

ANALISIS DEBIT BANJIR DAN TINGGI MUKA AIR SUNGAI SANGKUB KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW UTARA

Marcio Yosua Talumepa

Lambertus Tanudjaja, Jeffry S.F. Sumarauw

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: blinkmarcio@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Sangkub merupakan salah satu sungai dengan DAS yang luas di Provinsi Sulawesi Utara. Sungai Sangkub yang tepatnya berada di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara sudah sering meluap dan membanjiri kawasan hilir DAS yang sebagian besar merupakan lahan pertanian dan pemukiman masyarakat. Oleh karena itu dibutuhkan data mengenai besar debit banjir dan tinggi muka air yang dapat terjadi.

Analisis dilakukan dengan mencari frekuensi hujan dengan metode Log Pearson III. Adapun data hujan yang digunakan berasal dari 5 pos hujan dan 1 pos klimatologi, yaitu pos hujan Huntuk, Bintauna Pantai, Pangkusa, Bumbung, Toraut, dan pos klimatologi Sangkub. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 s/d 2015.

Setelah didapat besar hujan, dilakukan simulasi hujan aliran dengan HSS Snyder menggunakan program komputer HEC-HMS. Setelah itu debit puncak hasil simulasi dimasukkan dalam program komputer HEC-RAS untuk simulasi tinggi muka air pada penampang yang telah diukur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit semua penampang sungai tidak dapat menampung debit sungai dimulai dari debit kala ulang 25 tahun sampai debit kala ulang 100 tahun.

Kata kunci: *Debit Banjir Rencana, Tinggi Muka Air, HEC-HMS, HEC-RAS*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai mempunyai peran yang penting dalam siklus air. Dengan adanya hujan yang jatuh di daratan, air akan kembali ke laut melalui sungai. Kelebihan debit air yang terjadi akan menyebabkan meluapnya air pada suatu sungai atau lebih dikenal dengan istilah banjir. Karakteristik DAS dari suatu sungai memiliki pengaruh yang besar terhadap lama waktu dan besarnya banjir pada sungai tersebut.

Sungai Sangkub, yang terletak di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara merupakan sungai dengan DAS yang cukup luas. Dengan DAS yang luas, sungai Sangkub memiliki potensi banjir yang besar. Berdasarkan informasi dari warga yang tinggal di sekitar sungai, banjir terjadi hampir setiap tahun. Pada tahun 2016 terjadi banjir yang besar. Dan, banjir tersebut sama seperti banjir yang terjadi pada tahun 1991 yang merugikan karena merendam perumahan warga, merusak lahan pertanian dan mengganggu aktivitas di jalan Trans Sulawesi.

Dengan melihat masalah banjir yang sering terjadi di sungai Sangkub, maka diperlukan pengendalian terhadap debit banjir. Oleh karena

itu terlebih dahulu perlu dilakukan analisis terhadap besarnya debit banjir dan meninjau tinggi muka air banjir di sungai Sangkub.

Rumusan Masalah

Belum adanya analisis debit banjir dan tinggi muka air di sungai Sangkub.

Batasan Masalah

Masalah dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Titik kontrol DAS terletak pada 1.5 Km bagian hilir bendung Sangkub.
2. Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian maksimum.
3. Kala ulang rencana dibatasi pada 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.
4. Analisis dihitung dengan bantuan program komputer yaitu HEC-HMS untuk analisis hidrologi dan HEC-RAS untuk analisis hidrolika.
5. Penampang melintang sungai yang ditinjau yaitu satu segmen sepanjang 200 meter di sekitar Bendung Sangkub.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai debit banjir rencana dan tinggi

muka air yang akan terjadi pada penampang di bagian hilir sungai.

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini manfaat yang diharapkan yaitu menjadi bahan informasi untuk instansi terkait yang berwenang dalam melakukan penanggulangan masalah banjir di sungai Sangkub dan sebagai bahan informasi bagi masyarakat sekitar mengenai besarnya banjir yang dapat terjadi.

LANDASAN TEORI

Siklus Hidrologi

Daur hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Susunan secara siklis peristiwa tersebut tidaklah sederhana.

Yang pertama, daur tersebut dapat berupa daur pendek, yaitu hujan yang jatuh di laut, danau atau sungai yang segera dapat mengalir kembali ke laut.

Kedua, tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur. Pada musim kemarau kelihatannya daur berhenti sedangkan di musim hujan daur berjalan kembali.

Ketiga, intensitas dan frekuensi daur tergantung pada keadaan geografis dan iklim, yang mana hal ini merupakan akibat adanya matahari yang berubah-ubah letaknya terhadap meridian bumi sepanjang tahun (sebenarnya yang berubah-ubah letaknya adalah planet bumi terhadap matahari).

Keempat, berbagai bagian daur dapat menjadi sungai kompleks, sehingga kita hanya dapat mengamati bagian akhirnya saja dari suatu hujan yang jatuh di atas permukaan tanah dan kemudian mencari jalannya untuk kembali ke laut.

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi yang berarti ditetapkan berdasarkan pada aliran permukaan, dan bukan ditetapkan berdasar pada air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat pemakaian.

Karakteristik Sungai

Bagian hulu merupakan daerah sumber erosi karena pada umumnya alur sungai melalui daerah

pegunungan, perbukitan atau lereng gunung api yang kadang-kadang mempunyai cukup ketinggian dari muka laut.

Bagian tengah merupakan daerah peralihan dari bagian hulu dan hilir. Kemiringan dasar sungai lebih landai sehingga kecepatan aliran relatif lebih kecil dari pada bagian hulu.

Bagian hilir biasanya melalui daerah pendataran yang terbentuk dari endapan pasir halus sampai kasar, lumpur, endapan organik dan jenis endapan lainnya yang sangat labil.

Analisis Curah Hujan

Curah hujan rata-rata dari hasil pengukuran hujan di beberapa stasiun pengukuran dapat dihitung dengan metode Poligon Thiessen. Metode ini dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang dianggap mewakili.

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Analisis Frekuensi

Dalam sistem hidrologi, ada waktu-waktu terjadinya kejadian ekstrim seperti hujan badai, banjir, dan kekeringan. Besarnya kejadian ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Bencana yang sangat parah cenderung jarang terjadi dibandingkan dengan bencana yang tidak terlalu parah. Tujuan Analisis frekuensi adalah untuk mengetahui besarnya suatu kejadian dan frekuensi atau periode ulang kejadian tersebut dengan menggunakan distribusi probabilitas.

Analisis Data Outlier

Data *outlier* adalah data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data. Uji *outlier* dilakukan untuk mengoreksi data sehingga baik untuk digunakan pada analisis selanjutnya.

Uji data *outlier* mempunyai 3 syarat, yaitu:

1. Jika $Cslog \geq 0,4$ maka: uji *outlier* tinggi, koreksi data, uji *outlier* rendah, koreksi data.
2. Jika $Cslog \leq -0,4$ maka: uji *outlier* rendah, koreksi data, uji *outlier* tinggi, koreksi data.
3. Jika $-0,4 < Cslog < 0,4$ maka : uji *outlier* tinggi atau rendah, koreksi data.

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

$$S_{log} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$Cs_{log} = \frac{N}{(N-1)(N-2)S_{log}^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \dots\dots\dots (4)$$

- *Outlier* tinggi:

$$Log x_h = \overline{\log x} + Kn \cdot S_{log} \dots\dots\dots (5)$$

- *Outlier* rendah:

$$Log x_l = \overline{\log x} - Kn \cdot S_{log} \dots\dots\dots (6)$$

Parameter Statistik

Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu: rata-rata hitung (*mean*), simpangan baku (*standar deviasi*), koefisien variasi, kemencengan (*koefisien skewness*) dan koefisien kurtosis.

- a) Rata-rata hitung

Rata-rata hitung merupakan nilai rata-rata dari sekumpulan data.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots (7)$$

- b) Simpangan Baku

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (8)$$

- c) Koefisien Skewness (Kemencengan).

Kemencengan (Skewness) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$Cs = \frac{N}{(N-1)(N-2) \cdot S^3} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (9)$$

- d) Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standard dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (10)$$

- e) Koefisien Kurtosis.

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur kemencengan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$Ck = \frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3) \cdot S^4} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4 \dots\dots\dots (11)$$

Distribusi Probabilitas

Salah satu tujuan dalam analisis distribusi peluang adalah menentukan periode ulang (*return period*). Menurut Triatmodjo (2009), Periode ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik dimana debit atau hujan dengan suatu besaran

tertentu (x_T) akan disamai atau dilampaui satu kali dalam jangka waktu tertentu.

- a) Distribusi Normal

Distribusi normal banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misal dalam analisis frekuensi hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya.

$$X - \bar{X} + k \cdot S \dots\dots\dots (12)$$

- b) Distribusi Log Normal Dua Parameter

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu yang mengubah nilai varian X menjadi nilai logaritmik varian X.

$$\log X = \overline{\log X} + k \cdot S_{log} \dots\dots\dots (13)$$

- c) Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel atau disebut juga distribusi ekstrem tipe I (extreme type I distribution).

$$X = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y - Y_n) \dots\dots\dots (14)$$

- d) Distribusi Log Pearson Tipe III

Bentuk distribusi log pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi pearson tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritmik.

$$\log X = \overline{\log X} + K_{TR,CS} \cdot S_{log X} \dots\dots\dots (15)$$

Pemilihan Tipe Distribusi

Parameter-parameter yang digunakan sebagai langkah awal penentuan tipe distribusi adalah *Cs*, *Cv*, *Ck*. Kriteria pemilihan untuk tiap tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut:

1. Tipe distribusi Normal

$$Cs \approx 0 ; Ck \approx 3$$

2. Tipe distribusi Log Normal

$$Cs \approx 3Cv$$

3. Tipe distribusi Gumbel

$$Cs \approx 1.139 ; Ck \approx 5.4$$

Bila kriteria ketiga sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah:

4. Tipe distribusi Log Pearson III

Hujan Efektif

The Soil Conservation Service (SCS, 1972, dalam Chow 1988) telah mengembangkan metode untuk menghitung hujan efektif dari hujan deras, dalam bentuk persamaan berikut:

$$P_e = \frac{(P-0,2 S)^2}{P+0,8 S} \dots\dots\dots (16)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (17)$$

Dengan *CN* adalah *Curve Number* yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tata guna lahan, kelembaman dan cara pengerjaan tanah.

Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum pada suatu sungai dengan periode ulang tertentu. Data yang dibutuhkan untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, luas *catchment area* dan data penutup lahan.

Hidrograf Satuan Sintetis

Konsep Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dikembangkan untuk menurunkan hidrograf satuan suatu DAS dengan cara sintetis. Konsep Hidrograf Satuan Sintetis didasarkan pada karakteristik fisik dari DAS. Parameter-parameter yang umum dipakai dalam perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis antara lain: Luas DAS, Panjang sungai, Kelandaian DAS, jumlah pertemuan sungai, kerapatan jaringan dan orde sungai.

Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Snyder (1938) mendapatkan dan mengembangkan hidrograf satuan DAS Amerika Serikat yang berukuran 30 – 30.000 km² dengan menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS akibat hujan 1 cm.

Unsur-unsur hidrograf satuan yang digunakan dalam HSS Snyder adalah:

- Debit puncak (Q_p , m³/dt).
- Waktu dasar (T_b , jam).
- Durasi hujan (t_r , jam).

Karakteristik DAS yang digunakan adalah:

- Luas DAS (A , km²)
- Panjang aliran utama (L , km)
- Jarak antara titik berat DAS dengan *outlet* yang diukur di sepanjang aliran utama (L_c , km).

Jika t_r atau periode hujan sama dengan $t_p/5.5$ maka rumus perhitungan adalah sebagai berikut:

$$t_p = 0.75 \times C_t(L \times L_c)^{0.3} \dots\dots\dots (18)$$

$$T_p = 0.5 \times t_r + t_p \dots\dots\dots (19)$$

$$q_p = 2.75 \times \left(\frac{C_p}{t_p}\right) \dots\dots\dots (20)$$

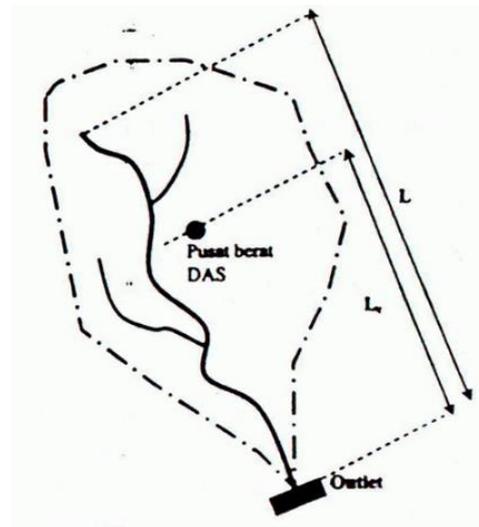
$$T_b = 72 + 3 \times t_p \dots\dots\dots (21)$$

Jika $t_p/5.5$ atau periode hujan tidak sama dengan t_r melainkan sama dengan tR maka persamaan 19 akan menjadi:

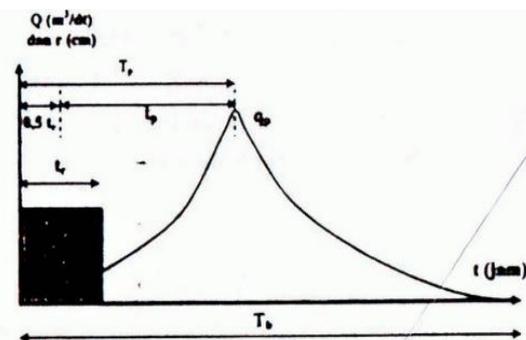
$$t_p R = t_p + (tR - t_r)/4 \dots\dots\dots (22)$$

$$T_p R = 0.5 \times tR + t_p R \dots\dots\dots (23)$$

$$q_p R = 2.75 \times \left(\frac{C_p}{t_p R}\right) \dots\dots\dots (24)$$



Gambar 1. Posisi L dan L_c pada DAS
Sumber: I Made Kamiana (2011)



Gambar 2. HSS Snyder Standar ($t_p = 5.5 t_r$)
Sumber: I Made Kamiana (2011)

Aliran Langgeng

Aliran dikatakan langgeng (*steady*) jika kecepatan tidak berubah selama waktu tertentu. Aliran alami umumnya bersifat tidak tetap, ini disebabkan karena bentuk geometris hidroliknya saluran, sungai – sungai di lapangan tidak teratur, adanya tanaman pada tebing saluran, adanya bangunan air, perubahan dasar saluran, dan lainnya. Komponen pada model ini digunakan untuk menghitung profil muka air pada kondisi aliran langgeng (*steady*). Komponen pada *steady flow* dapat memodelkan profil muka air pada kondisi aliran subkritis, superkritis dan sistem gabungan.

Persamaan Dasar Untuk Perhitungan Profil Aliran

Dalam ilmu hidrolika dasar, diketahui bahwa jumlah energi yang melalui suatu penampang saluran dapat dinyatakan sebagai tinggi air, yang setara dengan jumlah dari ketinggian di atas suatu bidang persamaan, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan.

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_e \dots\dots (25)$$

$$h_e = L \times S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots (26)$$

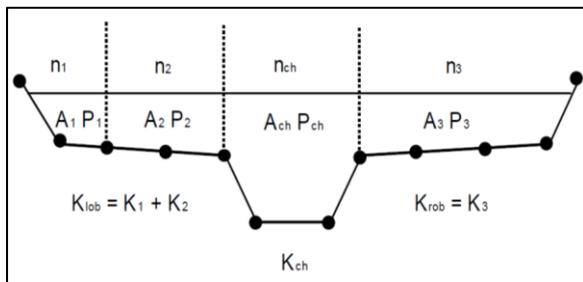
$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots\dots (27)$$

Pembagian Penampang Melintang Untuk Perhitungan Conveyance

Total *Conveyance* dan koefisien kecepatan untuk penampang melintang mengharuskan penampang melintang dibagi menjadi bagian – bagian dimana kecepatan tersalurkan secara seragam.

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots (28)$$

$$Q = KS_f^{1/2} \dots\dots\dots (29)$$



Gambar 3. Standar Pembagian *Conveyance*
Sumber: HEC-RAS Technical Reference Manual

Nilai n Manning Komposit untuk Saluran Utama

Untuk penentuan nilai n_c , saluran utama dibagi menjadi N bagian, masing–masing dengan keliling basah yang diketahui (P_i) dan koefisien kekasaran (n_i).

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1.5}}{P} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (30)$$

Tinggi Energi Kinetik Rata–Rata

Dalam pemodelan aliran 1 dimensi, hanya ada muka air tunggal dan tinggi energi rata–rata dihitung pada masing–masing penampang melintang.

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \dots\dots\dots (31)$$

Evaluasi Kehilangan Kontraksi dan Ekspansi

Program mengasumsikan kontraksi terjadi ketika tinggi kecepatan di daerah hilir lebih besar dari tinggi kecepatan daerah hulu. Sebaliknya, ketika tinggi kecepatan di hulu lebih besar dari tinggi kecepatan di hilir, program mengasumsikan ekspansi aliran terjadi.

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (32)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Sangkub terletak di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Sungai Sangkub merupakan salah satu sungai besar di Provinsi Sulawesi Utara. Luas *catchment area* sungai Sangkub sebesar 887,72 km².



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Peta RTRW Bolaang Mongondow Utara

Survei Lokasi Dan Pengambilan Data

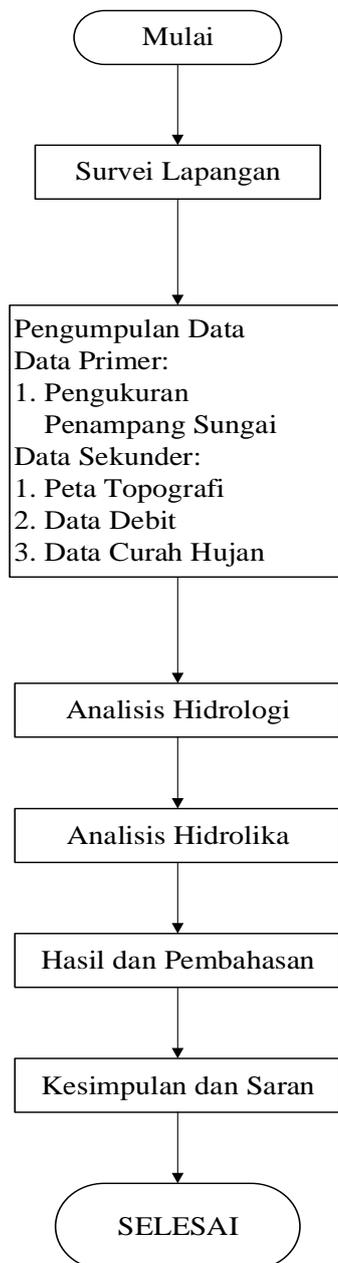
Survei lokasi sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi sungai Sangkub. Wawancara dilakukan dengan masyarakat yang tinggal di sekitar sungai Sangkub dan pemerintah desa setempat. Sungai Sangkub sering meluap dan membanjiri beberapa desa di bagian hilir sungai. Penampang yang akan diukur berada di sekitar Bendung Sangkub.

Data sekunder diperlukan sebagai data yang mendukung mengenai sungai Sangkub seperti peta rupa bumi daerah Bolaang Mongondow Utara dan data hidrologi dan klimatologi untuk kecamatan Sangkub yaitu data curah hujan dan data debit.

Prosedur Penelitian

1. Survei lokasi penelitian
2. Pengumpulan Data
3. Analisis data yang diperoleh dengan metode sebagai berikut:
 - Analisis Frekuensi dan distribusi hujan jam-jaman.
 - Perhitungan Debit banjir dengan aplikasi HEC-HMS
 - Analisis tinggi muka air pada penampang sungai dengan aplikasi HEC-RAS

Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di DAS Sangkub dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dengan periode pencatatan tahun 2002 sampai dengan tahun 2015. Pos hujan yang digunakan sebanyak 5 Pos Hujan dan 1 Pos Klimatologi

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)					
	MRG Huntuk	MRG Bintauna Pantai	MRG Pangkusa	ARR Bumbang	MRG Toraut	Klimatologi Sangkub
2002	96.90	73.0	57.9	45.6	45.4	99
2003	156.90	86.0	79.7	60.2	75.1	70.3
2004	90.50	120.0	94.3	41.2	76.3	60.2
2005	-	-	-	-	-	315.3
2006	-	-	-	-	-	80.5
2007	60.10	78.0	126.2	75.2	55.5	115
2008	80.83	60.0	67.6	47.2	70.5	50.8
2009	50.60	45.0	79.7	72.3	70.7	75.3
2010	80.60	79.0	149.8	74.6	108.5	70.9
2011	170.10	93.0	79.3	86.2	92.0	40.2
2012	302.50	95.0	54.3	0.0	170.3	80.7
2013	80.70	91.0	43.7	62.7	115.5	15.5
2014	90.60	87.4	27.9	59.1	53.5	20.5
2015	50.70	81.5	32.9	59.1	56.0	70.8

Sumber: Balai Wilayah Sungai Sulawesi I

Analisis Data Outlier

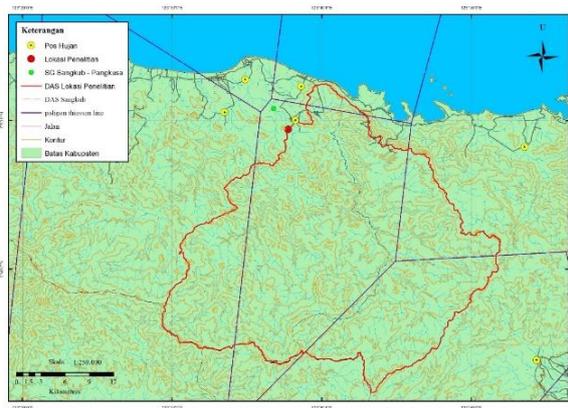
Pengujian data outlier dilakukan untuk menentukan berapa banyak data yang menyimpang terlalu tinggi dan terlalu rendah. Data yang menyimpang bisa dikarenakan kesalahan saat pencatatan data atau adanya kejadian ekstrim.

Tabel 2. Data Curah Hujan Harian Maksimum Setelah Uji Outlier

Tahun	Stasiun Pengukur Hujan					
	MRG Huntuk	MRG Bintauna Pantai	MRG Pangkusa	ARR Bumbang	MRG Toraut	Klimatologi Sangkub
2002	96.90	73.00	57.90	51.96	45.40	99
2003	156.90	86.00	79.70	60.20	75.10	70.3
2004	90.50	102.30	94.30	51.96	76.30	60.2
2005	-	-	-	-	-	315.3
2006	-	-	-	-	-	80.5
2007	60.10	78.00	126.20	75.20	55.50	115
2008	80.83	66.59	67.60	51.96	70.50	50.8
2009	50.60	66.59	79.70	72.30	70.70	75.3
2010	80.60	79.00	139.55	74.60	108.50	70.9
2011	170.10	93.00	79.30	77.91	92.00	40.2
2012	302.50	95.00	54.30	-	170.30	80.7
2013	80.70	91.00	43.70	62.70	115.50	15.5
2014	90.60	87.40	30.69	59.10	53.50	20.5
2015	50.70	81.50	32.90	59.10	56.00	70.8

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Hujan Rata-Rata



Gambar 6. Poligon Thiessen DAS Sangkub
Sumber: Peta RTRW Bolaang Mongondow Utara

Setelah dibuat poligon thiessen, selanjutnya adalah menghitung luas pengaruh tiap pos hujan dan menghitung hujan rata-rata.

Tabel 3. Hujan Rata-Rata DAS Sangkub

Tahun	\bar{R}
2002	60.888
2003	88.812
2004	85.702
2005	315.300
2006	80.500
2007	94.976
2008	68.682
2009	72.327
2010	116.343
2011	96.159
2012	112.748
2013	67.410
2014	48.540
2015	43.945

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Frekuensi Hujan

Rata-rata hitung:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{14} \times 1352.3 = 96.60$$

Simpangan Baku:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{57500}{14-1}} = 66.51$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot s^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 = \frac{14}{(14-1)(14-2) \cdot 66.51^3} \times 10,103,674.5$$

$$= 0.38$$

Koefisien Variasi:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{66.51}{96.60} = 0.69$$

Koefisien Kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot s^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 = \frac{14^2}{(14-1)(14-2)(14-3) \cdot 66.51^4} \times 2,304,508,127 = 13.45$$

Penentuan tipe distribusi adalah dengan melihat kecocokan nilai dari parameter statistik C_s , C_v dan C_k dengan syarat untuk tiap tipe distribusi.

Tabel 4. Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	0.376	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3$	13.455	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3 \cdot C_v = 2.392$	0.376	Tidak Memenuhi
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 14.645$	13.455	Tidak Memenuhi
Gumbel	$C_s = 1.14$	0.376	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5.40$	13.455	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson tipe III

Rata-rata hitung:

$$\overline{\log X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{14} \times 27.003 = 1.929$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.550}{14-1}} = 0.206$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_{S_{\log X}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot (S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3 = \frac{14}{(14-1)(14-2) \cdot 0.206^3} \times 0.1471 = 0.7641$$

Nilai *K* untuk tiap kala ulang adalah sebagai berikut:

- 2 Tahun : -0.126
- 5 Tahun : 0.784
- 10 Tahun : 1.335
- 25 Tahun : 1.984
- 50 Tahun : 2.436
- 100 Tahun : 2.867

Tabel 5. Curah Hujan Rencana

Kala Ulang	Log Xn	Xn
2 Tahun	1.903	79.949 mm
5 Tahun	2.090	123.004 mm
10 Tahun	2.203	159.697 mm
25 Tahun	2.337	217.124 mm
50 Tahun	2.430	269.046 mm
100 Tahun	2.518	329.874 mm

Sumber: Hasil Analisis

Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman

Dalam penelitian ini digunakan pola hujan dari daerah sekitar yaitu pola hujan daerah manado dan sekitarnya.

Tabel 6. Pola Distribusi Hujan Kota Mando dan Sekitarnya

Jam ke -	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3

Sumber: Haniedo Pratama Salem (2016)

Tabel 7. Distribusi Hujan Rencana Tiap Kala Ulang

Kala Ulang	Besarnya Hujan Jam ke -							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2 Tahun	43.17	17.59	6.40	4.80	2.40	0.80	2.40	2.40
5 Tahun	66.42	27.06	9.84	7.38	3.69	1.23	3.69	3.69
10 Tahun	86.24	35.13	12.78	9.58	4.79	1.60	4.79	4.79
25 Tahun	117.25	47.77	17.37	13.03	6.51	2.17	6.51	6.51
50 Tahun	145.28	59.19	21.52	16.14	8.07	2.69	8.07	8.07
100 Tahun	178.13	72.57	26.39	19.79	9.90	3.30	9.90	9.90

Sumber : Hasil Analisis

Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Nilai *CN* rata-rata untuk DAS Sangkub didapat dengan menjumlahkan hasil kali antara nilai *CN* tiap tutup lahan dengan presentase luas lahan terhadap luas total.

Tabel 8. Jenis Tutup Lahan DAS Sangkub

Jenis Tutup Lahan	Luas	Presentase
Tegalan/Ladang	24.91 km ²	2.77%
Tanah Terbuka	1.97 km ²	0.22%
Sawah	4.66 km ²	0.52%
Perkebunan	16.50 km ²	1.84%
Sungai	1.93 km ²	0.21%
Hutan Alam	847.82 km ²	94.43%
Luas Total DAS	897.78 km ²	100%

Sumber: Balai Wilayah Sungai Sulawesi I

Tabel 9. Nilai *CN* Rata – Rata DAS Sangkub

No.	Jenis Tutup Lahan	Luas	%	CN Tiap Lahan	CN
1	Tegalan/Ladang	24.911 km ²	2.77%	78	2.16429
2	Tanah Terbuka	1.9717 km ²	0.22%	74	0.16252
3	Sawah	4.659 km ²	0.52%	88	0.45667
4	Perkebunan	16.495 km ²	1.84%	88	1.61683
5	Sungai	1.929 km ²	0.21%	0	0
6	Hutan Alam	847.817 km ²	94.43%	70	66.1042
Total					70.5045

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Debit Banjir Rencana

Pertama, akan dihitung asumsi *lag time* awal dari DAS Sangkub dengan data parameter DAS sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= 897.78 \text{ km}^2 \\
 L &= 56.856 \text{ km} \\
 L_c &= 16.473 \text{ km} \\
 C_t &= 1.55
 \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_p &= 0.75 \times C_t (L \times L_c)^{0.3} \\
 &= 0.75 \times 1.55 \times (56.856 \times 16.473)^{0.3} \\
 &= 9.054 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Dengan $t_r = 1$ jam, nilai t_p akan dimasukkan pada persamaan $\frac{t_p}{5.5} = t_r$

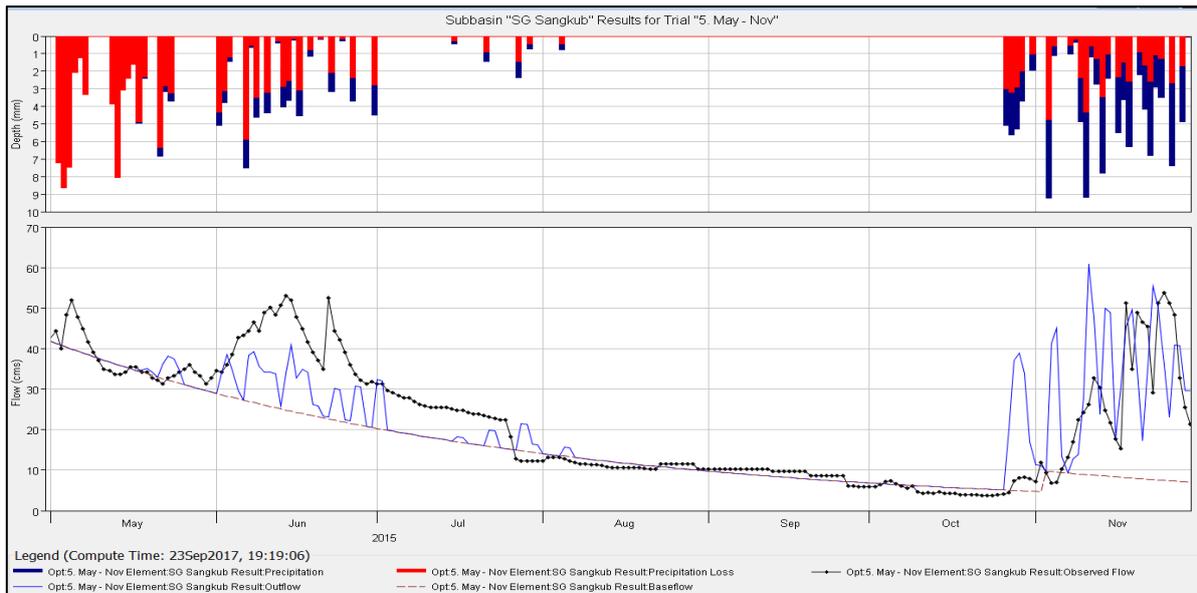
$$\frac{9.054}{5.5} = 1.65 \text{ Jam}$$

Karena $\frac{t_p}{5.5} \neq 1$ jam, maka nilai *lag time* akan dihitung dengan nilai $tR = 1$ jam dan nilai $t_r = 1.65$ jam

$$\begin{aligned}
 t_p R &= t_p + \frac{tR - t_r}{4} \\
 &= 9.054 + (1 - 1.65)/4 \\
 &= 8.89 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Kalibrasi Parameter DAS HSS Snyder

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan.



Gambar 7. Grafik Hasil Kalibrasi dalam program HEC-HMS.

Sumber: Hasil Analisis

Project:TA Kalibrasi 2015 Optimization Trial:4. Jun - Nov LP	
Subbasin:Lokasi Penelitian	
Start of Trial: 01Jun2015, 00:00	Basin Model: Sangkub
End of Trial: 30Nov2015, 00:00	Meteorologic Model:Kalibrasi
Compute Time:29Sep2017, 13:07:16	
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge: 65.9 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:23Nov2015, 00:00
Precipitation Volume:179.00 (MM)	Direct Runoff Volume: 91.15 (MM)
Loss Volume: 87.14 (MM)	Baseflow Volume: 299.12 (MM)
Excess Volume: 91.86 (MM)	Discharge Volume: 390.27 (MM)
Observed Hydrograph at Gage 2015 AN	
Peak Discharge: 53.8 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:25Nov2015, 00:00
Mean Abs Error:6.3 (M3/S)	RMS Error: 9.8 (M3/S)
Volume: 344.84 (MM)	Volume Residual: 45.42 (MM)
Nash-Sutcliffe: 0.540	

Gambar 8. Keterangan Hasil Kalibrasi
Sumber: Hasil Analisis

Hasil Kalibrasi menunjukkan hubungan yang baik dari nilai *Nash-Sutcliffe* (NSE) yang memenuhi sebesar 0.540. Sehingga parameter DAS hasil kalibrasi dapat digunakan untuk perhitungan debit banjir.

Tabel 10 Kriteria Nilai NSE

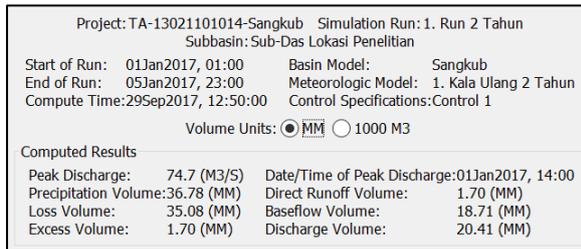
NSE > 0,75	Baik
0,36 < NSE < 0,75	Memenuhi
NSE < 0,36	Tidak Memenuhi

Sumber: Motovilov et al (1999)

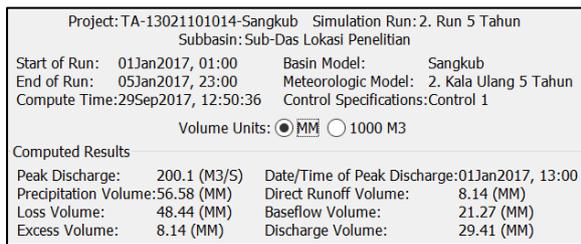
Project:TA Kalibrasi 2015 Optimization Trial:4. Jun - Nov LP					
Start of Trial: 01Jun2015, 00:00		Basin Model: Sangkub			
End of Trial: 30Nov2015, 00:00		Meteorologic Model:Kalibrasi			
Compute Time:29Sep2017, 13:07:16					
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value	Objective Function Sensitivity
Lokasi Penelitian	Snyder Unit Hydrograph - Peaking Coefficient		0.5	0.75685	0.00
Lokasi Penelitian	Recession - Ratio to Peak		0.25	0.24128	0.04
Lokasi Penelitian	Recession - Recession Constant		0.9	0.98816	22.84
Lokasi Penelitian	SCS Curve Number - Curve Number		70.5045	69.607	0.96
Lokasi Penelitian	Snyder Unit Hydrograph - Standard lag	HR	8.8928	8.8928	0.00
Lokasi Penelitian	Recession - Initial Discharge	M3/S	40.129	40.722	-0.24

Gambar 9. Parameter DAS Hasil Kalibrasi
Sumber: Hasil Analisis

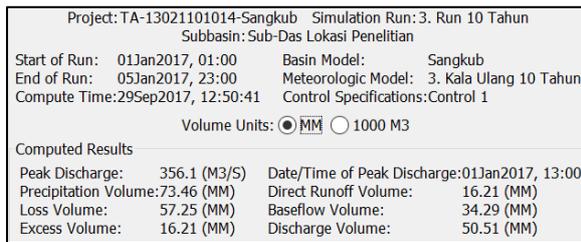
Hasil Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS



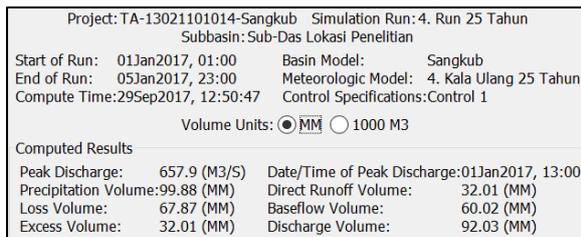
Gambar 10. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 2 Tahun



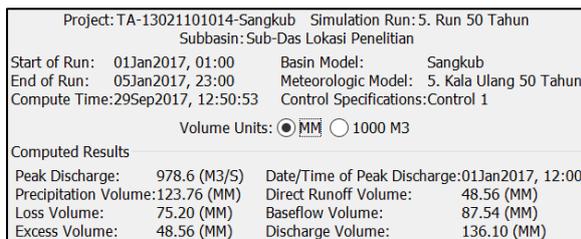
Gambar 11. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 5 Tahun



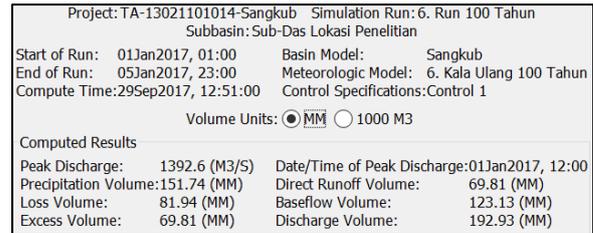
Gambar 12. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 13. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 14. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 15. Hasil Simulasi HEC-HMS Kala Ulang 100 Tahun

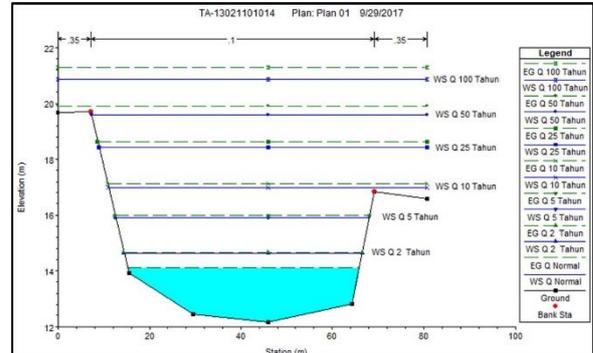
Tabel 11. Besar Debit Puncak Tiap Kala Ulang

Kala Ulang	Debit
2 Tahun	74.7 m ³ /s
5 Tahun	200.1 m ³ /s
10 Tahun	356.1 m ³ /s
25 Tahun	657.9 m ³ /s
50 Tahun	978.6 m ³ /s
100 Tahun	1392.6 m ³ /s

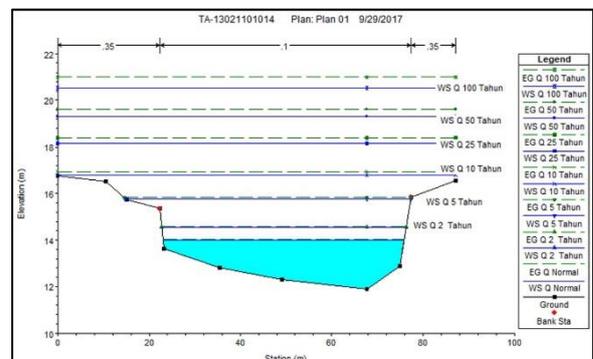
Sumber: Hasil Analisis

Hasil Simulasi Tinggi Muka Air dengan Program Komputer HEC-RAS

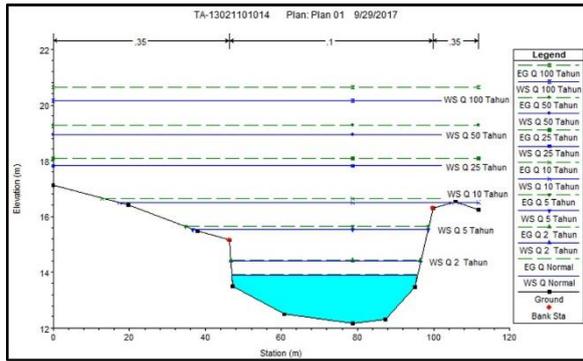
Hasil simulasi pada tiap penampang dengan menampilkan tinggi muka air semua debit kala ulang.



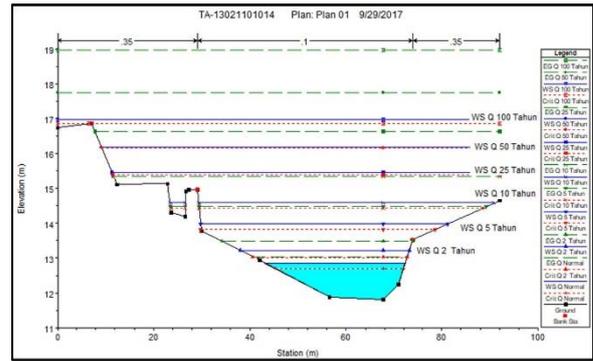
Gambar 16. Hasil Simulasi HEC-RAS Sta 0+200



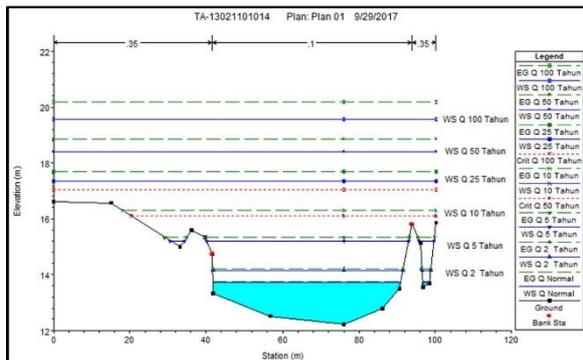
Gambar 17. Hasil Simulasi HEC-RAS Sta 0+150



Gambar 18. Hasil Simulasi HEC-RAS Sta 0+100



Gambar 20. Hasil Simulasi HEC-RAS Sta 0+0



Gambar 19. Hasil Simulasi HEC-RAS Sta 0+50

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Simulasi HEC-RAS

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	200	Q Normal	40.13	12.17	14.1		14.12	0.001872	0.55	73.14	50.62	0.15
1	200	Q 2 Tahun	70.3	12.17	14.59		14.61	0.002255	0.72	98.05	51.9	0.17
1	200	Q 5 Tahun	179	12.17	15.75		15.81	0.003126	1.12	160.19	54.96	0.21
1	200	Q 10 Tahun	311.7	12.17	16.71		16.82	0.003875	1.46	214.41	62.91	0.24
1	200	Q 25 Tahun	566.8	12.17	18.03		18.22	0.004795	1.93	306.44	71.12	0.28
1	200	Q 50 Tahun	831.5	12.17	19.07		19.35	0.00552	2.32	381.73	72.62	0.31
1	200	Q 100 Tahun	1175	12.17	20.21		20.58	0.00613	2.73	468.54	80.69	0.33
1	150	Q Normal	40.13	11.9	14.01		14.03	0.001653	0.52	77.34	52.77	0.14
1	150	Q 2 Tahun	70.3	11.9	14.48		14.5	0.002068	0.69	102.1	53.43	0.16
1	150	Q 5 Tahun	179	11.9	15.6		15.66	0.003008	1.1	163.23	59.41	0.2
1	150	Q 10 Tahun	311.7	11.9	16.52		16.63	0.003679	1.45	225.38	75.89	0.24
1	150	Q 25 Tahun	566.8	11.9	17.79		17.98	0.004558	1.95	334.7	86.95	0.28
1	150	Q 50 Tahun	831.5	11.9	18.8		19.08	0.005253	2.36	422.46	86.95	0.3
1	150	Q 100 Tahun	1175	11.9	19.89		20.28	0.005947	2.8	517.55	86.95	0.33
1	100	Q Normal	40.13	12.15	13.9		13.92	0.002849	0.63	63.5	48.8	0.18
1	100	Q 2 Tahun	70.3	12.15	14.34		14.37	0.003422	0.83	85.07	49.8	0.2
1	100	Q 5 Tahun	179	12.15	15.39		15.47	0.004716	1.29	139.2	57.99	0.25
1	100	Q 10 Tahun	311.7	12.15	16.26		16.4	0.00567	1.68	198.08	77.22	0.29
1	100	Q 25 Tahun	566.8	12.15	17.47		17.71	0.006493	2.2	321.82	111.76	0.32
1	100	Q 50 Tahun	831.5	12.15	18.45		18.77	0.006977	2.59	431.33	111.76	0.35
1	100	Q 100 Tahun	1175	12.15	19.52		19.94	0.007415	2.99	551.29	111.76	0.37
1	50	Q Normal	40.13	12.22	13.69		13.72	0.005715	0.78	51.83	50.88	0.24
1	50	Q 2 Tahun	70.3	12.22	14.1		14.15	0.006009	0.98	72.77	52.01	0.26
1	50	Q 5 Tahun	179	12.22	15.07		15.18	0.007265	1.48	124.63	57.06	0.31
1	50	Q 10 Tahun	311.7	12.22	15.87		16.05	0.008363	1.9	179.2	77.13	0.34
1	50	Q 25 Tahun	566.8	12.22	17.01		17.31	0.009367	2.47	279.81	100.19	0.38
1	50	Q 50 Tahun	831.5	12.22	17.94		18.35	0.009946	2.91	372.77	100.19	0.41
1	50	Q 100 Tahun	1175	12.22	18.96	16.45	19.49	0.010471	3.36	474.81	100.19	0.43
1	0	Q Normal	40.13	11.81	12.85	12.69	13.04	0.060109	1.94	20.68	29.2	0.74
1	0	Q 2 Tahun	70.3	11.81	13.17	12.99	13.43	0.060025	2.27	31	34.55	0.76
1	0	Q 5 Tahun	179	11.81	13.89	13.71	14.34	0.06012	2.98	60.96	50.02	0.82
1	0	Q 10 Tahun	311.7	11.81	14.43	14.27	15.12	0.060013	3.69	90.67	61.89	0.86
1	0	Q 25 Tahun	566.8	11.81	15.22	15.09	16.28	0.060022	4.63	144.14	79.99	0.91
1	0	Q 50 Tahun	831.5	11.81	15.86	15.82	17.25	0.060006	5.35	196.22	81.93	0.94
1	0	Q 100 Tahun	1175	11.81	16.59	16.59	18.34	0.058833	6.05	257.22	84.14	0.96

Sumber: Hasil Analisis

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penampang sungai dari sta 0 + 200 sampai sta 0 + 0 tidak dapat menampung debit banjir dengan kala ulang 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Kemiringan sungai juga menjadi salah satu faktor pengaruh yang besar karena lokasi penampang berada pada daerah yang landai sehingga kecepatan aliran menjadi lambat dan tinggi muka air menjadi besar.

Saran

Bila akan dilaksanakan penelitian lebih lanjut, pengukuran dapat dilakukan di daerah banjir pada hilir sungai dengan memperhitungkan pengaruh pasang surut.

Selain lokasi penelitian, data hujan yang tersedia juga merupakan data hujan dari pos hujan yang berada di pinggiran DAS dan bahkan di luar DAS Sangkub sehingga untuk mendapatkan data hujan yang lebih akurat dapat dipasang alat ukur hujan di bagian hulu DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- _____. 2016. *HEC-RAS 5.0 Hydraulic Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- Anggrahini., 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. CV. Citra Media, Surabaya.
- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Chaudry, M. Hanif. 1993. *Open-Channel Flow*. Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Chow, V. T., 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Erlangga, Jakarta.
- Chow, V.T., Maidment, D. R, Mays, L. W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Harto, S., 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- I Made Kamiana. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Kapantouw, Billy. 2017. *Analisis Debit dan Tinggi Muka Air Sungai Paniki di Kawasan Holland Village*. Jurnal Sipil Statik Vol. 5 Februari 2017 (21-29) ISSN:2337-6732, Manado.
- Loebis, Joesron, dkk. 1993. *Hidrologi Sungai*. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Seyhan, Ersin. 1990. *Dasar-dasar hidrologi*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Siswoyo, Hari. 2012. *Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetis Snyder untuk Daerah Aliran Sungai Di Jawa Timur*. Jurnal Teknik Pengairan Vol. 2, No 1, Malang.
- Soemarto, C. D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Edisi Kedua. Erlangga, Jakarta.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Nova, Bandung.
- Triatmodjo. Bambang, 2008. *Hidrologi Terapan*. Betta Offset, Yogyakarta.