

ANALISIS PENGENDALIAN BANJIR MENGUNAKAN METODE HEC-RAS DI SUNGAI COMORO BAGIAN HILIR, TIMOR-LESTE

Kris Minaryo¹, Hanie Teki Tjendani^{2*}, Esti Wulandari³

^{1,2,3}Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: kminaryo@yahoo.com¹; hanie@untag-sby.ac.id^{2*}; estiwlndr@gmail.com³

ABSTRAK

Kota Dili terletak di Lat 8°31'5.19"S, Long 125°43'4.14"E sampai dengan Lat 8°33'19.97"S, Long 125°28'54.46"E dan dilewati oleh beberapa aliran sungai, antara lain Sungai Becora, Sungai Becussi, Sungai Maloa, Sungai Manleu dan sungai terbesar adalah Sungai Comoro. Telah terjadi 3 kali banjir yang cukup besar di Kota Dili yaitu pada 13 Maret 2020, 4 April 2021 dan 21 Februari 2022. Dimana banjir mengakibatkan kerusakan yang masif dan menghancurkan ratusan meter infrastruktur jalan dan tembok penahan beton. Dalam penyelesaian penelitian ini menggunakan metode perhitungan Log Pearson Type III, HSS Nakayasu, serta pengujian kesesuaian distribusi Chi Square dan Smirnov Kolmogorov. Metode perhitungan tersebut digunakan untuk menghitung debit banjir rancangan yang digunakan sebagai data input untuk analisis hidrolika serta menggunakan program HEC-RAS 6.1.0 untuk menghitung kondisi banjir dan penanggulangan berupa pembangunan tanggul serta normalisasi sungai. Untuk menganalisis peta sebaran genangan banjir menggunakan program ArcGIS 10.3, sehingga dapat diketahui daerah mana saja yang terjadi banjir, sehingga penanggulangan banjir tepat sasaran. Dari hasil analisis diperoleh bahwa besar debit banjir rancangan yang terjadi pada Sungai Comoro ialah debit banjir dengan kala ulang 25 tahun dengan debit puncak sebesar 192.141 m³/dt. Sehingga adapun alternatif penanggulangan banjir yang diusulkan yaitu dengan pembangunan tanggul dan normalisasi sungai. Adapun faktor keamanan terhadap stabilitas lereng tanggul adalah 7.55, sehingga kemiringan lereng tanggul sangat aman. Biaya yang diperlukan untuk pembangunan tanggul dan normalisasi Sungai Comoro adalah sebesar USD 571,366.87.

Kata Kunci: banjir, biaya, normalisasi, tanggul

ABSTRACT

Dili is the city located at Lat 8°31'5.19"S, Long 125°43'4.14"E to Lat 8°33'19.97"S, Long 125°28'54.46"E and is crossed by several rivers, including the Becora River, Becussi River, Maloa River, Manleu River, and the largest river is the Comoro River. There have been 3 major floods in Dili City, namely on March 13, 2020, April 4, 2021, and February 21, 2022. Where the floods caused massive damage and destroyed hundreds of meters of road infrastructure and concrete retaining walls. In completing this research, using the Log Pearson Type III calculation method, HSS Nakayasu, and testing the suitability of the Chi-Square and Smirnov Kolmogorov distribution. The calculation method is used to calculate the design flood discharge which is used as input data for hydraulics analysis and uses the HEC-RAS 6.1.0 program to calculate flood conditions and countermeasures in the form of embankment construction and river normalization. To analyze the flood inundation distribution map using the ArcGIS 10.3 software, so that it can be seen which areas are flooded so that flood prevention is right on target/spot. From the analysis, we found that the design flood discharge that occurs in the Comoro River is flood discharge with a return

period of 25 years with a peak discharge of 192.141 m³/s. So that the proposed alternative for flood prevention is the construction of embankments and river normalization. The safety factor for the stability of the embankment slope is 7.55, so the slope of the embankment is very safe. The cost required for the construction of the embankment and normalization of the Comoro River is USD 571,366.87.

Key Word: *Cost, Earth Dike, Flood, Normalization*

PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang terjadi akibat kapasitas sungai tidak sesuai dengan debit air yang mengalir sehingga aliran air meluap dari badan sungai. Banjir yang terjadi pada suatu kawasan DAS menunjukkan bahwa DAS tersebut mengalami kerusakan ekosistem. Kerusakan ekosistem ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain curah hujan yang tinggi, elevasi tanah yang lebih rendah dibanding muka air laut, wilayah yang terletak pada cekungan yang dikelilingi perbukitan dengan sedikit resapan air, adanya bangunan disepanjang bantaran sungai, aliran sungai yang terhambat oleh tumpukan sampah, serta kurangnya tutupan lahan.

Kota Dili terletak di Lat 8°31'5.19"S, Long 125°43'4.14"E sampai dengan Lat 8°33'19.97"S, Long 125°28'54.46"E dan dilewati oleh beberapa aliran sungai, antara lain Sungai Becora, Sungai Becussi, Sungai Maloa, Sungai Manleu dan sungai terbesar adalah Sungai Comoro. Kota Dili berada di dataran rendah pesisir pantai dan dikelilingi pegunungan, dimana di sebelah selatannya yaitu Distrik Aileu dan Distrik Ermera. Akibatnya, banjir di Kota Dili disebabkan oleh 2 kemungkinan, antara lain karena banjir kiriman dan banjir genangan.

Banjir kiriman terjadi akibat peningkatan debit air sungai yang mengalir dan berkurangnya kapasitas pengaliran atau daya tampung pada saluran sungai. Sehingga air sungai meluap dan menggenangi daerah sekitarnya. Sedangkan Banjir genangan ialah banjir akibat saluran drainase mengalami masalah dan kendala sehingga menyebabkan air hujan tidak dapat disalurkan secara sempurna melalui parit-parit yang ada.

Melihat kondisi yang demikian, maka sudah dapat dipastikan bahwa kedua faktor diatas menjadi penyebab banjir di Sungai Comoro. Banjir yang terjadi pada Sungai Comoro juga mengakibatkan korban bencana yang mana disebabkan tidak adanya peringatan awal mengenai banjir kiriman dari Wilayah Railaco – Ermera dan Aileu. Sehingga penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian ini supaya dapat menentukan tingkat pengaruh debit banjir yang dihasilkan oleh masing – masing wilayah yang mengakibatkan banjir di Sungai Comoro.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1). menganalisis kala ulang debit banjir yang terjadi di Sungai Comoro dan kemampuan kapasitas eksisting sungai dalam menampung debit banjir rencana; (2). menganalisis pengendalian banjir yang optimal di Sungai Comoro; (3). menganalisis perhitungan biaya untuk pengendalian banjir pada Sungai Comoro. Adapun kondisi yang menjadi batasan dalam permasalahan studi ini adalah sebagai berikut: (1) lokasi penelitian adalah hulu Sungai Comoro yang terletak dekat dengan Loja Agricultura dan bagian hilir yang terletak di Comoro Bridge / Jembatan Comoro; (2). dalam perhitungan Hidrolika menggunakan software HEC-RAS; (3). data yang digunakan dalam penelitian berupa data primer yaitu data hasil pengukuran, pemantauan, dan

pengamatan di lapangan, dan data sekunder yang berasal dari Instansi terkait; (4). tidak membahas Analisa Dampak Lingkungan (AMDAL); (5). debit banjir yang diperhitungkan hanya akibat dari curah hujan maksimum. Tidak diperhitungkan pengaruh besarnya sedimentasi, penambahan limbah kota, dan perkembangan kota terhadap besarnya banjir yang terjadi; (6). tidak memperhitungkan pengaruh pasang surut air laut.

Hidrologi merupakan ilmu yang menjelaskan mengenai kehadiran dan gerakan air pada permukaan bumi, yang meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan – perubahannya antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah (CD. Soemarto, 1995).

Karena analisis hidrologi termasuk dalam analisis awal, maka hasilnya akan mempengaruhi analisis selanjutnya, sehingga harus dilakukan dengan benar. Untuk mendapatkan hasil analisis curah hujan maksimum, koefisien debit, waktu konsentrasi, intensitas curah hujan dan limpasan permukaan harus melalui proses analisis hidrologi berupa pengolahan data curah hujan, data infiltrasi, data kemiringan lahan, dan data penggunaan lahan. Pada penelitian pengendalian banjir di Sungai Comoro ini diperlukan sejumlah analisis hidrologi, antara lain: (a). proses menganalisis data curah hujan (b). proses menganalisis curah hujan rancangan; (c). proses menganalisis debit banjir rancangan.

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu. Untuk menaksir banjir rancangan digunakan hidrograf-hidrograf sintetis yang telah dikembangkan di Negara-negara lain, dimana parameter-parameter disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik DAS yang ditinjau. Adapun parameter DAS meliputi : (a). Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*); (b). lebar dasar sungai; (c). luas DAS; (d). panjang alur sungai terpanjang; (e). Koefisien pengaliran (Soemarto, 1999:164). Pada kajian ini debit banjir dihitung dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu, hidrograf satuan sintetis Snyder dan hidrograf satuan sintetis Limantara dilakukan guna mengetahui terjadinya luapan di titik tertentu pada suatu alur sungai atau dapat juga untuk mengetahui hambatan apa saja yang ada di alur sungai.

Aplikasi yang digunakan dalam menganalisa profil aliran adalah HEC-RAS. Aplikasi ini dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang memodelkan *River Analysis System* (RAS). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi, yaitu: (1). Simulasi perhitungan aliran tetap (*Steady Flow*); (2). Simulasi perhitungan aliran tidak tetap (*Unsteady Flow*); (3). Simulasi transport sedimen (*Sediment Transport*); (4). Simulasi kualitas air (*Water Quality*)

Keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. Dalam studi ini, menggunakan simulasi 1 (satu) dimensi dengan perhitungan aliran tidak tetap (*unsteady flow*) untuk melihat luapan air di *cross section* tiap patok.

Pengendalian banjir dilakukan dengan melakukan pendekatan kepada tiga komponen yaitu debit banjir (Q) dalam satuan m^3/det , kecepatan aliran banjir (V) dalam satuan m/det dan dimensi atau luas penampang sungai (A) dalam satuan m . Kegiatan pengendalian banjir pada dasarnya merupakan kegiatan yang meliputi menghitung besarnya debit banjir, mengidentifikasi daerah genangan banjir dan mengurangi tinggi elevasi air banjir. Kegiatan pengendalian banjir dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) berdasarkan lokasinya, yaitu: (a). bagian hulu : membangun dam pengendali banjir yang dapat memperlambat waktu tiba banjir dan menurunkan besarnya debit banjir, pembuatan waduk lapangan yang dapat merubah pola hidrograf banjir dan penghijauan di Daerah Aliran Sungai; (b). bagian hilir : yaitu dengan melakukan perbaikan alur sungai dan tanggul, sudetan pada alur yang kritis, pembuatan alur pengendali banjir atau *floodway*, pemanfaatan daerah genangan untuk *retarding basin* dsb.

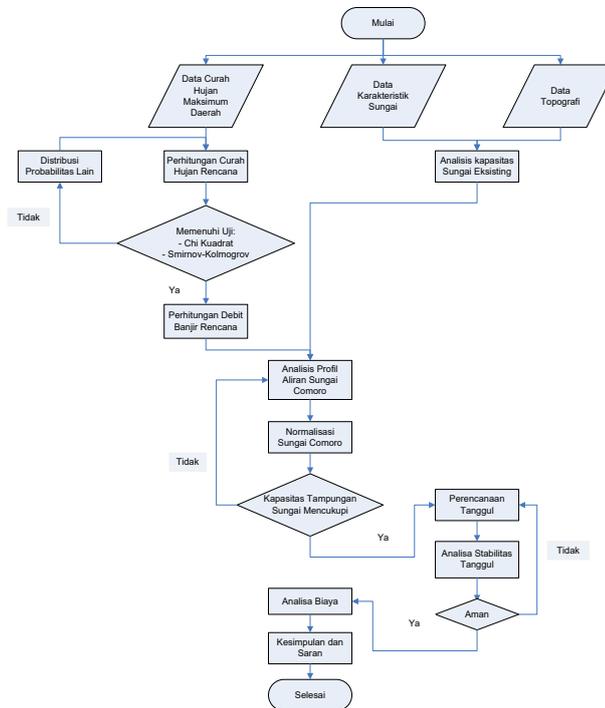
Ada beberapa metode untuk menganalisis manfaat dan biaya suatu proyek adalah sebagai berikut: (1).metode Payback Period (PP): metode ini mencoba mengukur seberapa cepat investasi bisa kembali. Karena itu satuan hasilnya bukan persentase. Tetapi satuan waktu (bulan, tahun, dan sebagainya). Karena model ini mengukur seberapa cepat suatu investasi bisa kembali, maka dasar yang dipergunakan adalah aliran kas (*cash flow*); (2). metode Net Present Value (NPV): metode ini menghitung selisih antara nilai sekarang inventasi dengan nilai sekarang penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang untuk mengitung nilai sekarang tersebut perlu ditentukan terlebih dahulu tingkat bunga yang dianggap relevan pada perhitungan ini tingkat bunga yang dipakai adalah 14% (diambil dari rata-rata tingkat bunga bank). NPV merupakan net benefit yang telah didiskon dengan menggunakan social opportunity cost of capital sebagai diskon faktor; (3). metode Tingkat Pengembalian Internal / Internal Rate of Return (IRR), metode ini mencari tingkat bunga yang menjadikan jumlah sekarang dari tiap-tiap proses yang di diskontokan dengan tingkat bunga tersebut sama besarnya dengan nilai sekarang dari nilai proyek.

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian didesain untuk mengatur langkah penelitian yang paling memungkinkan untuk dapat menetapkan variabel yang berpengaruh atau untuk menentukan urutan penelitian. Rancangan penelitian mengacu pada hipotesis yang diuji.

Daerah studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah DAS Sungai Comoro. Luas DAS Comoro dengan titik outlet di Loja Agricultura sebesar 195.61 km^2 dengan panjang total sungai mencapai 8,43 km. Sesuai dengan batasan masalah dalam studi ini, dalam hal alternatif pengendalian banjir dilakukan pada Posto Dom Aileixo, District Dili. Sungai Comoro sendiri mengalir mulai dari Railaco - Ermera hingga ke pertemuan dengan Sungai Aileu. Dalam melakukan studi ini, dilengkapi oleh alat dan bahan sebagai berikut: (a). *Total Station*; (b). Komputer/ Laptop; (c).

Software Microsoft Office (Word dan Excel); (d). Software ArcGIS 10.3, ArcSWAT dan HecGeoRAS; (e).Software HEC-RAS 6.1.0.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian
Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2022.

Data - data yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut: (1). Data Primer: merupakan data Tinggi Muka Air (TMA) yang diperoleh dari informasi langsung dari masyarakat di sekitar objek studi. Data ini dianggap sebagai batas tertinggi air di Sungai Comoro; (2). Data Sekunder: (a). Data Topografi yaitu Digital Elevation Model (DEM) yang bersumber dari Global Mapper; (b). Data Debit Tahunan: karena keterbatasan data debit dari ANAS IP dan DNMG, maka data ini tidak dikalibrasi; (c). Data Curah Hujan: data curah hujan harian Stasiun Railaco - Ermera, Stasiun Manleuana - Dili dan Stasiun Remexio - Aileu bersumber dari ANAS IP dan DNMG Peta; (d). Peta Administrasi dan Penggunaan Lahan District Dili sumber data dari Ministry of Agriculture – Timor Leste; (e). Data Pengukuran Sungai Comoro.

Data potongan memanjang dan melintang Sungai Comoro yang nantinya akan digunakan sebagai *input model* HEC-RAS yang bersumber dari Global Mapper. Studi ini difokuskan pada penanganan atau alternatif pengendalian banjir yang ada di Sungai Comoro dengan beberapa cara pengendalian dan seberapa efektif dalam mereduksi genangan yang terjadi di hilir Sungai Comoro.

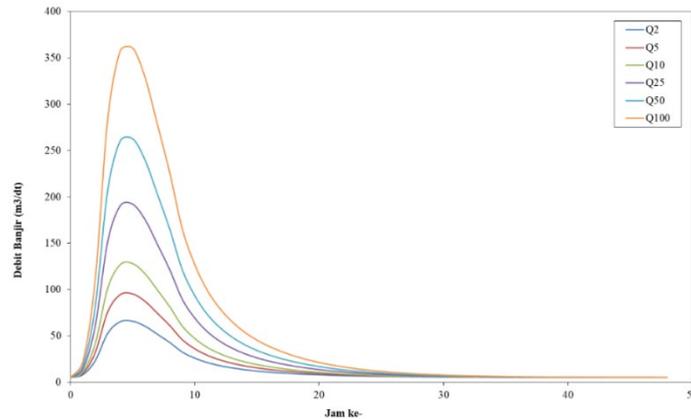
Tabel 1. Metode yang Digunakan untuk Analisa Perhitungan

No	Parameter	Analisa	Metode	Data Pendukung
1.	Deleniasi DAS	<ul style="list-style-type: none"> - Pembuatan batas DAS - Poligon Thiessen 	ArcGIS 10.3 dan ArcSWAT	<ul style="list-style-type: none"> -Global Mapper -Koordinat Stasiun Hujan
2.	Curah hujan dan debit rancangan Sungai Comoro	<ul style="list-style-type: none"> - Curah hujan dan debit rancangan - Uji kesesuaian distribusi frekuensi 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Log Pearson Type III</i> - <i>HSS Nakayasu</i> - <i>HSS Snyder</i> - <i>HSS Limantara</i> - <i>Chi Square</i> - <i>Smirnov Kolmogorov</i> 	Data hujan harian dari Tahun 2012 - 2021
3.	Hidrolika Aliran	<ul style="list-style-type: none"> - Profil aliran - Sebaran genangan 	Program HEC-RAS 6.1.0	<ul style="list-style-type: none"> -Debit Banjir -Global Mapper -Data Pengukuran
4.	Sebaran Genangan Banjir terhadap penggunaan lahan dan administrasi	<ul style="list-style-type: none"> - Peta sebaran genangan 	ArcGIS 10.3	<ul style="list-style-type: none"> -Sebaran Kedalaman Banjir hasil Analisa HEC-RAS -Peta Administrasi dan Penggunaan Lahan

Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2022

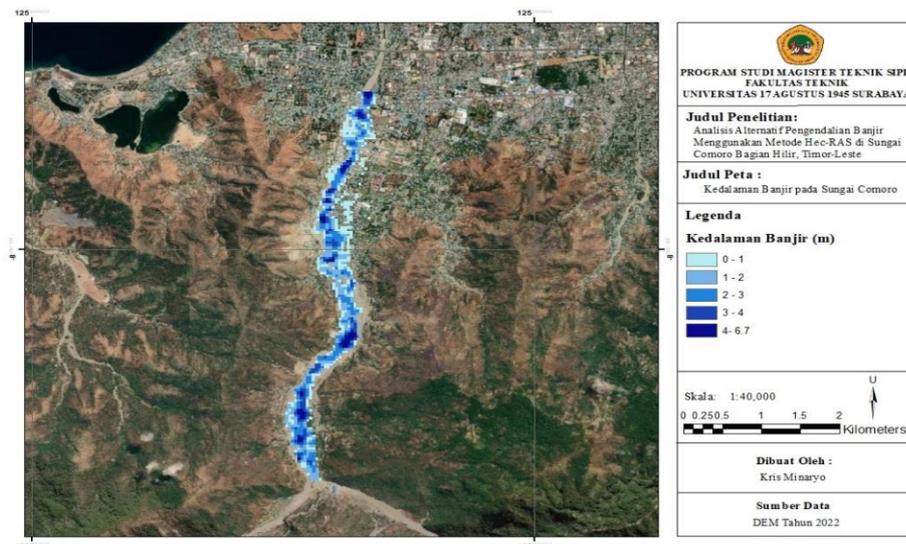
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Debit banjir rancangan yang digunakan dalam studi ini adalah debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintesis (HSS) Nakayasu. Adapun debit puncak kala ulang 25 tahun sebesar 192.141 m³/dt. Debit puncak terjadi saat hujan jam ke-5 dimana akan ditampilkan pada grafik rekap komputasi unit hidrograf seperti dibawah ini.



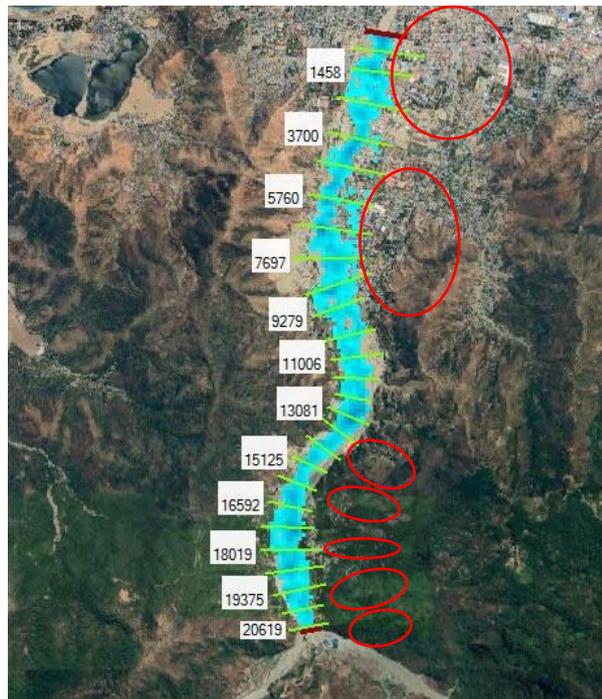
Gambar 3. Hidrograf Banjir Rancangan pada DAS Comoro
 Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2022

Kemudian data debit banjir rancangan digunakan untuk analisis hidrolika menggunakan program HEC-RAS 6.0.1. Saat dilakukan running HEC-RAS menggunakan 2D pada terrain map terlihat terjadi limpasan air di beberapa patok. Pada Gambar 4 berikut ini terlihat bahwa terdapat beberapa patok sungai yang melimpas, sehingga membutuhkan penanggulangan guna mencegah terjadinya banjir. Adapun penanggulangan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah pembangunan tanggul tanah pada sisi kanan dan kiri sungai. Sehingga tanggul tersebut dapat menahan laju debit banjir sungai. Lebar mercu tanggul didasarkan pada besarnya debit banjir rencana. Tinggi jagaan tanggul juga didasarkan pada besarnya debit banjir rencana. Pada studi ini debit banjir rencana Q25th adalah 192.141 m³/dt, sehingga menurut Suyono Sosrodarsono tinggi jagaan yang direncanakan adalah 0.6 m dengan lebar mercu tanggul 3 m.



Gambar 4. Peta Genangan Banjir pada Sungai Comoro
 Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2022

Adapun lokasi tanggul yang direncanakan dalam studi ini adalah terletak pada patok 20619 sepanjang 180.9 m, patok 19375 sepanjang 204.4 m, patok 18019 sepanjang 224.9 m, patok 16592 sepanjang 228.2 m, patok 14440 sepanjang 225.9 m, patok 9279 sepanjang 219.5 m, patok 8559 sepanjang 262.7 m, patok 7697 sepanjang 297.6 m, patok 2515 sepanjang 322.3 m, dan patok 1458 sepanjang 205.5 m. Sehingga total panjang tanggul pada Sungai Comoro kurang lebih 2371.9 m atau 2.371 km yang terbentang dari hulu hingga hilir.



Gambar 5. Lokasi Pembangunan Tanggul dan Normalisasi
Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2022

Setelah merencanakan pembangunan tanggul dan normalisasi pada sungai, maka selanjutnya akan dilakukan running dengan program HEC-RAS 6.0.1. Hal ini untuk meninjau pengaruh bangunan tanggul dan normalisasi sungai. Sungai akan tetap dirunning menggunakan debit kala ulang 25 tahun. Melalui analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa dengan adanya pembangunan tanggul dan normalisasi sungai sudah cukup mengatasi banjir dengan kala ulang 25 tahun yang bisa terjadi pada Sungai Comoro. Sehingga perencanaan dimensi tanggul dan normalisasi dapat dikatakan aman terhadap banjir yang akan datang (tidak melimpas).

Adapun besar harapan bahwa masyarakat sekitar Sungai Comoro yang terdampak banjir bisa menjaga kelestarian bangunan agar umur bangunan bisa lama dan banjir dapat tertanggulangi secara menyeluruh. Selanjutnya akan dihitung untuk stabilitas tanggul yang ada pada beberapa *cross section* Sungai Comoro pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Perhitungan FS

FS Ruas Kiri	Irisan No	C	Φ	Wn (kN/m)	α (°)	Sin α	Cos α	bn	tan Φ	Wn. Sin α	Wn. tan Φ	c.bn	Fs Ruas Kanan	m α n	(c.bn + Wn.tan Φ)*1 /m α n
7.55	1	10	10	6.82	42.00	0.67	0.74	2.10	0.18	4.56	1.20	21	7.55	0.76	29.26
	2	10	10	11.28	34.00	0.56	0.83	2.00	0.18	6.31	1.99	20	7.55	0.84	26.11
	3	10	10	11.80	23.00	0.39	0.92	2.10	0.18	4.61	2.08	21	7.55	0.93	24.83
	4	10	10	9.79	14.00	0.24	0.97	2.00	0.18	2.37	1.73	20	7.55	0.98	22.26
	5	10	10	6.24	6.00	0.10	0.99	1.90	0.18	0.65	1.10	19	7.55	1.00	20.16
	6	10	10	1.95	1.00	0.02	1.00	1.70	0.18	0.03	0.34	17	7.55	1.00	17.34
Jumlah										18.53					139.96

Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2022

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diatas, dapat diketahui bahwa FS yang ada pada tanggul Sungai Comoro sebesar 7.55, yang mana angka tersebut dikatakan aman, sebab melebihi batas FS 1.5. Sehingga tanggul yang dibangun dikatakan aman.

Berdasarkan analisis perhitungan biaya yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa total biaya yang diperlukan untuk pembangunan tanggul dan normalisasi Sungai Comoro adalah sebesar 571,366.87\$ USD.

KESIMPULAN

Melalui hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan HEC-RAS 6.1.0, debit banjir yang terjadi pada Sungai Comoro adalah debit banjir dengan kala ulang 25 tahun dengan debit puncak sebesar 192.141 m³/dt. Dipilihnya kala ulang 25 tahun adalah hasil pengukuran dari ANAS IP (Autoridade Nacional de Agua e Saneamento, Instituto Publico) pada saat banjir yang terjadi 21 Februari 2022 dengan tinggi limpasan sebesar 20 – 40 cm atau sesuai dengan simulasi HEC-RAS untuk kala ulang 25 tahun.
2. Adapun penanggulangan banjir yang diusulkan yaitu dengan pembangunan tanggul dan normalisasi sungai. Pembangunan tanggul serta normalisasi dilakukan pada beberapa cross section sungai terutama cross section yang mengalami banjir. Berdasarkan hasil analisis banjir menggunakan HEC-RAS, tanggul serta normalisasi sungai sudah cukup mengatasi banjir yang terjadi. Adapun FS stabilitas tanggul sebesar 7.55.
3. Biaya yang diperlukan untuk pembangunan tanggul dan normalisasi Sungai Comoro adalah sebesar 571,366.87\$ USD.

Saran

Adapun saran yang dapat dijadikan bahan tinjauan selanjutnya adalah:

1. Untuk studi berikutnya dapat menganalisis dampak lingkungan atau AMDAL.
2. Perlu adanya pertimbangan pengaruh sedimen sungai, penambahan limbah kota dan perkembangan kota guna mendukung keakuratan perhitungan analisis.

3. Perlu adanya data pasang surut, sehingga dapat diketahui pengaruh pasang surut terhadap kondisi banjir yang terjadi.
4. Alternatif penanganan jangka panjang yang perlu dipertimbangkan adalah dengan konservasi vegetatif//penghijauan/reboisasi di daerah hulu. Sedangkan alternatif penanganan jangka pendek adalah dengan bangunan teknis seperti pembangunan cekdam pada daerah hulu untuk mengurangi erosi, sedimentasi dan limpasan. Selain itu, usaha konservasi DAS juga melibatkan masyarakat setempat, kemudian pemerintah dan juga stake holder (para pengguna air), untuk bersinergi sehingga usaha konservasi tersebut dapat berjalan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chow, V. T. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Bandung : Erlangga.
- Firmansyah, Adi A.Y: Widodo, A.P: Sukmaji, A. 2013. *Rancang Bangun Aplikasi Rencana Anggaran Biaya Dalam Pembangunan Rumah*. Jurnal Sistem Informasi VOL. 11, NO. 2, 2013. Surabaya : STIKOM.
- Harto Br, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hydrologic Engineering Center. 2016. *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 5.0, February 2016*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Kamiana, I. M. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kodoatie, R.J. dan Sugiyanto. 2002. *Banjir, Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Montarcih, L. 2009. *Hidrologi Teknik Terapan*. Malang: CV. Asrori.
- Nemec, J. 1973. *Engineering Hydrology*. New Delhi: McGraw Hill Book Company.
- Raju, R. 1986. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono dan K. Takeda. 1976. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono dan M. Tominaga. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Subarkah, Iman. 1980. *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung : Idea Dharma.
- Sulistiono. 2014. *Simulasi Operasi Waduk Lamong Untuk Kepentingan Air Baku dan Irigasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Andi.
- Suripin. 2003. *Sistem Drainase Kota Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Triatmojo, Bambang. 2010. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset

