

EVALUASI KAPASITAS PENAMPANG SUNGAI TUGURARA KOTA TERNATE TERHADAP DEBIT BANJIR

Dandy Ramdan Rivaldy

Tommy Jansen, Jeffry S. F. Sumarauw

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: dandyrivaldy13@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Tugurara merupakan jenis sungai ephemeral yang ada di kota Ternate yang pernah meluap dan membanjiri Kawasan hilir sungai. Kawasan hilir tersebut sebagian merupakan tempat pemukiman masyarakat dan lahan perkebunan, maka perlu dibutuhkan analisis 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 Stasiun Meteorologi BMKG Ternate berupa data curah hujan harian maksimum dari tahun 2001 s/d 2016.

Simulasi hujan aliran dengan HSS Snyder menggunakan program computer HEC-HMS mendapatkan hasil untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun masing – masing sebesar 3.5 m³/detik, 4.5 m³/detik, 5.7 m³/detik, 6.7 m³/detik, 7.8 m³/detik.

Simulasi pada program komputer HEC-RAS untuk simulasi tinggi muka air pada penampang yang sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan dan data penampang elevasi dasar sungai yang berubah akibat sedimen transport. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua penampang yang sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan dapat menampung debit banjir untuk semua kala ulang sedangkan Apabila elevasi dasar penampang sungai mengalami kenaikan akibat kedalaman sedimen transport setinggi dua meter, hasil simulasi pada sta 0 + 250 tidak dapat menampung debit banjir dimulai dari debit kala ulang 10 tahun sampai debit kala ulang 100 tahun.

Kata kunci: Kapasitas Penampang, Debit Banjir, HEC-HMS, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air merupakan unsur pokok kebutuhan makhluk hidup terutama manusia. Manusia sangatlah membutuhkan air sebagai sarana penunjang kehidupan baik dalam bidang sumber daya air, irigasi, industri, listrik dan lain sebagainya. Selain manfaat air yang sangat besar, air juga dapat menimbulkan bencana kehidupan yang dapat mengganggu aktivitas dan nyawa manusia seperti halnya bencana Banjir. Banjir merupakan suatu peristiwa meluapnya air dari suatu wadah seperti sungai, danau, waduk, dan lain sebagainya. Banjir disebabkan Karena terjadinya peningkatan volume air yang besar dan tidak diimbangi dengan kapasitas penampang atau wadah dalam menampung air sehingga menyebabkan meluapnya air.

Sungai Tugurara yang terletak di bawah kaki gunung Gamalama akan teraliri air ketika musim hujan dengan membawa hasil erupsi berupa material pasir yang akan merubah elevasi dasar sungai sehingga ketika terjadi hujan dengan durasi

hujan yang lama dan kuantitas yang besar akan menimbulkan bencana banjir dengan daya rusak yang besar.

Sungai Tugurara pernah meluap dan membanjiri daerah pemukiman dibagian hilir sungai, terutama pada tahun 2011 yang menimbulkan kerugian dan korban jiwa yang besar. Luapan dan banjir tersebut juga merubah elevasi dasar sungai.

Berangkat dari hal tersebut perlu dilakukan penanganan pengendalian banjir yang salah satunya dilakukan evaluasi kapasitas penampang sungai. Evaluasi kapasitas penampang sungai dapat dilakukan apabila data eksisting diketahui dan perlu dilakukan analisis hidrologi untuk memperoleh debit banjir rencana yang dapat di jadikan acuan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diketahui bahwa Sungai Tugurara memiliki dampak banjir yang dapat merusak, merugikan dan membahayakan pada daerah pemukiman di bagian hilir DAS .

Batasan Masalah

Batasan masalah yang menjadi acuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan analisis debit banjir maks untuk kala ulang 5,10,25,50 dan 100 tahun dengan data curah hujan dari Badan Metreologi Baabullah Ternate.
2. Menggunakan data hujan maksimum selama 16 tahun dari 2001-2016.
3. Analisis hidrologi menggunakan aplikasi HEC-HMS.
4. Evaluasi hidrolika menggunakan aplikasi HEC-RAS.
5. Penampang melintang sungai yang ditinjau sebanyak satu segmen sepanjang 250 meter di sekitar kelurahan Tubo dan Dufa – dufa.

Tujuan Penelitian

Agar dapat mengevaluasi kapasitas penampang sungai yang dapat dijadikan acuan informasi untuk mengendalikan banjir sehingga tidak menimbulkan kerusakan nantinya.

Manfaat Penelitian

Memberikan informasi dan bahan pertimbangan bagi pemerintah dan masyarakat dalam mengantisipasi terjadi bencana banjir.

LANDASAN TEORI

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi. Air di permukaan tanah, sungai, danau dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan.

Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface runoff*) mengisi cekungan tanah, danau dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut.

Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung

terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi (Triatmodjo, 2008).

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/ pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur.

Analisis Curah Hujan

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

Curah hujan rata-rata dengan cara Polygon Thiessen dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Analisis Frekuensi

Ilmu statistika telah umum untuk menyatakan komponen keterangan atau fakta dari suatu fenomena yang biasanya berbentuk angka yang disusun dalam tabel dan atau diagram. Sembarang nilai yang menjelaskan ciri susunan data disebut dengan parameter. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari sebuah variabel disebut dengan parameter statistik.

Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas (Triadmodjo, 2008).

Analisis Outlier

Data hidrologi yang diukur atau nilai yang diperolehnya sudah tentu mengandung kesalahan. Dalam analisis hidrologi, output yang dihasilkan mempunyai kesalahan yang besar karena input datanya mempunyai kesalahan

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 $Cs_{log} \geq 0,4$ maka: uji outlier tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
2. Jika $Cs_{log} \leq -0,4$ maka: uji outlier rendah, koreksi data, uji outlier tinggi, koreksi data.
3. Jika $-0,4 < Cs_{log} < 0,4$ maka: uji outlier tinggi dan rendah, koreksi data.

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

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

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

- Outlier tinggi :

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

- Outlier rendah :

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

Parameter Statistik

Menurut Triatmodjo (2008), 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

Simpangan Baku adalah besar perbedaan dari nilai sampel terhadap nilai rata-rata. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai S akan besar, tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka S akan kecil.

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

- c) Koefisien Skewness (Kemencengan).

Kemencengan (Skewness) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar

suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetris atau menceng.

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

- 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 keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Distribusi Probabilitas

Salah satu tujuan dalam analisa distribusi peluang adalah menentukan periode ulang (*return period*). Menurut Triatmodjo (2008), 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.

Fungsi distribusi peluang yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah: Distribusi Normal, Distribusi Log-Normal Dua Parameter, Distribusi Gumbel, Distribusi Pearson III, Distribusi Log-Pearson III.

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:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \dots\dots\dots (12)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (13)$$

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

Debit Rencana

Menurut I Made Kamiana (2011), 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. Terdapat beberapa model Hidrograf Satuan Sintetis yaitu HSS SCS, HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS Gama – 1, HSS Limantara (Triatmodjo, 2008).

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. Snyder memilih 3 parameter yaitu: lebar dasar hidrograf, debit puncak, dan kelambatan lembah yang dianggap memadai untuk mendefinisikan hidrograf satuan (I Made Kamiana, 2011).

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:

$$t_p = 0.75 \times C_t (L \times L_c)^{0.3} \dots\dots\dots (14)$$

$$T_p = 0.5 \times t_r + t_p \dots\dots\dots (15)$$

$$q_p = 2.75 \times \left(\frac{C_p}{t_p}\right) \dots\dots\dots (16)$$

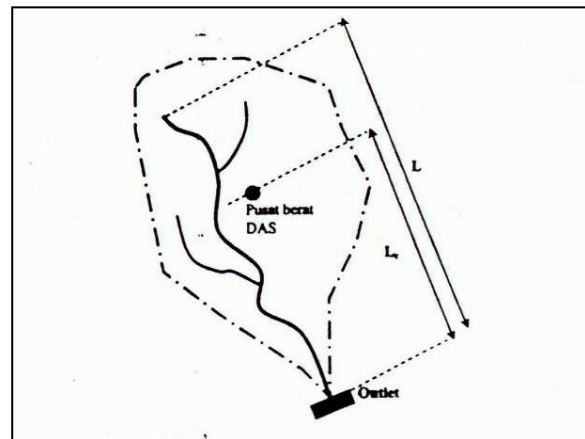
$$T_b = 72 + 3 \times t_p \dots\dots\dots (17)$$

Jika $t_p/5.5$ atau periode hujan tidak sama dengan t_r melainkan sama dengan tR maka persamaan 14 akan menjadi:

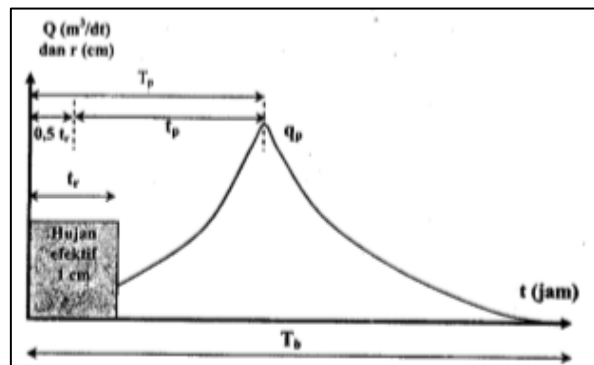
$$t_p R = t_p + (tR - t_r) / 4 \dots\dots\dots (18)$$

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

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



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



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

Klasifikasi Aliran

Menurut Ven Te Chow (1985), Berdasarkan fungsi waktu, aliran dapat dibedakan menjadi:

- a. Aliran permanen (*steady flow*) apabila kedalaman aliran tidak berubah atau konstan sepanjang waktu tertentu.
- b. Aliran tidak permanen (*unsteady flow*) apabila kedalaman aliran berubah sepanjang waktu tertentu.

Berdasarkan fungsi ruang, aliran dapat dibedakan menjadi:

- a. Aliran Seragam (*Uniform flow*) apabila kedalaman aliran pada setiap penampang saluran adalah sama
- b. Aliran tidak seragam (*varied flow*) apabila kedalaman aliran berubah sepanjang saluran. Aliran ini dapat berupa “*gradually varied flow*” atau “*rapidly varied flow*”. Aliran dapat dikatakan sebagai “*rapidly varied flow*” apabila kedalaman air berubah secara cepat pada jarak yang relatif pendek.

Aliran Langgeng

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.

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. Profil permukaan air dihitung dari satu titik temu menuju titik temu berikut dengan memecahkan persamaan energi yang dinamakan metode standar (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). Persamaan energi ditulis sebagai berikut:

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \dots\dots (21)$$

$$h_e = L \times S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots (22)$$

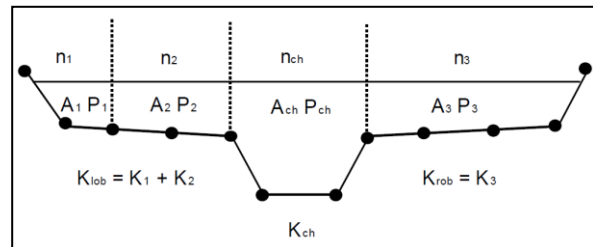
Pembagian Penampang Melintang untuk Perhitungan Daya Angkut

Total Daya Angkut dan koefisien kecepatan untuk penampang melintang mengharuskan penampang melintang dibagi menjadi bagian–bagian dimana kecepatan tersalurkan secara seragam. Pendekatan dalam program computer HEC-RAS adalah dengan membagi aliran pada daerah bantaran sungai dengan input nilai *n* Manning di titik pembagian (lokasi dimana nilai *n* berubah) sebagai dasar pembagian

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (23)$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (24)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \dots\dots\dots (25)$$



Gambar 3. Standar Pembagian Daya Angkut
Sumber: HEC-RAS Technical Reference Manual

Nilai n Manning Kompoist untuk saluran

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).

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1.5}}{P} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (26)$$

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.

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \dots\dots (27)$$

Evaluasi Kehinlangan 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.

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (28)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi daerah penelitian berada pada kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Tugurara Gunung Api Gamalama, yang secara administrasi dihuni oleh masyarakat di tiga kelurahan yaitu, Kelurahan Tubo, Kelurahan Akehuda dan Kelurahan Dufa-Dufa dengan letak geografisnya berada pada posisi 0° 48' LU dan 127° 19' 30" BT, lebih tepatnya berada di Kota Ternate Kecamatan Ternate Utara, Provinsi Maluku Utara dengan letak geografis pada 0°-2° Lintang Utara dan 126°-128° Bujur Timur.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian
Sumber : Peta-Kota.blogspot.co.id

Survei Lokasi dan Pengambilan Data Penelitian

Survei data primer dilakukan dengan pengukuran secara langsung pada penampang yang ada di lapangan dan wawancara dengan masyarakat yang tinggal di sekitar sungai Tugurara dan Pemerintah setempat. Penampang yang diukur berada di sekitar pemukiman di bagian hilir. Dari hasil wawancara dengan masyarakat sekitar, Sungai Tugurara pernah meluap dan membanjiri beberapa desa di bagian hilir sungai. Dari hasil wawancara juga ternyata setelah kejadian banjir dasar sungai tertutup erosi setinggi 2 meter hasil bawaan dari banjir.

Data sekunder diperlukan sebagai data yang mendukung mengenai sungai Tugurara seperti peta rupa bumi kota ternate dan data hidrologi

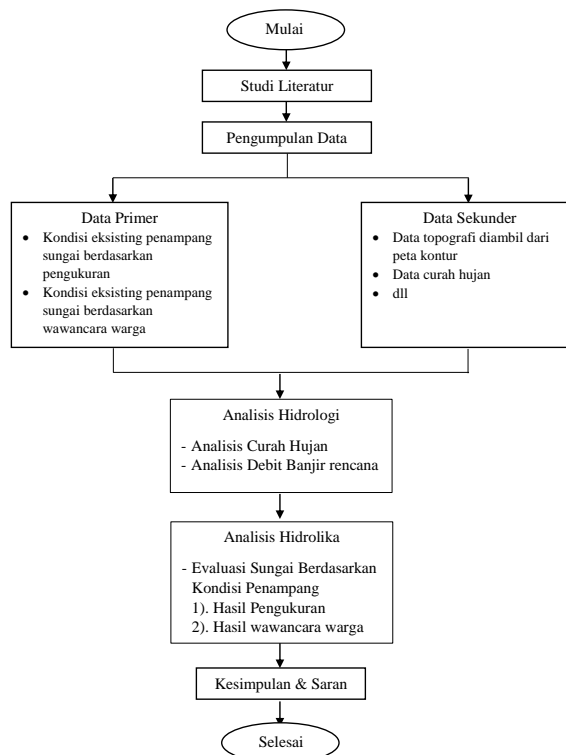
maupun klimatologi. Survei data sekunder juga, diperoleh beberapa artikel berita mengenai perubahan elevasi dasar sungai setinggi 2 meter.

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Survei Lokasi Penelitian
2. Studi Literatur
Memanfaatkan buku-buku referensi yang berhubungan dengan materi penulisan.
3. Pengumpulan Data
4. Analisis Data
 - Analisis hidrologi
Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan debit rencana dengan menggunakan aplikasi HEC-HMS.
 - Analisis hidrolika
Kontrol kapasitas penampang eksisting sungai terhadap debit rencana dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS.

Diagram Penelitian



Gambar 5. Diagram Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di DAS Tugurara dihitung menggunakan data curah hujan harian

maksimum yang bersumber dari Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Baabullah Ternate dengan periode pencatatan tahun 2001 sampai dengan 2016, Pos hujan yang digunakan adalah Stasiun Meteorologi. Berikut merupakan data hujan harian maksimum dari tahun 2001 sampai 2016.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

| TAHUN | CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM |
|-------|--------------------------------|
| | Stasiun Baabullah Ternate |
| 2001 | 148.00 |
| 2002 | 102.00 |
| 2003 | 87.00 |
| 2004 | 71.00 |
| 2005 | 154.00 |
| 2006 | 90.00 |
| 2007 | 93.00 |
| 2008 | 99.00 |
| 2009 | 87.00 |
| 2010 | 86.00 |
| 2011 | 144.00 |
| 2012 | 61.00 |
| 2013 | 128.00 |
| 2014 | 89.00 |
| 2015 | 60.00 |
| 2016 | 102.00 |

Sumber : BMKG Kelas I Sultan Baabullah

Analisis Data Outlier

Analisis 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.

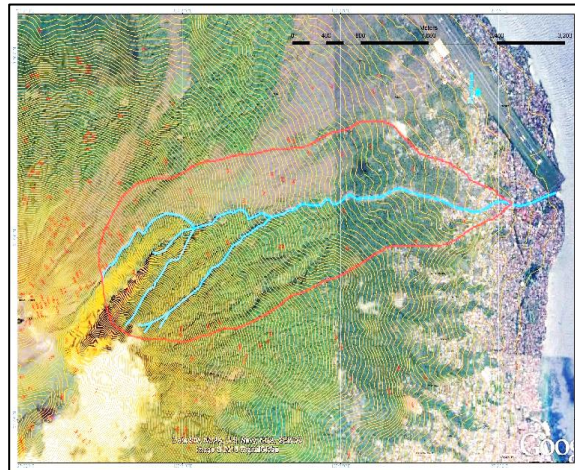
Tabel 2. Data Curah Hujan Harian Maksimum Setelah Uji Outlier

| TAHUN | CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM |
|-------|--------------------------------|
| | Stasiun Baabullah Ternate |
| 2001 | 148.00 |
| 2002 | 102.00 |
| 2003 | 87.00 |
| 2004 | 71.00 |
| 2005 | 154.00 |
| 2006 | 90.00 |
| 2007 | 93.00 |
| 2008 | 99.00 |
| 2009 | 87.00 |
| 2010 | 86.00 |
| 2011 | 144.00 |
| 2012 | 61.00 |
| 2013 | 128.00 |
| 2014 | 89.00 |
| 2015 | 60.00 |
| 2016 | 102.00 |

Sumber : Hasil Analisis

Analisis Hujan Rata – Rata

Jumlah pos hujan yang berpengaruh pada DAS Tugurara hanya 1 sehingga luas pengaruh pos hujan yaitu seluruh DAS Tugurara. Selanjutnya menghitung hujan rata-rata.



Gambar 6. DAS Tugurara
Sumber : Google Earth

Tabel 3. Hujan Rata-Rata DAS Tugurara

| Tahun | R |
|-------|-----|
| 2001 | 148 |
| 2002 | 102 |
| 2003 | 87 |
| 2004 | 71 |
| 2005 | 154 |
| 2006 | 90 |
| 2007 | 93 |
| 2008 | 99 |
| 2009 | 87 |
| 2010 | 86 |
| 2011 | 144 |
| 2012 | 61 |
| 2013 | 128 |
| 2014 | 89 |
| 2015 | 60 |
| 2016 | 102 |

Sumber : Hasil Analisis

Analisis Frekuensi Hujan

Rata-rata hitung:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{16} \times 1601 = 100.06$$

Simpangan Baku:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{12714.94}{16 - 1}} = 29.11$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$C_s = \frac{16}{(16-1)(16-2) \cdot 29.11^3} \times 215,302.95$$

$$C_s = 0.66$$

Koefisien Variasi:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{29.11}{100.06} = 0.29$$

Koefisien Kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$$

$$C_k = \frac{16^2}{(16-1)(16-2)(16-3) \cdot 29.11^4} \times 23,823,435.26$$

$$C_k = 3.11$$

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 Hasil Perhitungan | Keterangan |
|-----------------|---|-----------------------------|----------------|
| Normal | $C_s = 0$ | 0.66 | Tidak Memenuhi |
| | $C_k = 3$ | 3.11 | |
| Log Normal | $C_s = C_v^3 + 3 \cdot C_v = 0.894$ | 0.66 | Tidak Memenuhi |
| | $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3.092$ | 3.11 | Tidak Memenuhi |
| Gumbel | $C_s = 1.14$ | 0.66 | Tidak Memenuhi |
| | $C_k = 5.40$ | 3.11 | Tidak Memenuhi |
| Log Pearson III | Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya | - | Tidak Memenuhi |

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson tipe III

Rata-rata hitung:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i = \frac{1}{16} \times 31.737 = 1.984$$

Simpangan Baku:

$$S_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.231}{16-1}} = 0.124$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$C_{S_{\log x}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot S_{\log x}^3} \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3$$

$$= \frac{16}{(16-1)(16-2) \times 0.124^3} \times 0.003$$

$$= 0.125$$

Nilai K untuk tiap kala ulang adalah sebagai berikut:

- 5 Tahun : 0.833
- 10 Tahun : 1.297
- 25 Tahun : 1.802
- 50 Tahun : 2.133
- 100 Tahun : 2.436

Tabel 5. Curah Hujan Rencana

| Kala Ulang | Log Xn | Xn |
|------------|--------|------------|
| 5 Tahun | 2.087 | 122.169 mm |
| 10 Tahun | 2.145 | 139.479 mm |
| 25 Tahun | 2.207 | 161.143 mm |
| 50 Tahun | 2.248 | 177.161 mm |
| 100 Tahun | 2.286 | 193.192 mm |

Sumber : Hasil Analisis

Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman

Dalam penelitian ini di asumsikan pola hujan daerah Manado sama dengan pola hujan daerah ternate, sehingga penelitian ini menggunakan pola hujan daerah manado dan sekitarnya.

Tabel 6. Pola Distribusi Hujan Kota Manado 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 | Besar Hujan Jam Ke - | | | | | | | |
|------------|----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 5 Tahun | 65.97 | 26.88 | 9.77 | 7.33 | 3.67 | 1.22 | 3.67 | 3.67 |
| 10 Tahun | 75.32 | 30.69 | 11.16 | 8.37 | 4.18 | 1.39 | 4.18 | 4.18 |
| 25 Tahun | 87.02 | 35.45 | 12.89 | 9.67 | 4.83 | 1.61 | 4.83 | 4.83 |
| 50 Tahun | 95.67 | 38.98 | 14.17 | 10.63 | 5.31 | 1.77 | 5.31 | 5.31 |
| 100 Tahun | 104.32 | 42.50 | 15.46 | 11.59 | 5.80 | 1.93 | 5.80 | 5.80 |

Sumber : Hasil Analisis

Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Nilai CN ditentukan melalui jenis tutup lahan dan jenis tanah pada DAS. Pada daerah dengan beberapa jenis tutup lahan, nilai CN dapat ditentukan dengan mengalikan presentase luas area ke nilai CN area tersebut

Tabel 8. Jenis Luas Tutup Lahan DAS Tugurara

| Jenis Tutup Lahan | Luas | Presentase % |
|-------------------|------------------------|--------------|
| Pemukiman | 0.3025 km ² | 4.528 |
| Hutan Alam | 3.0275 km ² | 45.322 |
| Perkebunan | 3.35 km ² | 50.150 |
| Luas Total | 6.68 km ² | 100 |

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 9. Nilai CN Rata-Rata DAS Tugurara

| No | Jenis Tutup Lahan | Luas | % | CN Tiap Lahan | CN |
|-------|-------------------|------------------------|--------|---------------|--------|
| 1 | Pemukiman | 0.3025 km ² | 4.528 | 77 | 3.487 |
| 2 | Hutan Alam | 3.0275 km ² | 45.322 | 70 | 31.725 |
| 3 | Perkebunan | 3.35 km ² | 50.150 | 78 | 39.117 |
| Total | | | | | 74.329 |

Sumber: Hasil Analisis

Analisis Debit Banjir Rencana

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

$$\begin{aligned}
 A &= 6.68 \text{ km}^2 \\
 L &= 5.62 \text{ km} \\
 L_c &= 2.96 \text{ km} \\
 C_t &= 1.6
 \end{aligned}$$

Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_p &= 0.75 \times C_t (L \times L_c)^{0.3} \\
 &= 0.75 \times 1.6 \times (5.62 \times 2.96)^{0.3} \\
 &= 2.789 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

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

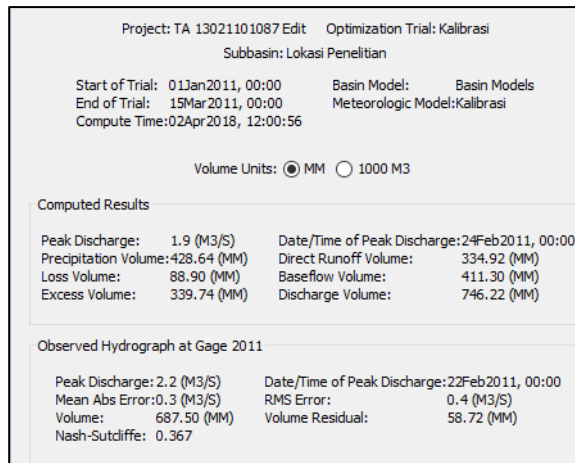
$$\frac{2.789}{5.5} = 0.507 \text{ Jam}$$

Karena $\frac{t_p}{5.5} \neq 1$ jam, maka nilai *lag time* akan dihitung dengan persamaan 2.25. dengan nilai $tr = 1$ jam dan nilai $t_r = 0.507$ jam

$$\begin{aligned}
 t_p R &= t_p + (tr - t_r) / 4 \\
 &= 2.789 + (1 - 0.51) / 4 \\
 &= 2.912 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Kalibrasi Parameter DAS HSS Snyder

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS Snyder perlu dilakukan untuk mencari nilai *Peaking Coefficient* (C_p) dengan membandingkan hasil simulasi HEC-HMS dengan data debit terukur.



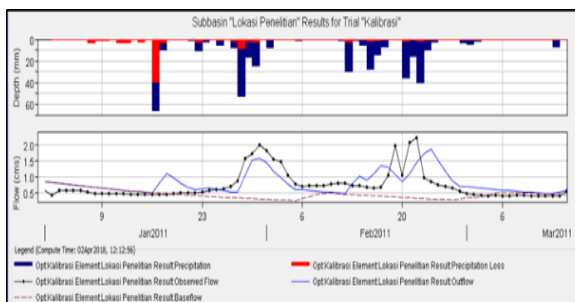
Gambar 8. Rangkuman Hasil Kalibrasi

Hasil kalibrasi menunjukkan nilai NSE yang memenuhi yaitu 0.367, dimana kriteria nilai NSE terdapat pada tabel 10.

| Element | Parameter | Units | Initial Value | Optimized Value | Objective Function Sensitivity |
|-------------------|--|-------|---------------|-----------------|--------------------------------|
| Lokasi Penelitian | Recession - Initial Discharge | M3/S | 0.866 | 0.83414 | 0.01 |
| Lokasi Penelitian | Recession - Ratio to Peak | | 0.25 | 0.37866 | 0.00 |
| Lokasi Penelitian | Recession - Recession Constant | | 0.9 | 0.96570 | -0.08 |
| Lokasi Penelitian | SCS Curve Number - Curve Number | | 74.329 | 74.565 | 0.00 |
| Lokasi Penelitian | Snyder Unit Hydrograph - Peaking Coefficient | | 0.4549 | 0.42815 | 0.01 |
| Lokasi Penelitian | Snyder Unit Hydrograph - Standard lag | HR | 2.91 | 2.9100 | 0.00 |

Gambar 9. Parameter Hasil Kalibrasi

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 10. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur Kalibrasi

Sumber: Hasil Analisis

Hasil kalibrasi menunjukkan nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) yang memenuhi yaitu 0.367 Sehingga Parameter DAS hasil Kalibrasi dapat digunakan untuk perhitungan debit banjir rencana.

Tabel 10. Kriteria Nilai NSE

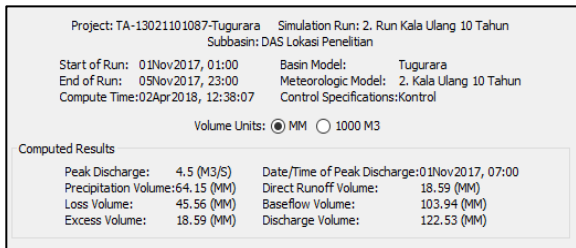
| | |
|-------------------|----------------|
| NSE > 0,75 | Baik |
| 0,36 < NSE < 0,75 | Memenuhi |
| NSE < 0,36 | Tidak Memenuhi |

Sumber: Motovilov, et al 1999

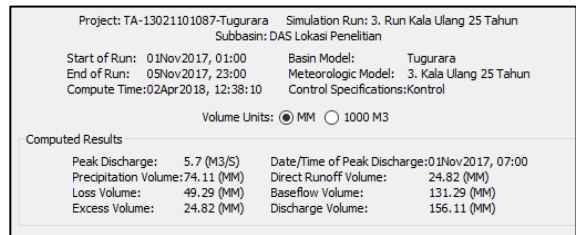
Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS



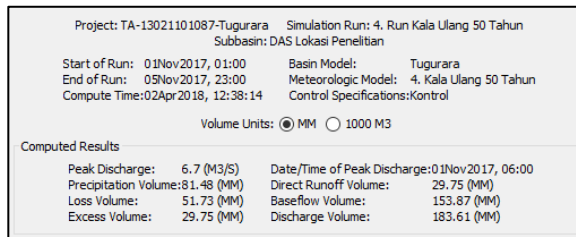
Gambar 11. Hasil Simulasi Kala Ulang 5 Tahun



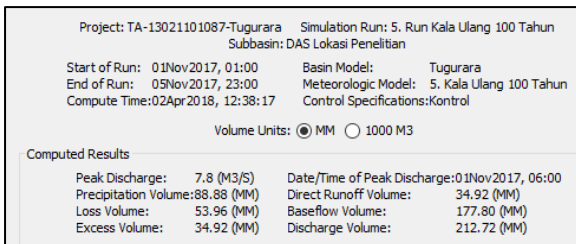
Gambar 12. Hasil Simulasi Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 13. Hasil Simulasi Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 14. Hasil Simulasi Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 15. Hasil Simulasi Kala Ulang 100 Tahun

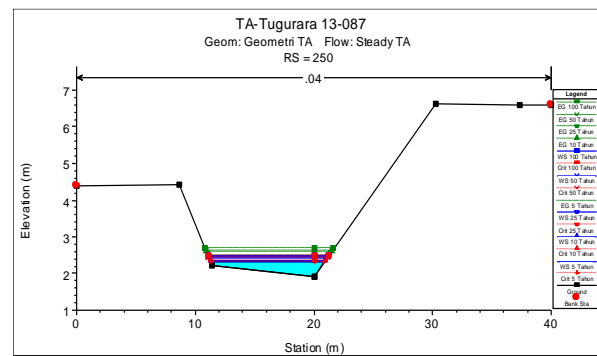
Tabel 11. Debit Banjir Rencana Tiap Kala Ulang

| Kala Ulang | Debit |
|------------|---------------------------|
| 5 Tahun | 3.5 m ³ /detik |
| 10 Tahun | 4.5 m ³ /detik |
| 25 Tahun | 5.7 m ³ /detik |
| 50 Tahun | 6.7 m ³ /detik |
| 100 Tahun | 7.8 m ³ /detik |

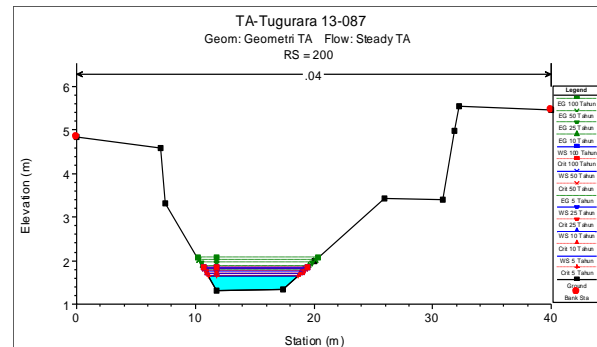
Sumber: Hasil Simulasi

Hasil Simulasi Tinggi Muka Air dengan Program Komputer HEC-RAS

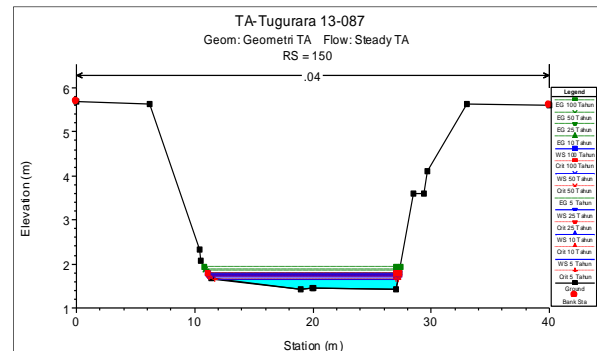
Hasil simulasi pada tiap penampang dengan menampilkan tinggi muka air semua debit kala ulang.



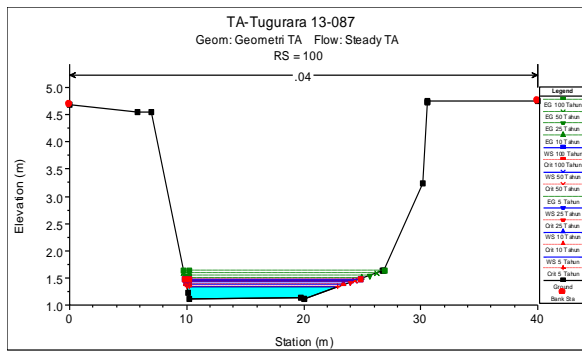
Gambar 16. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+250



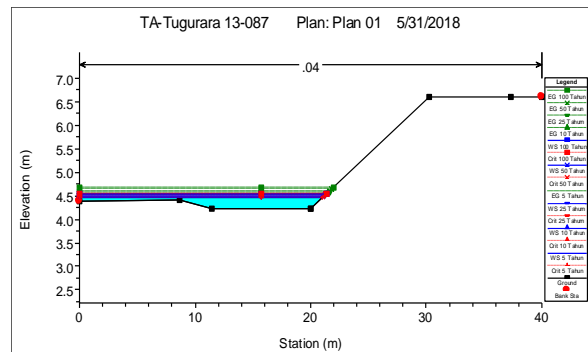
Gambar 17. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+200



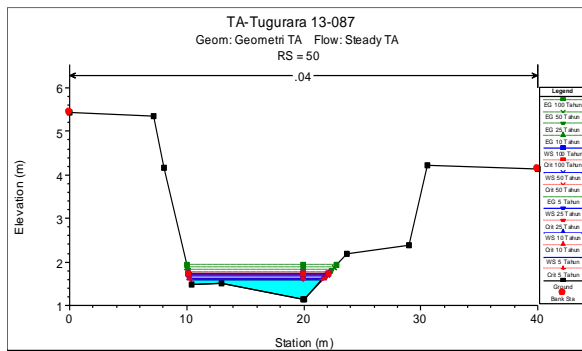
Gambar 18. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+150



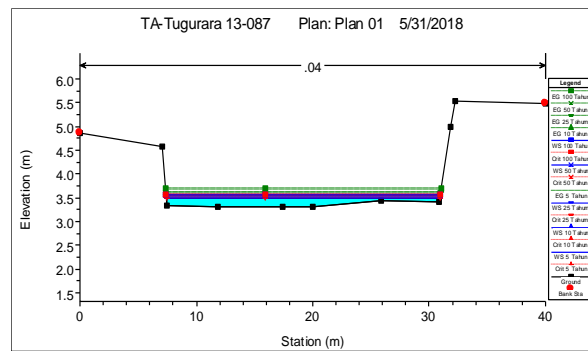
Gambar 19. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+100



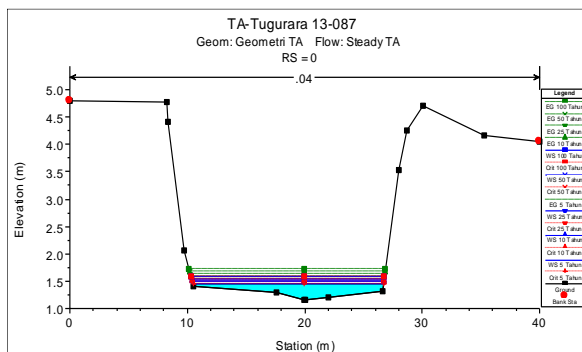
Gambar 23. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+250



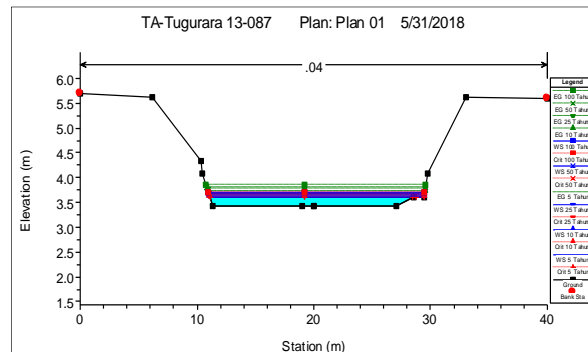
Gambar 20. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+50



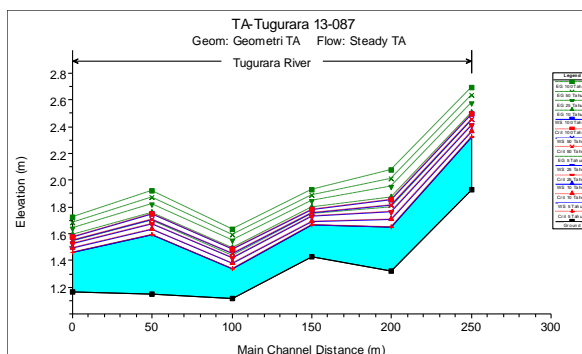
Gambar 24. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+200



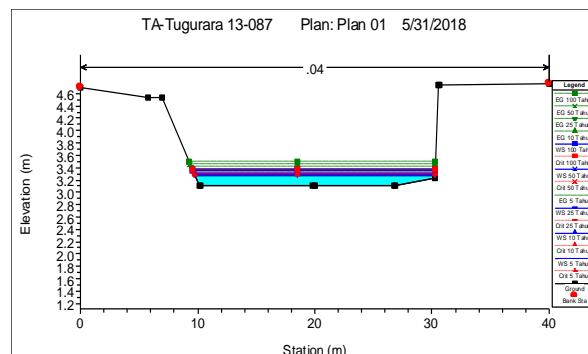
Gambar 21. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Sta 0+0



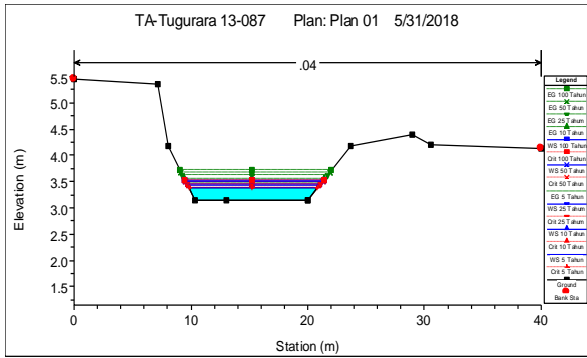
Gambar 24. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+150



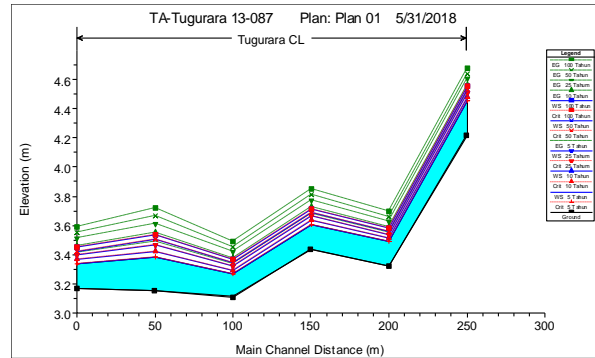
Gambar 22. Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran Potongan Memanjang



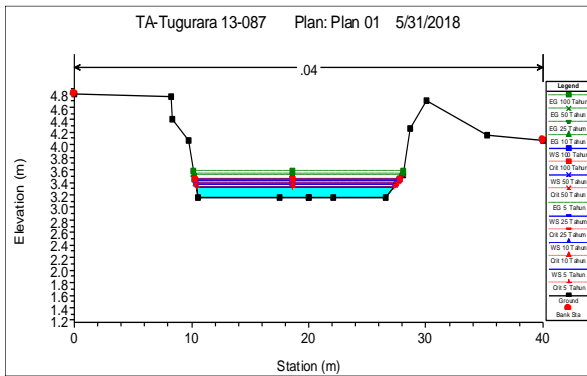
Gambar 25. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+100



Gambar 26. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+50



Gambar 27. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Potongan Memanjang



Gambar 27. Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport Sta 0+0

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Simulasi HEC-RAS Sesuai Pengukuran

| 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 |
|-------|-----------|-----------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------|
| River | 250 | 10 Tahun | 4.50 | 3.93 | 4.36 | 4.36 | 4.48 | 0.026702 | 1.56 | 2.89 | 12.17 | 1.02 |
| River | 250 | 25 Tahun | 5.70 | 3.93 | 4.44 | 4.44 | 4.53 | 0.026486 | 1.35 | 4.22 | 21.93 | 0.98 |
| River | 250 | 50 Tahun | 6.70 | 3.93 | 4.46 | 4.46 | 4.56 | 0.025949 | 1.43 | 4.69 | 22.01 | 0.99 |
| River | 250 | 100 Tahun | 7.80 | 3.93 | 4.48 | 4.48 | 4.60 | 0.027270 | 1.54 | 5.07 | 22.08 | 1.03 |
| River | 200 | 5 Tahun | 3.50 | 3.32 | 3.52 | 3.52 | 3.59 | 0.031282 | 1.14 | 3.08 | 23.51 | 1.00 |
| River | 200 | 10 Tahun | 4.50 | 3.32 | 3.54 | 3.54 | 3.62 | 0.030335 | 1.24 | 3.62 | 23.53 | 1.01 |
| River | 200 | 25 Tahun | 5.70 | 3.32 | 3.57 | 3.57 | 3.66 | 0.028237 | 1.34 | 4.27 | 23.56 | 1.00 |
| River | 200 | 50 Tahun | 6.70 | 3.32 | 3.59 | 3.59 | 3.69 | 0.027371 | 1.41 | 4.75 | 23.58 | 1.00 |
| River | 200 | 100 Tahun | 7.80 | 3.32 | 3.61 | 3.61 | 3.73 | 0.026878 | 1.49 | 5.24 | 23.59 | 1.01 |
| River | 150 | 5 Tahun | 3.50 | 3.43 | 3.65 | 3.65 | 3.73 | 0.029539 | 1.26 | 2.78 | 17.48 | 1.01 |
| River | 150 | 10 Tahun | 4.50 | 3.43 | 3.69 | 3.69 | 3.78 | 0.027705 | 1.34 | 3.35 | 18.15 | 1.00 |
| River | 150 | 25 Tahun | 5.70 | 3.43 | 3.72 | 3.72 | 3.82 | 0.026852 | 1.46 | 3.90 | 18.23 | 1.01 |
| River | 150 | 50 Tahun | 6.70 | 3.43 | 3.74 | 3.74 | 3.86 | 0.026030 | 1.54 | 4.35 | 18.30 | 1.01 |
| River | 150 | 100 Tahun | 7.80 | 3.43 | 3.77 | 3.77 | 3.90 | 0.025186 | 1.62 | 4.82 | 18.37 | 1.01 |
| River | 100 | 5 Tahun | 3.50 | 3.11 | 3.33 | 3.33 | 3.42 | 0.028460 | 1.33 | 2.63 | 14.84 | 1.01 |
| River | 100 | 10 Tahun | 4.50 | 3.11 | 3.37 | 3.37 | 3.47 | 0.027266 | 1.42 | 3.17 | 15.70 | 1.01 |
| River | 100 | 25 Tahun | 5.70 | 3.11 | 3.41 | 3.41 | 3.52 | 0.026250 | 1.51 | 3.79 | 16.61 | 1.01 |
| River | 100 | 50 Tahun | 6.70 | 3.11 | 3.44 | 3.44 | 3.56 | 0.025563 | 1.56 | 4.28 | 17.39 | 1.01 |
| River | 100 | 100 Tahun | 7.80 | 3.11 | 3.46 | 3.46 | 3.60 | 0.024922 | 1.63 | 4.79 | 17.93 | 1.01 |
| River | 50 | 5 Tahun | 3.50 | 3.25 | 3.63 | 3.63 | 3.74 | 0.027732 | 1.44 | 2.42 | 11.81 | 1.02 |
| River | 50 | 10 Tahun | 4.50 | 3.25 | 3.67 | 3.67 | 3.79 | 0.026287 | 1.55 | 2.90 | 12.12 | 1.02 |
| River | 50 | 25 Tahun | 5.70 | 3.25 | 3.71 | 3.71 | 3.85 | 0.025062 | 1.66 | 3.42 | 12.46 | 1.01 |
| River | 50 | 50 Tahun | 6.70 | 3.25 | 3.75 | 3.75 | 3.90 | 0.024202 | 1.74 | 3.84 | 12.72 | 1.01 |
| River | 50 | 100 Tahun | 7.80 | 3.25 | 3.78 | 3.78 | 3.95 | 0.023538 | 1.82 | 4.28 | 12.99 | 1.01 |
| River | 0 | 5 Tahun | 3.50 | 3.17 | 3.46 | 3.46 | 3.54 | 0.029967 | 1.28 | 2.74 | 17.08 | 1.02 |
| River | 0 | 10 Tahun | 4.50 | 3.17 | 3.49 | 3.49 | 3.58 | 0.028312 | 1.38 | 3.26 | 17.33 | 1.02 |
| River | 0 | 25 Tahun | 5.70 | 3.17 | 3.52 | 3.52 | 3.63 | 0.026934 | 1.48 | 3.84 | 17.61 | 1.01 |
| River | 0 | 50 Tahun | 6.70 | 3.17 | 3.55 | 3.55 | 3.67 | 0.025984 | 1.56 | 4.29 | 17.66 | 1.01 |
| River | 0 | 100 Tahun | 7.80 | 3.17 | 3.57 | 3.57 | 3.71 | 0.025126 | 1.64 | 4.75 | 17.72 | 1.01 |

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Simulasi HEC-RAS akibat Sedimen Transport mencapai Dua Meter

| 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 # Ch |
|-------|-----------|-----------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| CL | 250 | 10 Tahun | 4.50 | 4.22 | 4.48 | 4.48 | 4.57 | 0.029618 | 1.29 | 3.49 | 21.12 | 1.01 |
| CL | 250 | 25 Tahun | 5.70 | 4.22 | 4.51 | 4.51 | 4.61 | 0.028033 | 1.39 | 4.10 | 21.24 | 1.01 |
| CL | 250 | 50 Tahun | 6.70 | 4.22 | 4.53 | 4.53 | 4.64 | 0.027125 | 1.47 | 4.57 | 21.33 | 1.01 |
| CL | 250 | 100 Tahun | 7.80 | 4.22 | 4.56 | 4.56 | 4.68 | 0.025950 | 1.53 | 5.09 | 21.44 | 1.01 |
| CL | 200 | 5 Tahun | 3.50 | 3.32 | 3.49 | 3.49 | 3.55 | 0.031718 | 1.14 | 3.07 | 23.48 | 1.01 |
| CL | 200 | 10 Tahun | 4.50 | 3.32 | 3.51 | 3.51 | 3.59 | 0.030055 | 1.24 | 3.63 | 23.50 | 1.01 |
| CL | 200 | 25 Tahun | 5.70 | 3.32 | 3.54 | 3.54 | 3.63 | 0.028551 | 1.34 | 4.25 | 23.52 | 1.01 |
| CL | 200 | 50 Tahun | 6.70 | 3.32 | 3.56 | 3.56 | 3.66 | 0.027474 | 1.41 | 4.74 | 23.54 | 1.01 |
| CL | 200 | 100 Tahun | 7.80 | 3.32 | 3.58 | 3.58 | 3.69 | 0.026657 | 1.49 | 5.24 | 23.56 | 1.01 |
| CL | 150 | 5 Tahun | 3.50 | 3.44 | 3.61 | 3.61 | 3.68 | 0.029270 | 1.24 | 2.83 | 18.06 | 1.00 |
| CL | 150 | 10 Tahun | 4.50 | 3.44 | 3.63 | 3.63 | 3.73 | 0.028232 | 1.35 | 3.35 | 18.37 | 1.01 |
| CL | 150 | 25 Tahun | 5.70 | 3.44 | 3.67 | 3.67 | 3.77 | 0.026855 | 1.45 | 3.92 | 18.43 | 1.01 |
| CL | 150 | 50 Tahun | 6.70 | 3.44 | 3.69 | 3.69 | 3.81 | 0.025614 | 1.53 | 4.39 | 18.48 | 1.00 |
| CL | 150 | 100 Tahun | 7.80 | 3.44 | 3.72 | 3.72 | 3.85 | 0.025138 | 1.61 | 4.84 | 18.52 | 1.01 |
| CL | 100 | 5 Tahun | 3.50 | 3.11 | 3.27 | 3.27 | 3.34 | 0.030122 | 1.19 | 2.94 | 20.46 | 1.00 |
| CL | 100 | 10 Tahun | 4.50 | 3.11 | 3.29 | 3.29 | 3.38 | 0.028673 | 1.29 | 3.48 | 20.52 | 1.00 |
| CL | 100 | 25 Tahun | 5.70 | 3.11 | 3.32 | 3.32 | 3.42 | 0.027441 | 1.40 | 4.07 | 20.59 | 1.01 |
| CL | 100 | 50 Tahun | 6.70 | 3.11 | 3.34 | 3.34 | 3.45 | 0.026361 | 1.47 | 4.55 | 20.65 | 1.00 |
| CL | 100 | 100 Tahun | 7.80 | 3.11 | 3.37 | 3.37 | 3.49 | 0.025726 | 1.55 | 5.03 | 20.70 | 1.01 |
| CL | 50 | 5 Tahun | 3.50 | 3.15 | 3.38 | 3.38 | 3.49 | 0.026657 | 1.47 | 2.39 | 10.99 | 1.01 |
| CL | 50 | 10 Tahun | 4.50 | 3.15 | 3.42 | 3.42 | 3.55 | 0.025353 | 1.58 | 2.84 | 11.23 | 1.01 |
| CL | 50 | 25 Tahun | 5.70 | 3.15 | 3.47 | 3.47 | 3.62 | 0.024155 | 1.70 | 3.36 | 11.50 | 1.00 |
| CL | 50 | 50 Tahun | 6.70 | 3.15 | 3.50 | 3.50 | 3.67 | 0.023503 | 1.78 | 3.76 | 11.70 | 1.01 |
| CL | 50 | 100 Tahun | 7.80 | 3.15 | 3.54 | 3.54 | 3.72 | 0.022788 | 1.86 | 4.18 | 11.92 | 1.00 |
| CL | 0 | 5 Tahun | 3.50 | 3.17 | 3.33 | 3.33 | 3.42 | 0.029241 | 1.27 | 2.75 | 16.87 | 1.01 |
| CL | 0 | 10 Tahun | 4.50 | 3.17 | 3.36 | 3.36 | 3.46 | 0.027430 | 1.37 | 3.28 | 17.02 | 1.00 |
| CL | 0 | 25 Tahun | 5.70 | 3.17 | 3.40 | 3.40 | 3.51 | 0.026178 | 1.48 | 3.84 | 17.19 | 1.00 |
| CL | 0 | 50 Tahun | 6.70 | 3.17 | 3.42 | 3.42 | 3.55 | 0.025349 | 1.56 | 4.29 | 17.31 | 1.00 |
| CL | 0 | 100 Tahun | 7.80 | 3.17 | 3.45 | 3.45 | 3.59 | 0.024597 | 1.64 | 4.76 | 17.45 | 1.00 |

Sumber : Hasil Analisis

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil simulasi HEC-RAS untuk penampang sungai yang sesuai dengan kondisi pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa semua penampang sungai dapat menampung debit banjir rencana dengan semua kala ulang. Apabila elevasi dasar penampang sungai mengalami kenaikan akibat kedalaman sedimen transport setinggi dua meter, menunjukkan bahwa penampang sungai di Sta 0 + 250 tidak dapat menampung debit banjir rencana

kala ulang 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun.

Saran

Perlu ditambahkan ketinggian tanggul sebelah kiri pada Sta 0 + 250 agar tidak terjadi luapan dan diupayakan agar selalu melakukan pengerukan pada penampang sungai tersebut untuk mencegah kenaikan dasar sungai akibat material pasir dari sedimen transport

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.
- _____. *Data Hujan Harian Maksimum Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Baabullah Ternate* . BMKG, Ternate.

- Chow, V. T. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Erlangga, Jakarta.
- Harto, S. 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Jansen, Tommy. 2016. Sedimentasi, Salinitas, Dan Intrusi Air Laut Pada Profil Sungai Chikug Japan. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol. 6 No. 2, Mei 2016 (485-489) ISSN 2087-9334
- Kamiana, I. M. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Loebis, Joesron, dkk. 1993. *Hidrologi Sungai*. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Parwati Suadnya, Dewi. *Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Sario Di Titik Kawasan Citraland*. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 5 No.3 Mei 2017 (143-150) ISSN:2337-6732, Manado.
- Ros Rante, Novia. 2016. *Analisis Debit Banjir Anak Sungai Tikala Pada Titik Tinjauan Kelurahan Banjer Link. V Kecamatan Tikala Dengan Menggunakan HEC-HMS Dan HEC-RAS*. *Tekno* Vol. 14/No.65/April 2016 ISSN: 0215-9617, Manado.
- 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.
- Saleh, Syakir. 2016. Material Gunung Gamalama Ancam Pemukiman Warga. (http://m.rri.co.id/post/berita/297281/daerah/material_gunung_gamalama_ancam_pemukiman_warga.html, diakses tanggal 25 Mei 2018)
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Betta Offset, Yogyakarta.