

STUDI KELAYAKAN BANGUNAN PENANGGULANGAN BANJIR DI SUNGAI MUJUR DESA TEMPEH TENGAH KECAMATAN TEMPEH KABUPATEN LUMAJANG

Septyan Cahya Tri Admaja¹⁾, Prima Hadi Wicaksono²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Sarjana Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²⁾Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya-Malang, Jawa Timur, Indonesia
Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
e-mail: septyanadmaja@gmail.com

ABSTRAK: Gunung Semeru merupakan salah satu gunung api paling aktif di Indonesia yang terletak di antara wilayah administrasi Kabupaten Malang dan Lumajang. Produk letusan utama dari Gunung Semeru adalah lontaran material pijar, guguran awan panas dan lahar di musim hujan masuk ke sungai-sungai yang berhulu di Gunung Semeru diantaranya adalah Sungai Mujur. Daerah Aliran Sungai Mujur memiliki luas DAS 208,31 km². Kondisi dinding penahan (*revetment*) di Sungai Mujur Desa Tempeh Tengah, Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang kapasitas dan kualitasnya sudah banyak berkurang seperti di hulu Dam Soponyono tanggul sisi kiri jebol. Upaya penanggulangan banjir direncanakan dengan menggunakan dinding penahan/*revetment*. Analisa profil aliran dilakukan dengan menggunakan *software* HEC-RAS 4.1.0, sedangkan untuk analisa stabilitas lereng *revetment* menggunakan Metode *Fellenius*. Perencanaan pengendali banjir Sungai Mujur menggunakan debit banjir rancangan Q25 th yaitu sebesar 192,98 m³/dt. Pada kondisi *eksisting* ditemukan 3 patok *cross section* yang meluber. Hasil analisa perencanaan bangunan *revetment* didapat II alternatif perencanaan. Alternatif I dengan tinggi *revetment* 3,7 m di hulu Dam Soponyono dan 4,6 m di hilir Dam Soponyono dengan kondisi penampang sungai asli. Untuk Alternatif II dengan tinggi *revetment* 3,2 m di hulu Dam Soponyono dan 4,6 m di hilir Dam Soponyono dengan dilakukan normalisasi pada penampang sungai.

Kata kunci: Banjir, HEC-RAS, stabilitas, dinding penahan, *revetment*

ABSTRACT: Mount Semeru is one of the most active volcanoes in Indonesia, located between the administrative areas of Malang and Lumajang Regencies. The main eruption product from Mount Semeru is a burst of incandescent material, hot clouds and lava in the rainy season into the rivers that headed at Mount Semeru include the Mujur River. Mujur watershed has an area of 208.31 km². The condition of retaining wall in Mujur River of Tempeh Tengah Village, Tempeh Sub-district of Lumajang Regency, its capacity and its quality have decreased as much as in the upstream Dam Damonyono dam. Efforts to control floods are planned using retaining walls. Flow profile analysis was performed using HEC-RAS 4.1.0 software, while for stability analysis of *revetment* slope using *Fellenius* Method. Planning for flood control of the Mujur River uses a flood discharge of Q25th design which is 192.98 m³/sec. In the existing conditions found 3 cross section stakes that overflow. The results of the analysis of the planning of the *revetment* building obtained II alternative planning. Alternative I with a 3.7 m high *revetment* upstream of Soponyono Dam and 4.6 m downstream of Soponyono Dam with the original river cross section. For Alternative II with high *revetment* 3.2 m upstream of Soponyono Dam and 4.6 m at downstream of Soponyono Dam by normalization at river cross section.

Key words: Flood, HEC-RAS, stability, retaining wall, *revetment*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gunung Semeru merupakan salah satu gunung api paling aktif di Indonesia yang terletak di antara wilayah administrasi Kabu-

paten Malang dan Lumajang pada posisi geografis antara 8°06' LS dan 120°55' BT dengan tinggi puncaknya (Mahameru) 3.676 m di atas permukaan laut (dpl). Produk letusan utama dari Gunung Semeru adalah lontaran

material pijar, guguran awan panas dan lahar di musim hujan masuk ke sungai-sungai yang berhulu di Gunung Semeru diantaranya adalah Sungai Mujur.

Kondisi dinding penahan (*revetment*) di Sungai Mujur Desa Tempeh Tengah, Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang kapasitas dan kualitasnya sudah banyak berkurang seperti di hulu Dam Soponyono tanggul sisi kiri jebol. Pada Dam Soponyono ini terdapat pengambilan air untuk irigasi, sehingga perbaikan tanggul ini benar-benar dibutuhkan karena bila dibiarkan terus menerus akan mengakibatkan sayap dan Dam Soponyono akan menjadi rusak dan mengakibatkan Dam Soponyono tidak bisa mengairi sawah. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan studi pengendalian banjir akibat lahar dingin di Sungai Mujur untuk merencanakan penanganan yang sesuai dengan kondisi.

Pada setiap musim penghujan terjadi luapan Sungai Mujur sehingga menggenangi persawahan di Desa Tempeh Tengah. Salah satu banjir yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar terjadi pada bulan Februari tahun 2016 yang mengakibatkan lahan sawah.

Sehubungan dengan kondisi tersebut diatas, maka dalam perencanaan bangunan penanggulangan banjir diperlukan analisa dari segi teknis dan segi ekonomi. yang bertujuan untuk menentukan apakah studi kelayakan yang akan direncanakan layak untuk dibangun atau tidak.

Identifikasi Masalah

Dilihat dari kondisi sungai yang berhulu di Gunung Semeru yaitu sepanjang tahun dialiri dan menampung material sedimen lahar Gunung Semeru dapat disimpulkan bahaya dari material yang dibawa oleh aliran sungai jika terjadi hujan lebat karena material lahar Gunung Semeru berupa batu-batu besar, kerikil dan pasir. Material yang dibawa aliran sungai jika tidak ditangani dengan baik maka akan merusak lahan pertanian dan bangunan persungai seperti Dam Soponyono di Sungai Mujur. Berdasarkan kondisi di lapangan banyak terjadi kerusakan beberapa bangunan di Sungai Mujur, seperti kerusakan tanggul dan perkuatan tebing di Desa Tempeh Tengah Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang.

Pada studi ini akan dibahas kelayakan pembangunan bangunan yang berfungsi sebagai penanggulangan banjir di Sungai Mujur yang berfungsi untuk melindungi Dam Soponyono agar tidak terjadi kerusakan yang diakibatkan oleh banjir lahar dingin Gunung Semeru.

Batasan Masalah

Suatu perencanaan yang baik dan terarah merupakan tujuan dalam setiap studi, maka diperlukan pembatasan parameter data yang jelas sesuai dengan latar belakang dan identifikasi masalah. Batasan masalah pada studi ini sebagai berikut:

1. Daerah studi terletak di bagian hulu Dam Soponyono sepanjang 1250 meter (Patok 1-26) aliran Sungai Mujur Desa Tempeh Tengah Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang.
2. Bangunan penanggulangan banjir yang direncanakan berupa perkuatan tebing (*revetment*) di bagian hulu Dam Soponyono sepanjang 1250 meter (Patok 1-26) Kecamatan Tempeh Tengah Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang.
3. Analisa harga rencana anggaran biaya (RAB) berdasarkan alternatif I bangunan *revetment* + perbaikan tanggul yang jebol dan alternatif II *revetment* dengan normalisasi + perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi di Sungai Mujur.
4. Tidak membahas AMDAL.
5. Tidak membahas bangunan persungai lain.
6. Tidak membahas analisa ekonomi.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dibuat untuk menentukan objek kajian dalam laporan studi perencanaan. Rumusan masalah dalam studi laporan ini sebagai berikut :

1. Berapa besar debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun (Q_{25}) untuk perencanaan bangunan penanggulangan banjir di Sungai Mujur?
2. Bagaimana perencanaan bangunan berdasarkan alternatif I bangunan *revetment* + perbaikan tanggul yang jebol dan alternatif II *revetment* dengan normalisasi +

- perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi di Sungai Mujur?
3. Berapa besar harga rencana anggaran biaya (RAB) berdasarkan alternatif I bangunan *revetment* + perbaikan tanggul yang jebol dan alternatif II *revetment* dengan normalisasi + perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi di Sungai Mujur?

Tujuan

- Tujuan laporan studi ini sebagai berikut :
1. Menentukan besar debit rancangan kala ulang 25 tahun (Q_{25}).
 2. Menentukan tinggi *revetment* untuk dibangun berdasarkan alternatif perencanaan.
 3. Mengetahui berapa besar rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk membangun bangunan dinding penahan tebing (*revetment*).

Manfaat

Manfaat dari studi ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa kelayakan pembangunan bangunan penanggulangan banjir di Sungai Mujur. Sehingga bangunan penanggulangan banjir ini dapat memberikan keamanan dan mencegah bahaya banjir yang merugikan masyarakat sekitar Sungai Mujur. Selain itu memberikan perlindungan terhadap bangunan persungai lain di Sungai Mujur seperti Dam Sponyono.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisa Hidrologi

Pada studi ini dilakukan metode analisa Distribusi Log Pearson Type III. Merupakan distribusi yang fleksibel dengan kepercengan dari negatif sampai positif. Penerapan log adalah untuk mereduksi kepercengan yang terlalu positif.

Untuk menghitung nilai tengah logaritma dengan rumus (Soewarno, 1995, p.142):

$$\overline{\text{Log}x} = \frac{\sum \text{Log}x_i}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk menghitung nilai standar deviasinya dengan rumus:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk menghitung nilai koefisien kepercengan dengan rumus:

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log}x_i - \overline{\text{Log}x})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \dots\dots\dots (3)$$

Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log}R_t = \text{Log}x + G.S_i \dots\dots\dots (4)$$

Uji Kesesuaian Distribusi

a. Uji Chi Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno, 1995, p.194).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

χ^2 = parameter chi-kuadrat terhitung

G = jumlah sub – kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub ke-lompok ke i

Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak harus menggunakan suatu fungsi distribusi tertentu (Soewarno, 1995, p.198).

Distribusi dianggap sesuai bila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, dengan:

Δ_{maks} = simpangan maksimum dari data

Δ_{cr} = simpangan yang diperoleh tabel Smirnov- Kolmogorov.

Debit Banjir Rencana

Pada kajian ini debit banjir dihitung dengan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Nakayasu membagi bentuk bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu sebuah lengkung naik dan lengkung turun. (Soemarto, 1986, p.168)

Pada bagian lengkung naik:

$$Q_a = Q_p \left[\frac{t}{Tp} \right]^{2.4} \dots\dots\dots (6)$$

Pada bagian lengkung turun (*dicreasing limb*):

$$1. \text{ Untuk } Q_d > 0,3 \frac{t-T_p}{T_{0,3}} Q_p \dots\dots\dots (7)$$

$$2. \text{ Untuk } 0,3Q_p > Q_d > 0,3^2 Q_p \dots\dots\dots (8)$$

$$3. \text{ Untuk } 0,3^2 Q_p > Q_d \dots\dots\dots (9)$$

Analisa Hidrolika

Teori umum Perhitungan Program HEC-RAS yang digunakan untuk melakukan perhitungan profil aliran sungai satu dimensi, baik aliran tetap (*steady flow*) maupun aliran tak tetap (*unsteady flow*).

Persamaan energi digunakan sebagai dasar perhitungan untuk aliran *steady* dalam saluran terbuka (Chow, 1997, p.36):

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + h_e \dots\dots (10)$$

dengan:

- g = percepatan gravitasi (m/dt^2)
- h_e = kehilangan tinggi energi (m)
- U = kecepatan rerata (m/dt)
- α = koefisien distribusi kecepatan
- Z = ketinggian air dari datum (m)
- y = kedalaman air (m)

Kehilangan tinggi energi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \left[\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} \right] \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

- L = Panjang penampang (m)
- S_f = Kemiringan garis energi (*friction slope*)
- K = Pengangkutan aliran tiap sub bagian
- Q = Debit air (m^3/dt)
- C = Koefisien akibat kehilangan tinggi kontraksi dan ekspansi

Kehilangan tinggi energi akibat perubahan penampang diakibatkan oleh dua kejadian, yaitu kontraksi dan ekspansi. Kontraksi dan ekspansi terjadi akibat *back water* yang disebabkan perubahan penampang atau berubah-

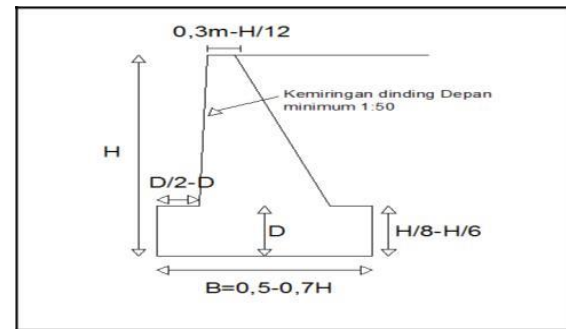
an kemiringan dasar saluran yang sangat curam sekali.

Alternatif Penanggungan

Dinding penahan adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat dimana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh kondisi lereng tanah itu sendiri (Sosrodarsono, 2002, p.279).

Pada umumnya dimensi dinding penahan ditentukan dengan cara coba-coba. Beberapa percobaan hitungan tersebut akan menghasilkan bentuk yang dianggap paling cocok dan memenuhi syarat kestabilannya.

Bentuk dinding penahan harus sedemikian hingga resultan gaya-gaya terletak pada bagian tengah sejarak sepertiga lebar atau $e < B/6$ (e = eksentrisitas dihitung dari pusat fondasi).



Gambar 1. Dinding penahan gravitasi
Sumber: Hardiyatmo (2014, p.494)

Analisa Stabilitas

a. Stabilitas Lereng Metode Fellenius

Fellenius (1927) menganggap gaya yang bekerja disisi kiri kanan sembarang irisan mempunyai resultan nol arah tegak lurus bidang longsor, keseimbangan arah vertikal adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \text{ atau}$$

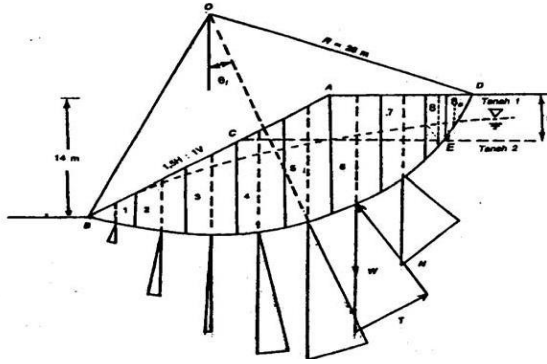
$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$$

$$= W_i \cos \theta_i - \mu_i a_i$$

$$FS = \frac{M_r}{M_d} \dots\dots\dots (14)$$

dengan:

- F = faktor keamanan
- M_d = berat massa tanah
- M_r = momen tahan geser



Gambar 2. Contoh Irisan Pada Lereng
Sumber: Hardiyatmo (2010, p.447)

b. Stabilitas Dinding Penahan

1. Stabilitas terhadap gaya geser

Akibat gaya-gaya lateral seperti tekanan tanah aktif P_a yang bekerja, maka dinding penahan tanah dapat bergeser. Gaya-gaya lateral P_a tersebut akan mendapatkan perlawanan dari tekanan tanah pasif P_p dan gaya gesek antara dasar dinding dan tanah.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum R_h} \geq 1,5 \dots\dots\dots (15)$$

dengan:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran (kN)

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gs}) bergantung pada jenis tanah, yaitu:

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

2. Stabilitas terhadap guling

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi.

Faktor aman akibat terhadap penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gl} = \sum M_w / \sum M_{gl} \dots\dots\dots (16)$$

dengan:

$\sum M_w = W b_1$

$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu:

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

3. Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah

Beberapa persamaan kapasitas daya dukung tanah telah digunakan untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah, seperti persamaan-persamaan kapasitas daya dukung Terzaghi (1943). Kapasitas dukung ultimit (Q_u) untuk fondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan:

$$q_u = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma \dots\dots\dots (17)$$

dengan:

c = kohesi tanah (kN/m²)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

B = lebar fondasi dinding penahan tanah (m)

N_c, N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi

Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Sumber Daya Air (SDA) sangat tergantung dari kebutuhan mutu yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis pekerjaan dan berbagai aspek lainnya seperti dampak lingkungan yang harus dicapai. Spesifikasi teknis kegiatan SDA telah disusun jenis-jenis bangunan air serta kerangka acuan untuk kegiatan studi.

AHSP-SDA berpedoman pada Peraturan Menteri PU No. 11/PRT/2013 tentang Pedoman Analisa Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Peraturan Menteri ini menggunakan berbagai referensi yang diacu diantaranya beberapa pedoman AHSP di SDA, SNI-ABK, analisis upah dan bahan BOW (*Burgerlijke Openbare Werken*), panduan harga satuan pekerjaan Bappenas, dan pengalaman pelaksanaan pekerjaan di lapangan baik yang secara manual ataupun dengan penggunaan peralatan mekanis.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Daerah Studi

DAS Mujur terletak pada 08°01'28" sampai dengan 08°16'52" LS dan 112°53'43" sampai dengan 113°11'00" BT atau di sebelah timur DAS Rejali dengan luas DAS 208,32 km². Lokasi pekerjaan bangunan *Revetment* di Desa Tempeh Tengah Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang.

Data yang Diperlukan

Dalam penyusunan studi ini diperlukan data-data yang mendukung baik itu data primer maupun data sekunder. Secara umum data yang diperlukan dalam studi ini adalah:

1. Data curah hujan data topografi dan Luas DAS digunakan untuk menganalisa debit banjir rancangan.
2. Data karakteristik sungai yang digunakan untuk menganalisa pengaliran debit di Sungai Mujur dengan menggunakan HEC-RAS 4.1.0

Sistematika Pengerjaan Studi

Secara garis besar tahapan penyelesaian studi ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung data curah debit banjir rancangan dengan menggunakan analisa frekuensi dengan distribusi Log Pearson III.
- b. *Input* data debit rancangan, data *cross section*, data *long* sungai pada program HEC-RAS 4.1.0.
- c. Menganalisa profil aliran sungai dengan program HEC-RAS 4.1.0, sehingga dapat diketahui kapasitas tampungan sungai dan tempat terjadinya luapan banjir.
- d. Menganalisa bangunan pengendalian banjir sesuai dengan kondisi daerah yang banjir.
- e. Menganalisa stabilitas dinding penahan/*revetment*.
- f. Menghitung harga satuan pekerjaan dan menghitung harga *revetment*.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

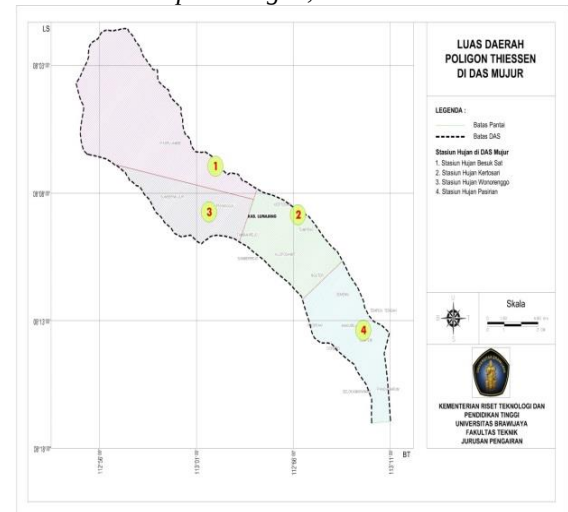
Analisa Hidrologi

Curah hujan rata-rata daerah menggunakan Metode Poligon Thiesen didapatkan nilai rata-rata timbang:

Tabel 1. Stasiun Hujan di DAS Mujur

No.	St. Hujan	Luas Pengaruh (km ²)
1	Besuk Sat	90,02
2	Kertosari	40,75
3	Wonorenggo	41,72
4	Pasirian	35,82
Luas Total		208,31

Sumber: Hasil perhitungan, 2018



Gambar 3. Peta lokasi stasiun hujan di DAS Mujur

Sumber: Hasil analisa, 2018

Sedangkan curah hujan rancangan distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Distribusi Log Pearson Tipe III

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)	Log R	Log R - Log R rerata	(Log R - Log R rerata) ²
1	2016	42,82	3,757	-0,548	0,301
2	2015	51,84	3,948	-0,357	0,128
3	2007	61,83	4,124	-0,181	0,033
4	2011	65,28	4,179	-0,127	0,016
5	2008	70,00	4,248	-0,057	0,003
6	2012	70,50	4,256	-0,050	0,002
7	2013	75,14	4,319	0,014	0,000
8	2014	88,29	4,481	0,175	0,031
9	2010	115,83	4,752	0,447	0,200
10	2009	146,74	4,989	0,683	0,467
Jumlah		788,27			1,180
Rerata		78,83	4,305		
Standar Deviasi (Sd)			0,36	Cs	0,571

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Tabel 3. Uji Chi-Square Mencari Batas Kelas

Pr (%)	Tr (tahun)	Sd	K	Hujan Rancangan (mm)
80	1,25	0,157	-0,857	54,3
60	1,67	0,157	-0,349	65,3
40	2,50	0,157	0,205	79,8
20	5,00	0,157	0,802	99,1

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Tabel 4. Hasil Uji Chi-Square

No.	Batas Kelas	Jumlah Data		Ef - Of	(Ef - Of) ²
		Ef	Of		
1	0 - 54.3	2,0	2	0,0	0,0
2	54.4 - 65.3	2,0	2	0,0	0,0
3	65.4 - 79.8	2,0	3	1,0	1,0
4	79.8 - 99.1	2,0	1	1,0	1,0
5	99.2 - ~	2,0	2	0,0	0,0
Jumlah		10	10		2

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Kesimpulan:

- Dari tabel Chi Square dengan $\alpha = 5\%$, DK = 2 didapatkan nilai X^2 tabel = 5,991
- Dari tabel Chi Square dengan $\alpha = 1\%$ dan DK = 2 didapatkan nilai X^2 tabel = 9,210
- Untuk $\alpha = 5\%$, karena X^2 hitung (**1,00**) < X^2 tabel (**5,991**), maka hipotesa distribusi Log Pearson III dapat **diterima**.
- Untuk $\alpha = 1\%$, karena X^2 hitung (**1,00**) < X^2 tabel (**9,210**), maka hipotesa distribusi Log Pearson III dapat **diterima**.

Tabel 5. Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Gumbel

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)	Pe (x)	K	Yt	Tr	Pr	Pt (x)	D = Pe (x) - Pt (x)
1	2016	42,8	0,091	-1,156	-0,603	1,192	0,839	0,161	0,070
2	2015	51,8	0,182	-0,866	-0,328	1,333	0,750	0,250	0,068
3	2007	61,8	0,273	-0,546	-0,023	1,561	0,641	0,359	0,087
4	2011	65,3	0,364	-0,435	0,082	1,661	0,602	0,398	0,034
5	2008	70,0	0,455	-0,284	0,226	1,819	0,550	0,450	0,004
6	2012	70,5	0,545	-0,267	0,241	1,838	0,544	0,456	0,090
7	2013	75,1	0,636	-0,118	0,383	2,023	0,494	0,506	0,131
8	2014	88,3	0,727	0,304	0,784	2,728	0,367	0,633	0,094
9	2010	115,8	0,818	1,188	1,623	5,587	0,1790	0,821	0,003
10	2009	146,7	0,909	2,181	2,566	13,520	0,0740	0,926	0,017
Rerata		78,8							
Sd		31,1							
Sn		0,9496				D maks			0,131
Yn		0,4952							

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Kesimpulan:

- Dari tabel Smirnov Kolmogorof dengan $n = 10$ dan nilai $\alpha = 5\%$ didapatkan nilai $D_{kritis} = 0,409$
- Dari tabel Smirnov Kolmogorof dengan (n) = 10 dan nilai $\alpha = 1\%$ didapatkan nilai $D_{kritis} = 0,486$
- Untuk $\alpha = 5\%$, karena D_{maks} (**0,092**) < D_{kritis} (**0,409**), maka hipotesa distribusi Log Pearson III dapat **diterima**.
- Untuk $\alpha = 1\%$, karena D_{maks} (**0,092**) < D_{kritis} (**0,486**), maka hipotesa distribusi Log Pearson III dapat **diterima**.

Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu

Debit banjir rancangan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dengan berbagai kala ulang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini:

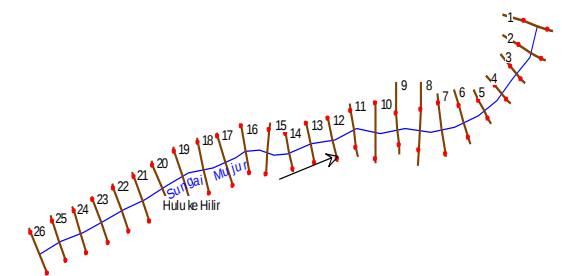
Tabel 6. Debit Banjir Rancangan

No	Kala Ulang (Tr)	Debit Puncak Banjir (m ³ /dt)
1	2	92,708
2	5	128,268
3	10	155,118
4	20	179,634
5	25	192,986
6	50	224,231

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

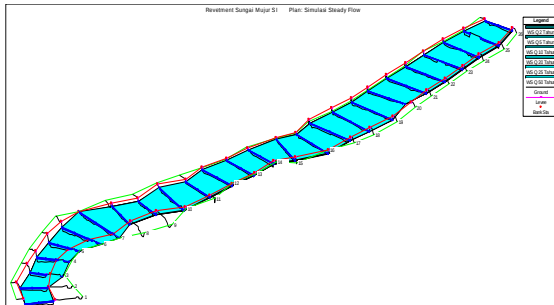
Hasil Analisa Dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0

Skema sungai merupakan data awal yang dibutuhkan sebelum data-data yang lain dimasukkan dan dilakukan proses analisa.

**Gambar 4. Skema Sungai Mujur**

Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018

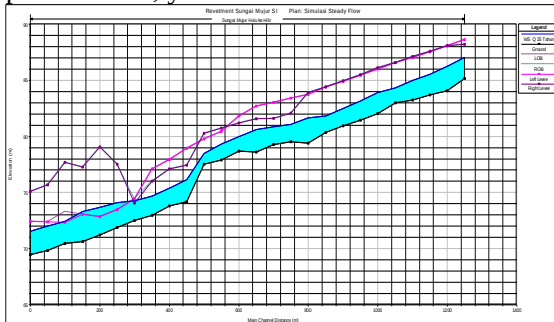
Dari hasil *running software* HEC-RAS pada patok 1 sampai dengan patok 26 dapat diketahui bahwa ketinggian muka air di Sungai Mujur cukup tinggi sehingga mengakibatkan luapan pada beberapa patok.



Gambar 5. Kondisi *eksisting* Sungai Mujur (patok 1-26)

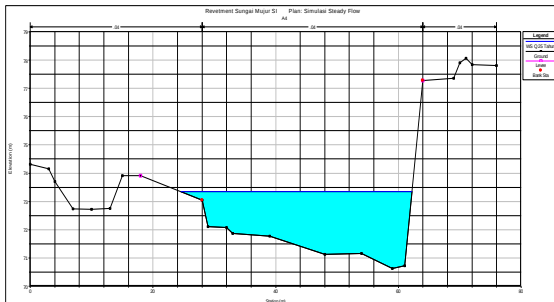
Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018

Pada studi ini direncanakan 2 alternatif perencanaan, yaitu:



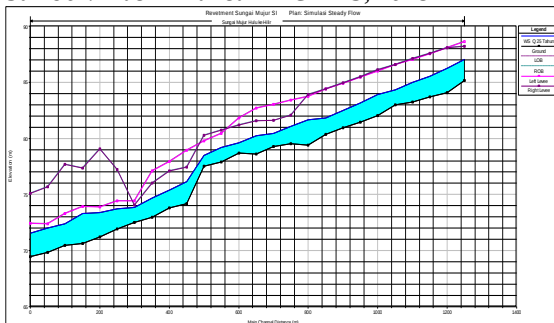
Gambar 6. Profil muka air alternatif I dengan Q_{25th}

Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018



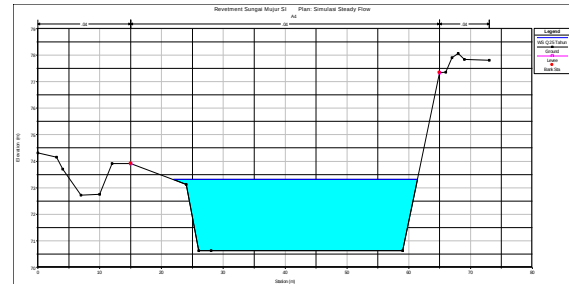
Gambar 7. Tinggi Limpasan Alternatif 1 di Patok 4 saat Q_{25Th}

Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018



Gambar 8. Profil muka air alternatif II dengan Q_{25th}

Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018



Gambar 9. Tinggi Limpasan Alternatif II di Patok 4 saat Q_{25Th}

Sumber: Hasil Analisa HEC-RAS, 2018

Upaya Penanganan

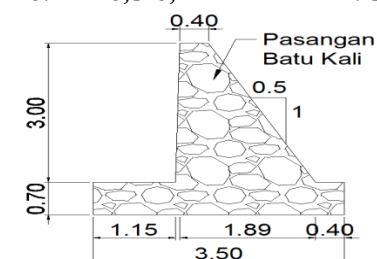
Pada studi ini direncanakan 2 alternatif perencanaan, yaitu:

1. Alternatif I perencanaan bangunan *revetment*+perbaikan tanggul yang jebol disisi sungai yang mampu menampung debit yang lewat dengan kala ulang 25 tahun.
2. Alternatif II perencanaan *revetment* dengan normalisasi+perbaikan tanggul yang jebol disisi sungai yang mampu menampung debit yang lewat dengan kala ulang 25 tahun.

Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Alternatif I di Hulu Sungai Mujur

Dasar perencanaan *revetment* pada *cross section* 12 (hulu) adalah sebagai berikut:

1. Debit Banjir $_{25th}$: 192,986 m^3/dt
2. Bahan : Pasangan Batu Kali 1:4
3. Tinggi Air : 1,40 m
4. Tinggi *revetment* : 3,7 m
5. Kemiringan *revetment* : 1:0,5
6. 0,3m-H/12 : 0,40 m
7. D/2-D : 1,15 m
8. H/8-H/6 : 0,70 m
9. D : 0,70 m
10. $B = 0,5-0,7H$: 3,50 m



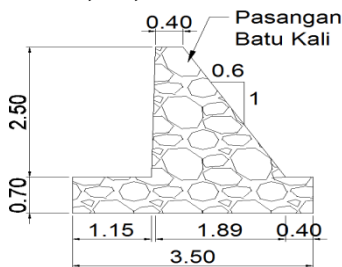
Gambar 10. Detail *revetment* alternatif I di hulu pada *cross section* A12

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Alternatif II di Hulu Sungai Mujur

Dasar perencanaan *revetment* pada *cross section* 12 (hulu) adalah sebagai berikut:

1. Debit Banjir $_{25th}$: Q_{25th}
2. Bahan : Pasangan Batu Kali 1:4
3. Tinggi Air : 1,30 m
4. Tinggi *revetment* : 3,2 m
5. Kemiringan *revetment* : 1:0,5
6. 0,3m-H/12 : 0,40 m
7. D/2-D : 1,15 m
8. H/8-H/6 : 0,70 m
9. D : 0,70 m
10. B=0,5-0,7H : 3,50 m



Gambar 11. Detail *revetment* alternatif II di hulu pada *cross section* A12

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Data Koefisien Gempa

Untuk mencari nilai koefisien gempa kala ulang 20 tahun digunakan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned}
 A_d &= Z \times A_c \times V \\
 &= 0,90 \times 0,155 \times 1,10 \\
 &= 0,15345 \text{ cm/dt}^2 \\
 K_h &= A_d/g \\
 &= 0,15345/980 = 0,000157 \\
 V &= \text{Tanah Sedang } 1,10
 \end{aligned}$$



Gambar 12. Wilayah gempa Indonesia periode ulang 10, 20, 50, 100 tahun

Sumber: Pusat Litbang Sumber Daya Air 2014

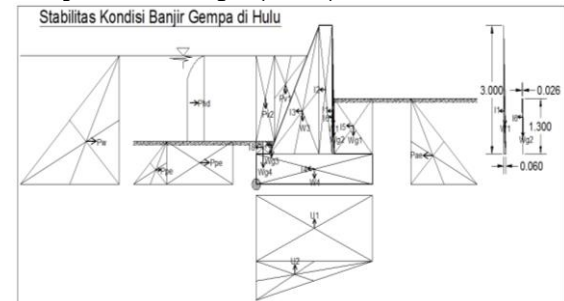
Stabilitas Perkuatan Lereng Alternatif I (*Revetment* Kondisi Sungai Asli)

Tabel 7. Data Stabilitas

No.	Keterangan	Notasi	Nilai	
			Hulu	Hilir
1	Tinggi total <i>Revetment</i> (m)	H	3,7	4,6
2	Tinggi air banjir (m)	h3	1,99	2,69
3	lebar 1 (m)	b1	1,15	1,2
4	Lebar2 (m)	b2	0,06	0,074
5	Lebar3 (m)	b3	0,4	0,4
6	Lebar 4 (m)	b4	1,49	1,976
7	Lebar5 (m)	b5	0,4	0,4
8	Lebar total dasar (m)	B	3,5	4,1
9	kedalaman pondasi (m)	D	0,7	0,4
10	Kondisi tanah aktif	Ka tanah	1,933	1,933
11	Sudut Geser Tanah	ϕ	31,3	31,3
12	Kondisi tanah pasif	Kp	1,448	1,488
13	Koefisien Gempa	Kh	0,000157	0,000157
14	Berat jenis air (t/m)	γ_w	1	1
15	Berat jenis bahan konstruksi (t/m)	γ_c	2,2	2,2
16	Berat jenis tanah submerged	γ_{sub}	0,999	0,999
17	Berat isi tanah	γ_t	1,798	1,798

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Stabilitas *Revetment* Alternatif I Kondisi Banjir dan Gempa (Hulu)



Gambar 13. Stabilitas *revetment* alternatif I kondisi banjir gempa di hulu

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

1. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}
 S_f &= M_t / M_g > 1,5 \\
 S_f &= 26,232 / 1,110 \\
 &= 23,635 > 1,5 \text{ (aman)} \\
 X &= (M_t - M_g) / V = 1,783 \text{ m} \\
 B/3 &= 3,5 / 3 = 1,167 \text{ m} \\
 2/3 \times B &= 2/3 \times 3,5 = 2,333 \text{ m} \\
 1,167 &< 1,783 < 2,333 \approx \text{aman} \\
 e &= |X - 3,5 / 2| = |1,783 - 3,5 / 2| = 0,033 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned}
 S_f &= (f \cdot V) / H \\
 &= (0,6 \cdot 14,091) / 2,618 \\
 &= 3,229 \\
 &= 3,229 > 1,5 \approx \text{aman}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Daya Dukung Ijin Tanah Pondasi Alternatif I Kondisi Banjir Gempa (hulu)

Hasil analisa daya dukung ijin tanah berdasarkan tes uji geser

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin} &= cN_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \\ \sigma_{ijin} &= (0,045 \times 41) + (1 \times 1,798 \times 24) + \\ &\quad (0,5 \times 1,798 \times 3,5 \times 26) \quad (\text{kN/m}^2) \\ \sigma_{ijin} &= 126,806 \quad (\text{kN/m}^2) \\ \sigma_{ijin} &= 12,6806 \quad (\text{ton/m}^2)\end{aligned}$$

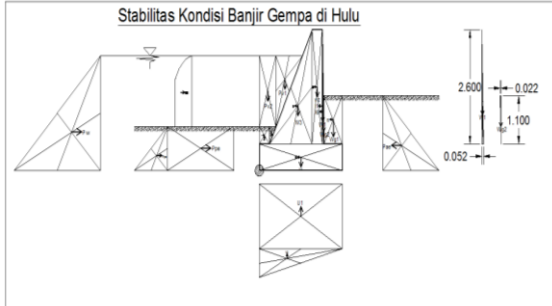
Stabilitas terhadap daya dukung tanah pondasi:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= [(V / B) \cdot \{(1 + (6 \cdot e / B))\}] \\ \sigma_2 &= [(V / B) \cdot \{(1 - (6 \cdot e / B))\}]\end{aligned}$$

Daya dukung tanah yang diizinkan di lokasi studi adalah sebesar 12,681 t/m²

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= [(26,232 / 3,5) \cdot \{(1 + (6 \times 0,033 / 3,5))\}] \\ &= 4,253 \text{ t/m}^2 < 12,681 \text{ t/m}^2 \approx \text{aman} \\ \sigma_2 &= [(26,232 / 3,5) \cdot \{(1 - (6 \times 0,033 / 3,5))\}] \\ &= 3,80 \text{ t/m}^2 < 12,681 \text{ t/m}^2 \approx \text{aman}\end{aligned}$$

Stabilitas *Revetment* Alternatif II Kondisi Banjir dan Gempa (Hulu)



Gambar 14. Stabilitas *revetment* alternatif II kondisi banjir gempa di hulu

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

1. Stabilitas terhadap guling

$$\begin{aligned}S_f &= M_t / M_g > 1,5 \\ S_f &= 11,509 / 0,275 = 41,924 > 1,5 \quad (\text{aman}) \\ X &= (M_t - M_g) / V = 1,408 \text{ m} \\ B/3 &= 2,5 / 3 = 0,833 \text{ m} \\ 2/3 \times B &= 2/3 \times 2,5 = 1,667 \text{ m} \\ 1,169 &< 0,158 < 1,667 \approx \text{aman} \\ e &= |X - 2,5 / 2| = |1,408 - 2,5 / 2| = 0,158 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Stabilitas terhadap geser

$$\begin{aligned}S_f &= (f \cdot V) / H \\ &= (0,6 \cdot 7,977) / 1,381 = 3,467 \\ &= 3,467 > 1,5 \approx \text{aman}\end{aligned}$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah pondasi

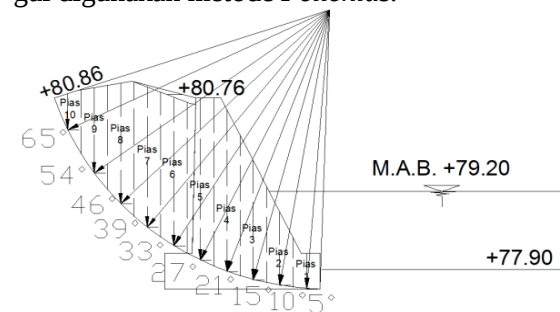
$$\begin{aligned}\sigma_1 &= [(V / B) \cdot \{(1 + (6 \cdot e / B))\}] \\ \sigma_2 &= [(V / B) \cdot \{(1 - (6 \cdot e / B))\}]\end{aligned}$$

Daya dukung tanah yang diizinkan di lokasi studi adalah sebesar 10,343 t/m²

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= [(11,509 / 2,5) \cdot \{(1 + (6 \times 0,158 / 2,5))\}] \\ &= 4,404 \text{ t/m}^2 < 10,343 \text{ t/m}^2 \approx \text{aman} \\ \sigma_2 &= [(11,509 / 2,5) \cdot \{(1 - (6 \times 0,158 / 2,5))\}] \\ &= 1,978 \text{ t/m}^2 < 10,343 \text{ t/m}^2 \approx \text{aman}\end{aligned}$$

Stabilitas *Revetment* Metode Fellenius Alternatif I di Hulu

Untuk menghitung nilai faktor aman tanggul digunakan metode *Fellenius*.



Gambar 15. Bidang longsor dan formasi garis depresi *revetment*

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

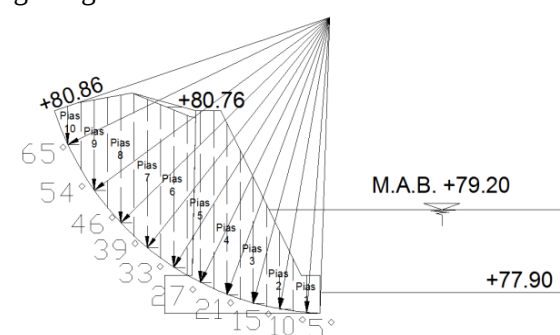
Faktor Aman :

$$\begin{aligned}F_s &= (\Sigma (C.L) + \Sigma (N \tan \phi)) / \Sigma (W \times \sin \alpha) \\ &= (2,937 + 9,900) / 8,761 = 1,465 \quad (\text{stabil})\end{aligned}$$

Faktor aman tanggul adalah 1,465 dikatakan stabil karena melebihi standar faktor aman yaitu 1,250.

Stabilitas *Revetment* Metode Fellenius Alternatif II di Hulu

Untuk menghitung nilai faktor aman tanggul digunakan metode *Fellenius*.



Gambar 16. Bidang longsor dan formasi garis depresi *revetment*

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Faktor Aman :

$$F_s = (\Sigma (C.L) + \Sigma (N \tan \phi)) / \Sigma (W \times \sin \alpha)$$

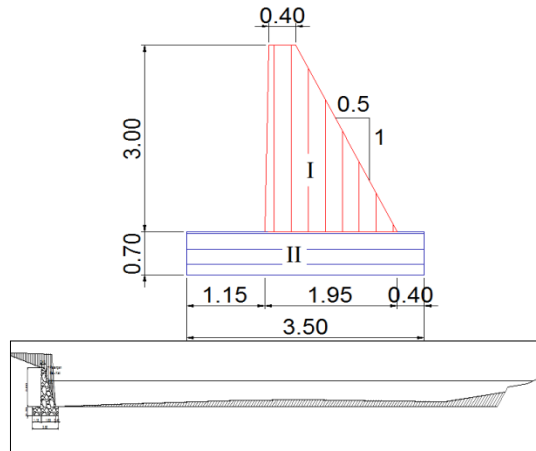
$$= (2,533 + 7,439) / 6,615$$

$$= 1,507 \text{ (stabil)}$$

Faktor aman tanggul adalah 1,507 dikatakan stabil karena melebihi standar faktor aman yaitu 1,250.

Volume Revetment

Volume Revetment Alternatif I (Hulu)



Gambar 17. Volume Revetment Alternatif I di Patok 12

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Tabel 8. Rekapitulasi Volume Revetment

Alternatif	I		II	
	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
Tinggi Tanggul	3,7 m	4,6 m	3,2 m	4,6 m
Luas	5.975 m ²	8.655 m ²	5.387 m ²	8.655 m ²
Panjang	200 m	150 m	200 m	150 m
Volume Galian	2286.85 m ³	1494.55 m ³	7314.15 m ³	9610.95 m ³
Volume Tanggul	298.75 m ³	432.75 m ³	269.37 m ³	432.75 m ³

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Rencana Anggaran Biaya Revetment

Pembuatan *revetment* di sepanjang Sungai Mujur memiliki 2 (dua) alternatif. Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan rencana anggaran biaya untuk kedua alternatif.

Alternatif I bangunan *revetment* + perbaikan tanggul yang jebol memiliki total biaya sebesar Rp 2.845.539.000,00 sedangkan untuk **alternatif II** bangunan *revetment* dengan normalisasi + perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi memiliki nilai total biaya sebesar Rp 3.191.323.000,00.

Tabel 9. Rencana Anggaran Bangunan Alternatif I

Uraian Pekerjaan :	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1. Pekerjaan Persiapan				
1.1. Pengukuran dan Uitzet, (Kiri & Kanan)	m'	1.300,00	93.872,00	122.033.600,00
1.2. Pembuatan Kantor Sementara (direksiket)	m ²	8,00	1.304.427,32	10.440.000,00
Jumlah :				Rp. 132.473.600,00
2. Pekerjaan Tanah				
2.1. Galian Tanah dengan alat	m ³	3.715,60	70.685,10	262.637.557,56
2.2. Urugan tanah dengan pemadatan	m ³	759,20	25.378,50	19.267.357,20
Jumlah :				Rp. 281.904.914,76
3. Pekerjaan Tebing				
3.1. Pasangan Batu Kali (1 Pc : 4 Ps)	m ³	2.493,55	863.000,00	2.151.933.650,00
3.2. Plesteran 1 Pc : 3 Ps	m ³	178,50	75.700,00	13.512.450,00
3.3. Pipa Suling-Suling	m ³	150,00	46.855,00	7.028.250,00
Jumlah :				Rp. 2.172.474.350,00
Jumlah Total				2.586.852.864,76
PPN 10%				258.685.286,48
Total Biaya				2.845.538.151,24
Dibulatkan Rp.				2.845.539.000,00

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

Tabel 10. Rencana Anggaran Bangunan Alternatif II

Uraian Pekerjaan :	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1. Pekerjaan Persiapan				
1.1. Pengukuran dan Uitzet, (Kiri & Kanan)	m'	1.300,00	93.872,00	122.033.600,00
1.2. Pembuatan Kantor Sementara (direksiket)	m ²	8,00	1.304.427,32	10.440.000,00
Jumlah :				Rp. 132.473.600,00
2. Pekerjaan Tanah				
2.1. Galian Tanah dengan alat	m ³	3.715,60	70.685,10	262.637.557,56
2.2. Urugan tanah dengan pemadatan	m ³	759,20	25.378,50	19.267.357,20
Jumlah :				Rp. 281.904.914,76
3. Pekerjaan Tebing				
3.1. Pasangan Batu Kali (1 Pc : 4 Ps)	m ³	2.493,55	863.000,00	2.151.933.650,00
3.2. Plesteran 1 Pc : 3 Ps	m ³	178,50	75.700,00	13.512.450,00
3.3. Pipa Suling-Suling	m ³	150,00	46.855,00	7.028.250,00
Jumlah :				Rp. 2.172.474.350,00
Jumlah Total				2.586.852.864,76
PPN 10%				258.685.286,48
Total Biaya				2.845.538.151,24
Dibulatkan Rp.				2.845.539.000,00

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan dalam bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit banjir rancangan yang digunakan adalah dengan kala ulang 25 tahun yang menggunakan metode HSS Nakayasu didapatkan debit sebesar $192,986 \text{ m}^3/\text{dt}$.
2. Keadaan penampang sungai setelah dilakukan analisa dengan menggunakan program HEC-RAS adalah kondisi penampang yang tidak mencukupi untuk debit banjir yang direncanakan dan juga untuk melindungi dam Soponyono. Solusi untuk mengatasi masalah itu adalah dengan membangun *revetment* di sepanjang bagian sungai yang banjir, terutama di bagian hulu dan hilir Dam Soponyono. Setelah dilakukan analisa ulang dengan menggunakan program HEC-RAS maka pada **alternatif I** bangunan *revetment* di hilir Dam Soponyono pada Patok 4-6 dengan tinggi *revetment* 4,6 m + perbaikan tanggul yang jebol di hulu Dam Soponyono pada patok 12-15 dengan tinggi 3,2 m **dan alternatif II** *revetment* dengan normalisasi di hilir Dam Soponyono pada Patok 4-6 dengan tinggi *revetment* 4,6 m + perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi di hulu Dam Soponyono pada Patok 12-15 dengan tinggi *revetment* 3,7 m di Sungai Mujur, maka dari itu sudah tidak terjadi banjir dan penampang sungai mampu menampung debit banjir.
3. Berdasarkan hasil analisa rencana anggaran biaya untuk **alternatif I** bangunan *revetment* + perbaikan tanggul yang jebol sebesar Rp. 2.845.539.000,00 dan **alternatif II** *revetment* dengan normalisasi + perbaikan tanggul yang jebol dengan normalisasi yaitu sebesar Rp. 3.191.323.000,00 di Sungai Mujur.

Saran

Saran yang didapat dikemukakan antara lain:

1. Dalam mendukung upaya pengendalian banjir di Sungai Mujur, perlu kiranya disertai upaya perlindungan dan pengendalian kawasan sungai yaitu penataan bantaran dan sempadan sungai.
2. Mengingat kajian ini hanya sebatas *basic plan* berdasarkan aspek teknis, maka perlu dilakukan kajian non-teknis, antara lain rehabilitas hutan dan lahan (RHL) dan manajemen pengelolaan DAS (*watershed management*)
3. Meningkatkan sistem awal peringatan banjir (*Early Warning System*) untuk mengurangi kerugian rumah tangga dan menghindarkan terjadinya korban jiwa akibat banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto, Sri. 1987. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Erlangga.
- Montarich, L. 2009. *Hidrologi Teknik Terapan*. Malang: CV Asrori.
- Soemarto, C.D. 1995. *Hidrologi Teknik Edisi ke-2*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, S dan Takeda, K. 1993. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Subarkah, Imam. 1980. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.
- Hardiyatmo. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: UGM Press.