

ANALISIS DEBIT BANJIR DAN TINGGI MUKA AIR SUNGAI KALAWING DI KELURAHAN MALENDENG KOTA MANADO

Andre Felix Tulandi

Liany Hendratta, Jeffry Sumarauw

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: andretulandi1@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Kalawing adalah salah satu sungai di Kota Manado yang sering meluap dan membanjiri beberapa daerah yang dilewati. Luapan air dari sungai Kalawing menimbulkan kerugian bagi warga yang tinggal di sekitar sungai maupun pengguna jalan raya. Oleh karena itu dalam mengantisipasi banjir yang kemungkinan akan terjadi kelak, dibutuhkan data debit banjir dan tinggi muka air untuk penyesuaian penampang sungai Kalawing.

Analisis dimulai dengan mencari frekuensi hujan menggunakan metode Log Pearson III. Adapun data hujan yang digunakan berasal dari pos hujan Tikala-Sawangan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum tahun 2008 s/d 2017. Setelah didapat besaran hujan, pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS menggunakan metode HSS Soil Conservation Services, dan untuk kehilangan air dengan SCS Curve Number (CN). Untuk aliran dasar (baseflow) menggunakan metode recession. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan menggunakan uji koefisien determinasi (r^2). Dalam kalibrasi ini, parameter yang dikalibrasi adalah lag time, curve number, recession constant, baseflow dan ratio to peak. Untuk batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Hasil uji koefisien determinasi (r^2) menunjukkan nilai 0,715. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS. Debit puncak hasil simulasi setiap kala ulang dimasukkan dalam program komputer HEC-RAS untuk simulasi elevasi tinggi muka air pada penampang yang telah diukur.

Hasil simulasi menunjukkan untuk penampang STA 0+0 masih mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, dan 25 tahun. Selain itu semua penampang Sungai Kalawing yang ditinjau sudah tidak mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

Kata kunci : *Sungai Kalawing, Debit Banjir, Elevasi Tinggi Muka Air, HEC-HMS, HEC-RAS*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai Kalawing adalah sungai yang mengalir melewati beberapa kelurahan yang ada di Kecamatan Paal 2. Saat terjadi hujan lebat sungai Kalawing meluap pada titik yang berada di kelurahan Malendeng Lingkungan VI. Luapan air dari sungai Kalawing menyebabkan terjadinya banjir dan menimbulkan kerugian bagi warga yang tinggal disekitar sungai maupun pengguna jalan raya.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka

perlu dilakukan analisis hidrologi untuk mengetahui besarnya debit banjir dan analisis hidraulika menganalisis tinggi muka air saat terjadi banjir di Sungai Kalawing dengan kala ulang tertentu. Dengan diketahuinya hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan perencanaan penanggulangan banjir di bantaran Sungai Kalawing.

Rumusan Masalah

Sungai Kalawing sering mengalami banjir maka perlu mengetahui besarnya debit banjir dan elevasi tinggi muka air sebagai acuan untuk melakukan pengendalian banjir.

Batasan Penelitian

Dalam tugas akhir ini, penelitian dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian maksimum.
2. Kala ulang rencana dibatasi pada 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.
3. Analisis dihitung dengan bantuan program komputer yaitu Hydrologic Engineering Center-The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) untuk analisis hidrologi dan Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) untuk analisis hidraulika.
4. Penampang melintang sungai yang ditinjau adalah sepanjang 185 meter menuju hulu dari titik awal pengukuran yaitu di sekitar jembatan yang ada di kelurahan Malendeng lingkungan VI yang terbagi atas 8 segmen.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui debit banjir dan tinggi muka sungai Kalawing dengan berbagai kala ulang.

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 Kalawing

LANDASAN TEORI

Daur 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:

1. Daur tersebut dapat berupa daur pendek, yaitu hujan yang jatuh di laut, danau atau sungai yang segera dapat mengalir kembali ke laut.
2. Tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur. Pada musim kemarau kelihatannya daur berhenti sedangkan di musim hujan daur berjalan kembali.

3. 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).
4. 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.

Untuk menentukan batas DAS sangat diperlukan peta topografi. Peta topografi adalah peta yang memuat semua keterangan tentang suatu wilayah tertentu, baik jalan, kota, desa, sungai, jenis tumbuh-tumbuhan, tata guna lahan lengkap dengan garis-garis kontur.

Analisis Curah Hujan

Untuk mendapatkan perkiraan besar banjir yang terjadi di suatu penampang sungai tertentu, maka kedalaman hujan yang terjadi harus diketahui pula. Yang diperlukan adalah besaran kedalaman hujan yang terjadi di seluruh DAS. Jadi tidak hanya besaran hujan yang terjadi di suatu stasiun pengukuran hujan, melainkan data kedalaman hujan dari beberapa stasiun hujan yang tersebar di seluruh DAS.

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.

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. Menurut Triatmodjo (dikutip dalam Kamase dkk., 2017), Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya suatu kejadian ekstrim dan frekuensinya berdasarkan distribusi probabilitas

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.

Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas atau distribusi peluang adalah suatu distribusi yang menggambarkan peluang dari sekumpulan varian sebagai pengganti frekuensinya.

Salah satu tujuan dalam analisis distribusi peluang adalah menentukan periode ulang (return period).

Menurut Bambang 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.

Pemilihan Tipe Distribusi

Tipe distribusi yang sesuai dapat diketahui berdasarkan parameter-parameter statistik data pengamatan. Hal ini dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap syarat batas parameter statistik tiap distribusi dengan parameter data pengamatan. Secara teoritis, langkah awal penentuan tipe distribusi dapat dilihat dari parameter-parameter statistik data pengamatan lapangan yaitu C_s , C_v , dan C_k . Kriteria pemilihan untuk tiap tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut :

- 1) Distribusi Normal
 $C_s \approx 0$; $C_k \approx 3$
- 2) Distribusi Log-Normal
 $C_s \approx C_v^3 + 3 C_v$
 $C_k \approx C_v^8 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v^2 + 3$
- 3) Distribusi Gumbel
 $C_s \approx 1,14$; $C_k \approx 5,40$
- 4) Bila kriteria 3 (tiga) sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah Tipe Distribusi Log-Normal III.

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. Debit banjir rencana biasa didapatkan dengan beberapa metode.

Dalam penelitian ini digunakan metode empiris yaitu hidrograf satuan untuk menghitung besarnya debit banjir.

HSS-SCS

Hidrograf Tidak berdimensi SCS (*Soil Conservation Services*) adalah hidrograf satuan sintetis dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak q_p dan waktu dalam nisbah waktu t terhadap waktu naik dari hidrograf satuan T_p .

Jika debit puncak dan waktu keterlambatan dari suatu durasi hujan efektif (*Lag Time*) diketahui, maka hidrograf satuan dapat diestimasi dari UH sintesis SCS.

$$Lag\ Time\ (t_p) = \frac{L^{0,8} (2540 - 22,86\ CN)^{0,7}}{14,104\ CN \times S^{0,5}}$$

$$Waktu\ Naik\ (T_p) = \frac{tr}{2} + t_p$$

$$Time\ base\ (t_b) = 5 \times T_p$$

$$q_p = \frac{CA}{T_p}$$

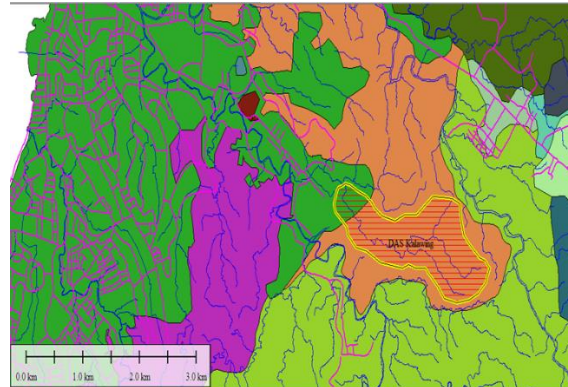
Dengan *CN* adalah *Curve Number* yang dapat memperhitungkan total hujan untuk berbagai karakteristik DAS dengan tipe tanah dan tata guna lahan yang berbeda (Supit, 2013).

Analisis Hidraulika

Aliran dikatakan langgeng (*steady*) jika kecepatan tidak berubah selama selang 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.

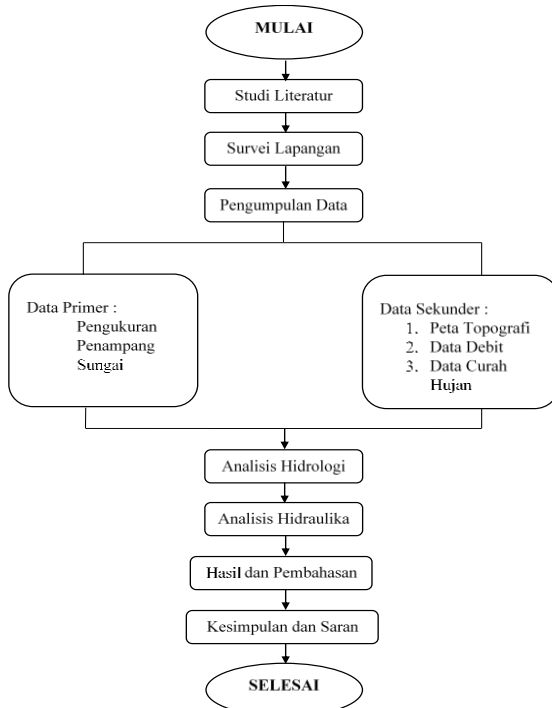
Kalawing. Perhitungan luas DAS dilakukan dengan bantuan program *Global Mapper* dengan menggunakan data SIG yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi-I. Sehingga diperoleh luas DAS Kalawing sebesar 1,9 km².



Gambar 2. Gambar DAS Kalawing
Sumber: *Global Mapper*, Data GIS BWSS-I

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Pelaksanaan Penelitian :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di DAS Kalawing dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dengan periode pencatatan tahun 2008 sampai dengan tahun 2017. Pos hujan yang digunakan sebanyak 1 pos Hujan MRG Tikala-Sawangan. Berikut merupakan data hujan harian maksimum dari tahun 2008 sampai 2017.

Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	MRG Tikala-Sawangan
2008	130,8
2009	100,3
2010	123
2011	120,3
2012	110
2013	180,4
2014	170,7
2015	90
2016	90,7
2017	180

Sumber: Balai Wilayah Sungai Sulawesi I

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Daerah Aliran Sungai

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS

Uji 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.

Hasil uji outlier mendapatkan bahwa data-data curah hujan tidak ada yang menyimpang.

Penentuan Tipe Distribusi Hujan

Jenis sebaran hujan bergantung pada nilai parameter statistik yaitu rata – rata hitung atau mean (\bar{X}), simpangan baku (S) koefisien kemencengan (Cs), koefisien variasi (Cv) dan koefisien kurtosis (Ck).

Tabel 2. Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	Cs = 0	0,5430	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	2,7346	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3 . Cv = 0,8392	0,5430	Tidak Memenuhi
	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3 = 4,2778	2,7346	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs = 1,14	0,5430	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,40	2,7346	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson tipe III.

Perhitungan dilakukan dengan terlebih dahulu.

Rata – rata hitung:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{10} \times 20,98506 = 2,098506$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,121447226}{10-1}} = 0,116164$$

Koefisien Skewness (Kemencengan):

$$C_{S_{\log X}} = \frac{n}{(n-1)(n-2)(S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3 = \frac{10}{(10-1)(10-2) \cdot 0,116164^3} \times 0,003262975 = 0,28911034 \text{ (Kemencengan Positif)}$$

Tabel 3. Curah Hujan Rencana

Kala Ulang (TR)	Log X _{TR}	X _{TR}
5 Tahun	2,194302	156,4234 mm
10 Tahun	2,250464	178,0181 mm
25 Tahun	2,312902	205,5427 mm
50 Tahun	2,354688	226,3017 mm
100 Tahun	2,393118	247,2393 mm

Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan pola hujan suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan pola hujan dari daerah sekitar yaitu pola hujan daerah Kota Manado dan sekitarnya.

Tabel 4. Distribusi Hujan Rencana untuk Setiap Kala Ulang

Jam ke- P tiap kala ulang (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
5 Tahun	84,47	34,41	12,51	9,39	4,69	1,56	4,69	4,69
10 Tahun	96,13	39,16	14,24	10,68	5,34	1,78	5,34	5,34
25 Tahun	110,9	45,22	16,44	12,33	6,17	2,06	6,17	6,17
50 Tahun	122,2	49,79	18,10	13,58	6,79	2,26	6,79	6,79
100 Tahun	133,5	54,39	19,78	14,83	7,42	2,47	7,42	7,42

Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Tabel 5. Perhitungan Nilai CN DAS Kalawing

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km2)	Persentase (%)	CN Tiap Lahan	CN
Pemukiman (38% kedap air)	0,18	9,2	85	7,8061
Hutan (Tanaman Jarang, penutupan jelek)	1,78	90,8	66	59,9387
Total	1,96	100		67,7449

Nilai *CN* rata-rata untuk DAS Kalawing adalah 67,7449.

Analisis Debit Banjir Rencana

Pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS akan menggunakan metode *HSS Soil Conservation Services*, dan untuk kehilangan air dengan *SCS Curve Number (CN)*. Untuk aliran dasar (*baseflow*) akan menggunakan metode *recession*.

Kalibrasi Parameter HSS SCS

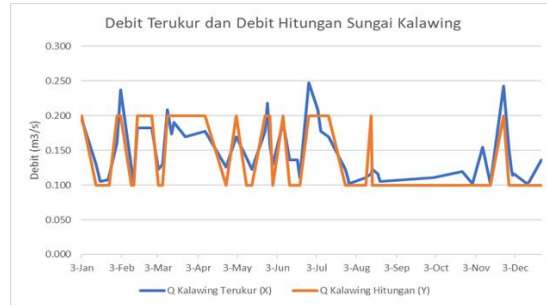
Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS SCS perlu dilakukan untuk mencari nilai parameter HSS SCS teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi HEC – HMS dengan data debit terukur.

Kalibrasi dilakukan pada DAS Lokasi penelitian dengan data debit terukur hasil perhitungan.

Dikarenakan sungai Kalawing tidak memiliki data debit terukur, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode analisis regional sehingga data debit sungai Kalawing dapat diketahui.

Tabel 6. Parameter Hasil

<i>CN</i>	60
<i>Recession Constant</i>	0,5
<i>Ratio to Peak</i>	0,2
<i>Initial discharge</i>	0,120 m ³ /det
<i>Lag Time</i>	40,355 menit



Gambar 3. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur

Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS

Setelah kalibrasi, semua parameter terkalibrasi akan digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir. Hasil simulasi untuk tiap kala ulang adalah sebagai berikut:

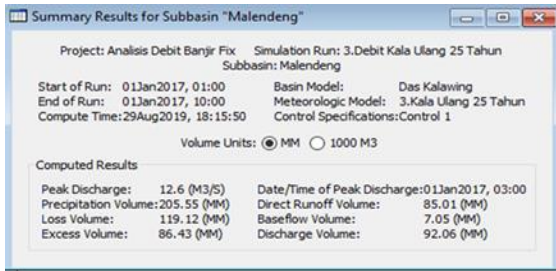
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
08Mar2017	00:00	30.50	1.34	29.16	0.5	0.0	0.5	0.1
09Mar2017	00:00	20.00	0.82	19.18	0.5	0.0	0.5	0.2
10Mar2017	00:00	7.00	0.28	6.72	0.2	0.0	0.2	0.2
11Mar2017	00:00	9.00	0.35	8.65	0.2	0.0	0.2	0.2
12Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1	0.1	0.2
13Mar2017	00:00	8.00	0.31	7.69	0.1	0.0	0.2	0.2
14Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.1	0.2
15Mar2017	00:00	10.00	0.37	9.63	0.2	0.0	0.2	0.2
16Mar2017	00:00	20.10	0.73	19.37	0.4	0.0	0.4	0.2
17Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1	0.2	0.2
18Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.1	0.1	0.2
19Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.1
20Mar2017	00:00	3.00	0.11	2.89	0.0	0.0	0.1	0.2
21Mar2017	00:00	50.20	1.66	48.54	0.8	0.0	0.8	0.1
22Mar2017	00:00	10.00	0.31	9.69	0.4	0.0	0.4	0.2
23Mar2017	00:00	20.00	0.60	19.40	0.4	0.0	0.4	0.2
24Mar2017	00:00	3.00	0.09	2.91	0.2	0.0	0.2	0.2
25Mar2017	00:00	60.00	1.65	58.35	1.0	0.0	1.0	0.2
26Mar2017	00:00	40.50	1.02	39.88	1.0	0.0	1.0	0.2
27Mar2017	00:00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2	0.1
28Mar2017	00:00	10.00	0.24	9.76	0.2	0.0	0.2	0.1

Gambar 2. Debit Hitungan Sungai Kalawing

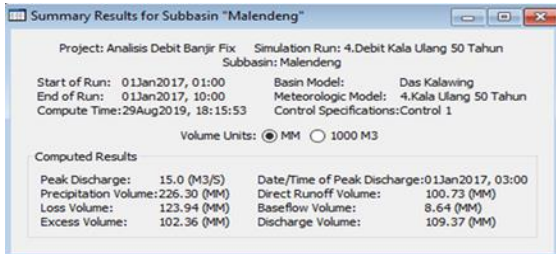
Uji koefisien determinasi (r^2) dilakukan dengan membandingkan debit terukur sungai Kalawing dan debit terbaik hasil hitungan yang diperoleh dari parameter yang sudah terkalibrasi.

Gambar 4. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun

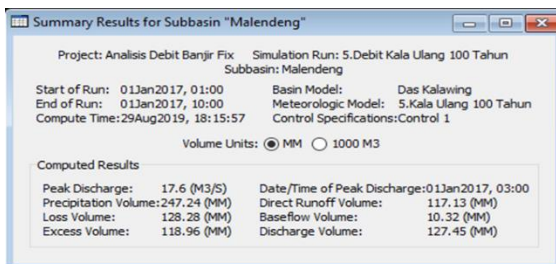
Gambar 5. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 25 Tahun



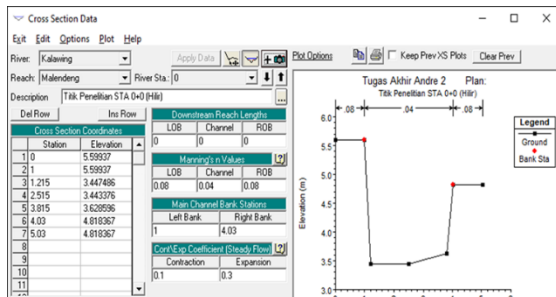
Gambar 7. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun



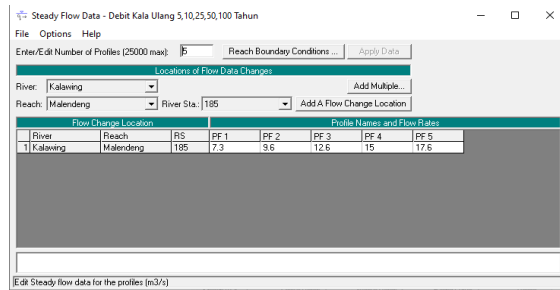
Gambar 8. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun

Analisis Tinggi Muka Air

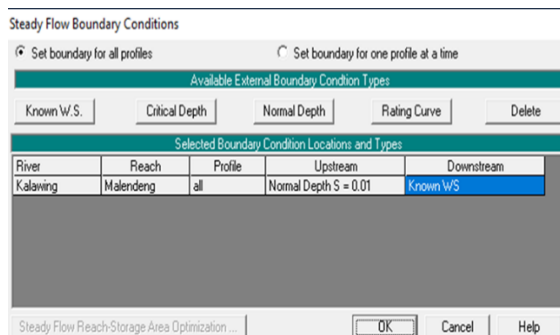
Analisis tinggi muka air menggunakan program komputer HEC-RAS membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien n Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*Steady Flow*).



Gambar 9. Data Penampang Melintang STA 0+0 m



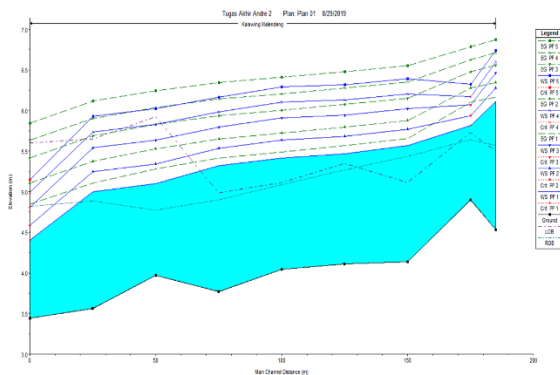
Gambar 10. Pengisian Data Debit



Gambar 11. Pengisian Reach Boundary Conditions

Simulasi Tinggi Muka Air Dengan Program Komputer HEC-RAS

Hasil simulasi menunjukkan untuk penampang STA 0+0 masih mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, dan 25 tahun. Selain itu, semua penampang Sungai Kalawing yang ditinjau sudah tidak mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.



Gambar 12. Rangkuman Tinggi Muka Air Potongan Memanjang Sungai Kalawing

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, maka:

1. Debit banjir yang terjadi untuk kala ulang 5 tahun = 7,3 m³/det, kala ulang 10 tahun = 9,6 m³/det, kala ulang 25 tahun = 12,6 m³/det, kala ulang 50 tahun = 15 m³/det, kala ulang 100 tahun = 17,6 m³/det .
2. Hasil simulasi menunjukkan untuk penampang STA 0+0 masih mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5

tahun, 10 tahun, dan 25 tahun. Selain itu semua penampang Sungai Kalawing yang ditinjau sudah tidak mampu menampung debit banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

Saran

Perlu dibuatkan tanggul pada semua daerah penampang sungai yang di ukur agar tidak terjadi luapan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. *Data Hujan Harian Pos Hujan Tikala-Sawangan*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- _____. *Data Debit Harian Sungai Talawaan*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- _____. 2000. *HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- _____. 2016. *HEC-RAS 5.0 Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- _____. 2016. *HEC-RAS 5.0 Users Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA.
- Kamase, Malinda., Liany A. Hendratta, Jeffry S. F. Sumarauw. 2017. *Analisis Debit dan Tinggi Muka Air Sungai Tondano di Jembatan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat*. Jurnal Sipil Statik Vol. 5 Juni 2017 (175-185) ISSN:2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Salem, Haniedo P., Jeffry S. F. Sumarauw, E. M. Wuisan. 2016. *Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Di Kota Manado Dan Sekitarnya*. Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.3 Maret 2016 (203-210) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Supit, Cindy J. 2013. *The Impact Of Water Projects On River Hydrology*. Jurnal Tekno-Sipil Vol.11 No. 59 Agustus 2013 (56-61) ISSN: 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Talumepa, Marcio Yosua., Lambertus Tanudjaja, Jeffry S. F. Sumarauw. 2018. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.10 Desember 2017 (699-710) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Triatmodjo. Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta. (12-4, 34, 155-158, 163).