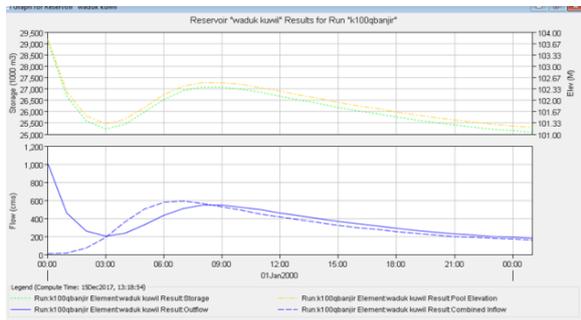


Gambar 13. Tampungn waduk untuk kala ulang 50 tahun, elevasi 103,8 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 534,7 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26685.5m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,3 m. Tabel 13. grafik *outflow* setelah ada waduk menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk

1007,4 m³/det pada jam ke 0 dan kedua terbesar 495.4 m³/det pada jam ke 8

- Kala Ulang 100 tahun



Gambar 14. Tampungan waduk untuk kala ulang 10 tahun, elevasi 103,8 m

Dari hasil simulasi didapatkan debit *inflow* maksimum terjadi pada jam ke tujuh yaitu yaitu sebesar 588,2 m³/det, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 26923.4m³/det dan elevasi tinggi air dalam waduk 102,4 m. Tabel 14. pada grafik *outflow* setelah ada bendung menunjukkan air banjir terbesar yang dikeluarkan dari waduk 1007,4 m³/det pada jam ke 0 dan kedua terbesar 545.6 m³/det pada jam ke 8

Dari hasil analisis hidrologi, dapat dilihat fungsi dari waduk yaitu menahan kelebihan air dalam suatu ruang dan waktu, sebelum adanya waduk masing-masing debit banjir untuk kala ulang 25,50 dan 100 tahun adalah 481.3 m³/det 534.7 m³/det 588.2 m³/det dengan waktu puncak ketiganya adalah jam ke 7.

Dengan adanya waduk debit yang keluar menjadi tereduksi dan waktu puncak menjadi tertahan, untuk elevasi air di bendung pada *low water level* (LWL) = 87,5 m dengan kala ulang 25 tahun *outflow* debit puncak sebesar 230,8 m³/det dengan waktu puncak jam ke 17, dengan demikian waduk mereduksi banjir sebesar 250,5 m³/det dan menahan waktu banjir sebesar 10 jam, sedangkan kala ulang 50 tahun *outflow* debit banjir sebesar 283,3 m³/det dengan waktu puncak jam ke 16 berarti waduk mereduksi debit banjir sebesar 251,4 m³/det dan menahan waktu banjir sebesar 6 jam, sedangkan untuk kala ulang 100 tahun *outflow* debit banjir sebesar 337,3 m³/det pada jam ke 15 sehingga banjir yang tereduksi sebesar 250,9 m³/det dan menahan waktu sebesar 5 jam.

Untuk *Normal Water Level* (NWL) dengan kala ulang 25 tahun *outflow* debit puncak sebesar 439,5 m³/det dengan waktu puncak pada jam ke 9, sehingga banjir yang direduksi sebesar 41,8 m³/det dan menahan waktu banjir sebesar 2 jam

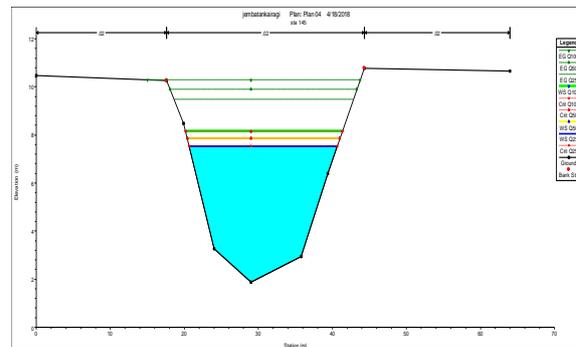
dari waktu puncak tanpa bendung yaitu jam ke 7. Untuk kala ulang 50 tahun, *outflow* debit puncak sebesar 490 m³/det dengan menahan banjir selama 2 jam dari waktu puncak tanpa bendung. Sedangkan untuk kala ulang 50 tahun *outflow* debit puncak sebesar 540 m³/det dengan waktu puncak jam ke 8, yang berarti banjir yang mampu ditampung waduk Kuwil sebesar 48,2 m³/det dan menahan banjir selama 1 jam.

Untuk *High water level* (HWL = 103,5 m) dengan kala ulang 25 tahun *outflow* debit puncak sebesar 445,7 m³/det dengan waktu puncak pada jam ke 9, dan banjir yang mampu direduksi waduk adalah 35,6 m³/det dengan menahan banjir selama 2 jam, untuk kala ulang 50 tahun *outflow* debit banjir adalah 495,4 m³/det dengan waktu puncak jam ke 9, ini berarti waduk dapat menahan air sebesar 39,3 m³/det dengan waktu menahan banjir selama 2 jam sedangkan untuk kala ulang 100 tahun, *outflow* debit banjir sebesar 545,6 m³/det dengan waktu puncak pada jam ke 8 yang berarti banjir yang direduksi sebesar 42,6 m³/det dengan menahan waktu selama 1 jam.

Tinggi Muka Air Banjir

Tinggi Muka Air Banjir untuk daerah tinjauan jembatan Kairagi dengan menggunakan HEC-RAS:

1. Tinggi muka air tanpa waduk



Gambar 15. Potongan melintang tanpa waduk Jembatan Kairagi

Tabel 8. Debit dan tinggi muka air tanpa bendung

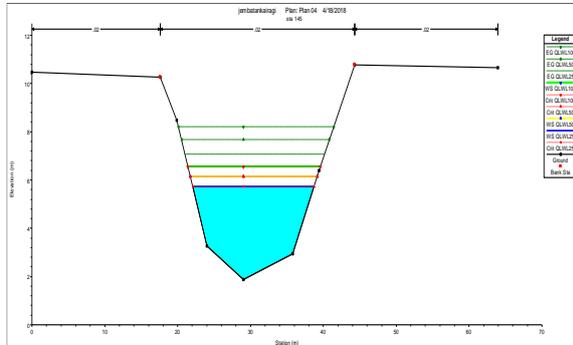
Kala Ulang	Debit m ³ /det	Tinggi Muka Air
Q25	481.3	7.53
Q50	534.7	7.85
Q100	588.2	8.15

Dari hasil pengolahan dengan menggunakan HEC-RAS untuk debit banjir Q25 sebesar 481.3 m³/det terhadap penampang sungai

memiliki tinggi muka air 7,53 m. sedangkan untuk debit banjir Q50 dan Q100 memiliki tinggi muka air 7,85 m dan 8,15 m.

2. Tinggi muka air dengan waduk

- Untuk air dalam waduk LWL = 87,5 m



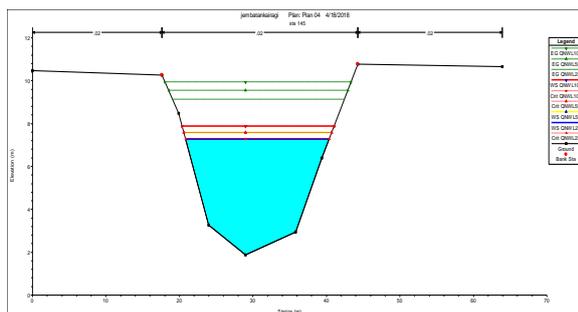
Gambar 16. Potongan melintang dengan waduk Jembatan Kairagi

Tabel 9. Debit dan tinggi Muka Air dengan waduk, elevasi dalam waduk 87,5 m

Kala Ulang	Debit	Tinggi Muka Air
QLWL25	230.8	5.72
QLWL50	283.3	6.15
QLWL100	337.3	6.56

Dari hasil pengolahan menggunakan HEC-RAS untuk debit banjir Q25 sebesar 230,8 m³/det terhadap penampang sungai memiliki tinggi muka air 5,72 m. sedangkan untuk debit banjir Q50 dan Q100 memiliki tinggi muka air 6,15 m dan 6,56 m.

- Untuk Elevasi air dalam Waduk 100 m

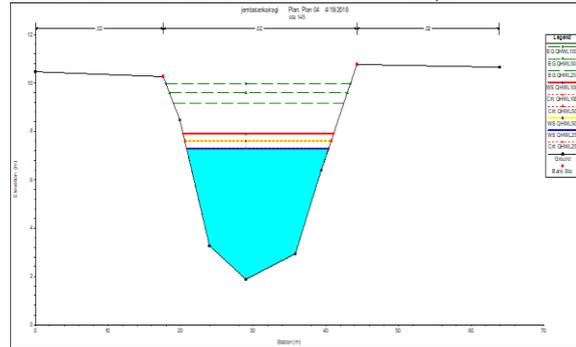


Gambar 17. Potongan melintang dengan waduk Jembatan Kairagi, elevasi 100m

Tabel 10. Debit dan tinggi muka air dengan waduk, elevasi dalam waduk 87,5 m

Kala Ulang	Debit	Tinggi Muka Air
QNWL25	439.5	7.27
QNWL50	490	7.59
QNWL100	540	7.88

- Untuk Elevasi dalam waduk 103,6 m



Gambar 18. Potongan melintang dengan waduk Jembatan Kairagi, elevasi 103,6 m

Tabel 11. Debit dan tinggi muka air dengan waduk, elevasi dalam waduk 103,6 m

Kala Ulang	Debit	Tinggi Muka Air
QHWL25	445.7	7.31
QHWL50	495.4	7.61
QHWL100	545.6	7.91

PENUTUP

Kesimpulan

1. Debit banjir sebelum adanya waduk Kuwil untuk debit banjir 25, 50 dan 100 tahun adalah 481,3 m³/det, 534, m³/det dan 588,2 m³/det.
2. Debit banjir sesudah adanya waduk Kuwil dengan tinggi air dalam waduk low water level (LWL) = 87,5 m untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun adalah 230,8 m³/det, 383,3 m³/det dan 337,3 m³/det.
3. Untuk tinggi air dalam waduk low water level (LWL) = 87,5 m untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun waduk Kuwil mampu mereduksi banjir sebesar 250,5 m³/det, 251,4 m³/det dan 250,9 m³/det
4. Debit banjir sesudah adanya waduk Kuwil dengan tinggi air dalam waduk normal water level (NWL) = 100 m untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun adalah 439,5 m³/det, 490 m³/det dan 540 m³/det
5. Waduk mereduksi banjir jika air dalam waduk normal water level (NWL) = 100 m untuk kala ulang 25,50 dan 100 tahun sebesar 41,8 m³/det, 44,7 m³/det dan 48,2
6. Debit banjir sesudah adanya waduk Kuwil dengan tinggi air dalam waduk high water level (HWL) = 103,6 m untuk kala ulang 25, 50 dan 100 tahun adalah 445,7 m³/det 494,4 m³/det 545,6 m³/det

7. Waduk mereduksi banjir jika air dalam waduk normal water level (HWL) = 103,6 m untuk kala ulang 25,50 dan 100 tahun sebesar 35,6 m³/det, 39,3 m³/det dan 42,6.

air dalam waduk tidak melebihi ketinggian low water level atau elevasi 87 meter ketika terjadi banjir, sehingga disarankan bagi instansi terkait pengelolaan waduk untuk menjaga elevasi tinggi muka air waduk tetap pada low water level ketika kemungkinan akan terjadinya banjir.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, waduk akan mereduksi banjir secara optimal apabila elevasi

DAFTAR PUSTAKA

- BP DAS Tondano, 2016. *Peta Tata guna lahan di DAS Tondano*. Kementerian Kehutanan, Manado.
- Chow, Ven T., 1989. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Erlangga, Jakarta.
- Dirjen SDA Balai Bendungan, 2016. *Rainfall-Runoff Model*, Kementerian PUPR, Jakarta.
- Dirjen SDA Balai Bendungan, 2017. *Bimbingan Teknis Perhitungan Debit Banjir Desain Bendungan, Pemodelan Hidrologi dengan Hec-Hms*. Kementerian PUPR, Jakarta.
- Dirjen SDA Balai Bendungan, 2017. *Kapasitas Tampung Waduk*. Kementerian PUPR, Jakarta.
- Dirjen SDA Balai Bendungan, 2017. *Kesalahan dan Validasi Data Hidrologi dan Analisis Curah Hujan*. Kementerian PUPR, Jakarta.
- Dirjen SDA Balai Bendungan, 2017. *Pemodelan Hidrologi dengan Hec-HMS "Contoh Latihan"*. Kementerian PUPR, Jakarta.
- Kamiana, I. M., 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu, Jakarta.
- Linsley R. K., Joseph Franzini., 1991. *Teknik Sumber Daya Air*. Erlangga, Jakarta.
- Mori, K., 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soedibyo, I., 2003. *Teknik Bendungan*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Triadmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yuniarti, Raditya., 2009. *Analisa Perbandingan Debit Banjir Rancangan dengan Menggunakan Metode Rasional Hidrograf Sintetis Gama-I dan Nakayatsu pada Kompleks PU Pasar Jumat Jakarta Selatan*, Jakarta

Halaman ini sengaja dikosongkan