

ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN DEBIT LIMPASAN PERMUKAAN (RUN OFF) DI SUNGAI DENDENG PADA DAS DENDENG KOTA KUPANG PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Djunaedi¹, Joko Suparmanto², Albert Aun Umbu Nday³

Abstrak:

Debit Limpasan yang terjadi di DAS Dendeng kondisi di lapangan pada tahun 2013 sangat besar yang mengakibatkan banjir pada Sungai Dendeng. Dengan adanya banjir yang sering terjadi pada setiap tahunnya di Sungai Dendeng membawa dampak terhadap masyarakat di tepi bantaran sungai Dendeng. Dampak tersebut sangat meresahkan masyarakat yang setiap tahunnya mengalami kerugian harta dan nyawa penduduk yang disebabkan adanya luapan air (banjir) di Sungai Dendeng. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut diperlukan suatu Konstruksi perkuatan tebing dengan Konstruksi Bronjong dikarenakan lokasi tersebut terdapat kerusakan pada tebing Kali Dendeng yang sangat mengkhawatirkan keselamatan bagi penduduk di sekitar Kali Dendeng Ruas Fontein.

Kata kunci : Limpasan, Kerusakan Tebing Kali, Konstruksi Bronjong.

PENDAHULUAN

Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (kali) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang. Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Pada akhir-akhir ini pemerintah baru memberikan sentuhan dan perhatian terhadap masalah banjir. Sebagai upaya untuk menanggulangi banjir yang sering terjadi dan sudah sangat mendesak ini maka Pemerintah melalui Departemen Pekerjaan Umum dalam hal ini Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II. Bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berada dalam Wilayah Pulau Timor sebagai prioritas utama untuk segera dipecahkan permasalahan yang terjadi pada lokasi tersebut. Hal ini disampaikan oleh Kepala Balai Wilayah

Sungai Nusa Tenggara II pada saat Kegiatan Perencanaan dan Program Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II tanggal 18 Agustus 2014 di Kantor BWS Nusa Tenggara II di Kupang

Pertambahan jumlah penduduk di Kota Kupang akan mempengaruhi kondisi sosial masyarakatnya. Pembangunan perumahan serta sarana maupun prasarana umum terus meningkat mengiringi laju pertumbuhan penduduk. Perkembangan ini akan merubah tataguna lahan (*Land used*) dengan peralihan fungsi dari lahan yang ada. Perubahan fungsi lahan tersebut akan mengubah kondisi daerah, antara lain menyebabkan perubahan besarnya jumlah air yang melimpas akibat hujan yang turun pada daerah tersebut. Hal ini disebabkan oleh tertutupnya permukaan tanah asli oleh lapisan kedap air, sehingga air hujan tidak diberi kesempatan

untuk meresap dan mengalir sesuai tofografinya. Dengan tertutupnya lahan maka limpasan akan bertambah, sehingga terjadi banjir/genangan pada saat hujan. Hal ini pula akan berdampak pada sarana hunian masyarakat yang mendirikan tempat tinggal di bantaran sungai, yang mempunyai resiko besar terhadap kehidupannya.

Sungai Dendeng merupakan sungai hidup yang ada di Kota Kupang mempunyai luas daerah aliran sungai ± 31 Km², dengan panjang sungai utama ± 9 Km dan sering terjadi bencana banjir karena luapan air pada musim hujan. Hal ini diakibatkan oleh belum memadainya penanganan ruas sungai yang kritis, khususnya mengatur arah arus sungai Dendeng ruas Fontein sehingga kondisi lingkungan sungai semakin kritis dan rawan terhadap banjir.

Hasil penelitian sebelumnya tentang “Kajian Upaya Evaluasi Penataan Ruang Berbasis Konservasi Tanah dan Air di DAS Dendeng Kota Kupang” Debit Limpasan yang terjadi di DAS tersebut kondisi di lapangan pada tahun 2013 dengan hasil yang cukup signifikan sehingga lambat laun akan mengakibatkan bencana besar bagi Wilayah di bagian hilir dalam hal ini masyarakat tepian (bantaran) sungai Dendeng Kota Kupang yang menjadi Central Pemerintahan di Wilayah Propinsi Nusa Tenggara Timur.

Melihat permasalahan yang terjadi di Sungai Dendeng diperlukan kajian upaya Perkuatan Tebing Sungai Dendeng pada Ruas Fontein Kelurahan Fontein Kota Kupang yang termasuk dalam Wilayah DAS Dendeng Kota Kupang dengan tujuan kelestarian daerah Wilayah Sungai Dendeng di Kota Kupang dapat terjaga, serta mencegah kerusakan ekosistem dan bencana alam yang lebih besar.

KAJIAN PUSTAKA

Sumber daya air termasuk sumber daya fisik, dalam pengembangannya tidak terlepas dari sumber daya lainnya. Sumber daya sebenarnya tersusun dari berbagai unsur, dan sumber daya alam (termasuk didalamnya adalah air),

merupakan satu dari banyak unsur yang menyusunnya.

a. Analisa Debit Limpasan Metode Rasional Modifikasi

Debit banjir rancangan adalah debit banjir terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi yang tertentu, atau debit dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode analisa debit banjir rancangan tersebut pemilihannya sangat bergantung dari kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan, atau dipilih berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis lainnya.

Dalam studi ini penentuan debit banjir rancangan dilakukan dengan menggunakan pendekatan Metode Rasional Modifikasi dimana pendekatan tersebut akan dipilih yang sesuai dengan karakteristik banjir di daerah studi.

Metode Rasional Modifikasi merupakan pengembangan dari metode Rasional, dimana waktu konsentrasi curah hujan yang terjadi lebih lama. Metode Rasional Modifikasi mempertimbangkan pengaruh tampungan dalam memperkirakan debit puncak limpasan.

Rumus Metode Rasional Modifikasi dalam menentukan debit puncak, adalah sebagai berikut (Lewis et all.,1975 : 9):

$$Q = 0,278.Cs. C. I. A$$

dengan :

Q = debit puncak dengan kala ulang tertentu (m³/dt)

I = intensitas hujan rata-rata dalam t jam (mm/jam)

C = koefisien limpasan

A = luas daerah pengaliran (km²)

Cs = koefisien tampungan

0,278= faktor konversi

b. Sungai

Sungai merupakan jalan air alami. mengalir menuju Samudera, Danau atau laut, atau ke sungai yang lain. Pada beberapa kasus, sebuah sungai secara sederhana mengalir meresap ke dalam tanah sebelum menemukan badan air



lainnya. Dengan melalui sungai merupakan cara yang biasa bagi air hujan yang turun di daratan untuk mengalir ke laut atau tampungan air yang besar seperti danau. Sungai terdiri dari beberapa bagian, bermula dari mata air yang mengalir ke anak sungai. Beberapa anak sungai akan bergabung untuk membentuk sungai utama. Aliran air mengalir dari kepala sungai dan berujung di laut atau lebih dikenali sebagai muara sungai, (<http://id.wikipedia.org/wiki/Sungai>, 2008).

Sosrodarsono dkk, 1984 kegiatan pengembangan sungai jika ditinjau dari segi lingkungan, dibagi menjadi :

1. Kegiatan konservasi dan perbaikan lingkungan sungai.
2. Kegiatan pengaturan dan pemeliharaan lingkungan sungai sebagai daerah penghijauan.
3. Kegiatan pengaturan dan pemanfaatan sungai secara khusus antara lain untuk rekreasi, taman dan ruang terbuka.

c. Bangunan Pengatur Sungai

Bangunan pengatur sungai yang dikenal umumnya adalah perkuatan lereng. Perkuatan lereng (*revetments*) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya (Sosrodarsono dkk, 1984 : 15).

d. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan merupakan tambahan tinggi pada bangunan pengatur sungai untuk menampung loncatan air dari permukaan air sungai yang sedang mengalir. Loncatan ini dapat terjadi akibat adanya ombak, gelombang, loncatan hidrolis pada saat terjadi banjir. Kenaikan air sungai dapat pula terjadi akibat gejala naik turunnya dasar sungai yang disebabkan oleh proses penggerusan dan pengendapan pada dasar sungai yang disebut evolusi dasar sungai.

Tinggi jagaan bangunan pengatur sungai ditetapkan sebagaimana tertera pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Tinggi Jagaan Bangunan Pengatur Sungai

No	Debit Banjir Rencana (m ³ /dtk)	Tinggi Jagaan (m)
1	Kurang dari 200	0.60
2	200 - 500	0.80
3	500 - 2000	1.00
4	2000 - 5000	1.20
5	5000 - 10000	1.50
6	10000 atau lebih	2.00

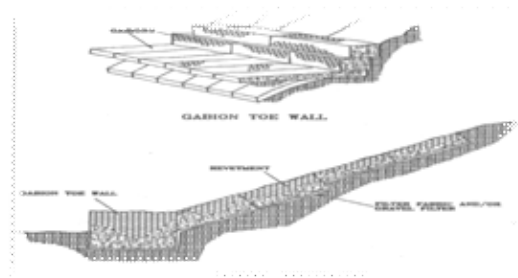
Sumber : Sosrodarsono, 1984

e. Perencanaan Konstruksi Bronjong

Dalam merencanakan bangunan dengan konstruksi bronjong, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu (Anonim, 2010) :

1. Stabilitas pondasi
2. Kekuatan konstruksi terhadap kecepatan aliran dan *shear-stresses*.
3. Proteksi terhadap stabilitasi *toe* dan *flank*

Untuk stabilitas dasar pondasi, struktur konstruksi bronjong diletakkan pada elevasi kedalaman *scouring* maksimum. Alternatif lainnya dibuat perlindungan terhadap *toe* dengan konstruksi matras untuk mengantisipasi gerusan yang merupakan perlindungan terhadap stabilitas lereng dan dasar sungai. Apabila perlindungan tebing tidak mencapai elevasi muka air banjir yang diperhitungkan, maka dibuatkan suatu konstruksi perkuatan (*tie-back*) antara konstruksi bronjong dengan tebing sungai agar tidak terjadi *flanking erosion* seperti dalam dibawah ini.



Gambar 1. Perletakan Matras (*Gabion Baskets*) Pada Pekerjaan Perkuatan Tebing/ Lereng

Sumber : Perencanaan Teknis Persungai
Direktorat Jenderal Sumber Daya Air
Direktorat Sungai dan Waduk Dep. PU, 2010.

Pertimbangan utama dari konstruksi bronjong adalah kekuatan dan ketahanan terhadap kecepatan aliran dan *shear-stress* yang menimpa konstruksi, terutama penggunaan konstruksi *gabion mattresses* yang ketebalannya lebih kecil dibanding *gabion baskets*.

Diameter median dari batu untuk konstruksi matras dapat di tentukan dengan formula empiris:

$$d_m = S_f C_s C_v d \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{0,5} \frac{V}{\sqrt{gdK1}} \right]^{2,5}$$

Dimana :

d_m = Diameter batu rata-rata dalam bronjong matras

S_f = Faktor keamanan (minimal 1,1)

C_s = Koefisien stabilitas (digunakan 0,1)

C_v = Koefisien distribusi kecepatan
= 1,283 - 0,2 log (R/W) (minimum 1,00),
dan = 1,25 apabila pada bagian akhir tanggul atau terbuat dari beton.

R = Jari-jari lengkung garis pusat dari aliran sungai

W = Lebar aliran air sungai

d = Kedalaman aliran lokal saat kecepatan (v)

$\tilde{\gamma}_w$ = Berat satuan air

$\tilde{\gamma}_s$ = Berat satuan batu

V = Kecepatan rata-rata

g = Kecepatan gravitasi.

K_1 = Faktor koreksi slope tebing sungai

Kedalaman pondasi dihitung berdasarkan dalamnya gerusan yang terjadi dengan formula Lacey, sebagai berikut :

$$D = 0,47 \times \left[\frac{Q}{f} \right]^{1/3} \times Z$$

$$f = 1,76 \times \sqrt{d_m}$$

Dimana :

Q = Debit rencana (m³/ dtk)

Z = Faktor bentuk lengkung menurut Lacey = 0,50

d_m = Diameter butiran bahan dasar sungai rata-rata (mm)

Stabilitas dari konstruksi bronjong mengikuti formula Coulomb dengan memperhatikan Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif, sebagai berikut :

$$\tau_b = \gamma_w S d . \quad (2.5)$$

Dimana :

τ_b = Shear-Stresses di dasar saluran

γ_w = Berat satuan air

S = Kemiringan saluran

d = Kedalaman air lokal saat kecepatan (v)

$$\tau_m = 0,75 \tau_b \quad (2.6)$$

Dimana :

τ_m = *Shear-Stresses* di dasar saluran

τ_c = *Shear-Stresses* kritis di dasar sungai = 0,10($\gamma_s - \gamma_w$) d

γ_w = Berat satuan air

τ_s = $\tau_s (1 - ((\sin^2\theta) / (0,4304)))^{0,5} d$

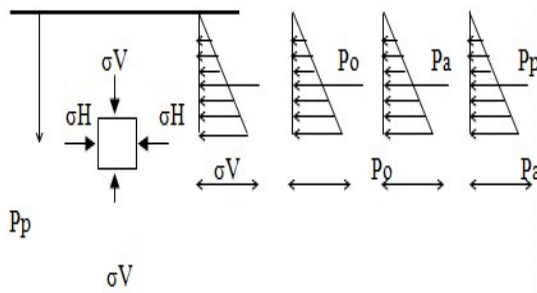
θ = Sudut kemiringan tebing saluran

f. Analisa Kestabilan Konstruksi Bronjong

1. Tekanan Tanah

Secara umum, tekanan tanah yang terjadi dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) keadaan, yaitu: Tekanan tanah pada keadaan diam, tekanan tanah aktif, tekanan tanah pasif.

Besar tekanan tanah lateral pada kedalaman H secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. Tekanan Tanah Lateral

$$\tau H = \tau V \cdot K$$

Dimana :

- τV = Tegangan vertikal tanah ($\gamma \cdot H$)
- γ = Berat isi tanah (kN/m^3)
- H = Kedalaman Tanah (m)
- K = Koefisien tekanan tanah
- τH = Tekanan tanah lateral
- Pada keadaan diam = K_0
- Pada keadaan aktif = K_a
- Pada keadaan pasif = K_p

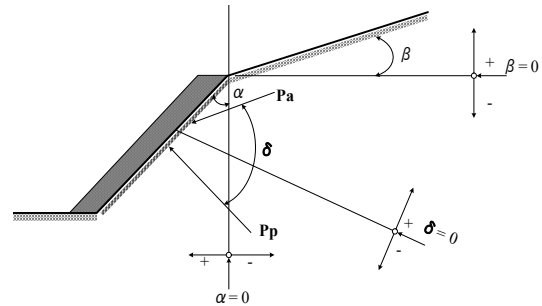
Selanjutnya,

- τH pada kondisi diam disebut = P_0
- τH pada kondisi aktif disebut = P_a
- τH pada kondisi pasif disebut = P_p

Resultan tekanan tanah sampai kedalaman H adalah:

$$P_0 = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_0 ; P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a ; \text{ dan } P_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_p$$

Besar tekanan tanah yang bekerja pada bronjong penahan tanah dapat dihitung dengan teori Coulomb, dengan asumsi bahwa terjadi gesekan antara bronjong dengan tanah dibelakang dan gaya geser antara tanah dengan bronjong membentuk sudut δ .



Gambar 3. Perjanjian Tanda

Dimana :

- α = Sudut permukaan dinding bagian belakang
- β = Sudut kemiringan permukaan tanah
- δ = Sudut geser antara tanah dengan dinding ($\delta = \alpha$)
- β = Sudut geser tanah
- P_a = Tekanan tanah aktif = $\frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$
- P_p = Tekanan tanah pasif = $\frac{1}{2} \gamma h^2 K_p$
- K_a = Koefisien tekanan tanah aktif
- K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

a. Tekanan Tanah Aktif

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \theta)}{\sin^2 \cdot \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \delta) \cdot \sin(\theta - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \dots$$

Untuk bidang geser antara bronjong dengan geotextil dan permukaan tanah :

$$\Delta = \theta \times 0,90$$

$$\text{Tekanan tanah aktif (Pa)} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

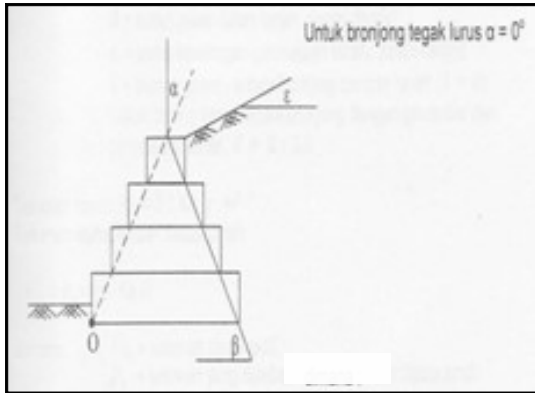
b. Tekanan Tanah Pasif (Pp)

$$P_p = \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{sat}} \times h^2 \times K_p$$

$$K_p = \tan^2 \left[45^\circ + \frac{\theta}{2} \right]$$

2. Konstruksi Bronjong

Konstruksi bronjong yang didesain merangkap sebagai penahan tanah, contoh seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Bentuk konstruksi bronjong

3. Berat Bangunan Perkuatan Tebing

$$W_{\text{bronjong}} = V_{\text{bronjong}} \times \gamma_{\text{bronjong}}$$

4. Kontrol Stabilitas :

a. Terhadap Guling (ditinjau dari titik 0)

$$SF = (\Sigma M \text{ Tahan} / \Sigma M \text{ Guling}) \geq 1,$$

b. Terhadap Geser

$$SF = \frac{f \times (\Sigma V + A) \times c'}{\Sigma H} \geq 1,50 \dots \dots \dots (2.13)$$

c. Terhadap Exentrisitas

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma V}{\Sigma M_{\text{Guling}}} \right) \leq \frac{B}{6} \dots \dots \dots (2.14)$$

d. Terhadap Daya Dukung Tanah

$$q_t = \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \leq q_{\text{izin}} \dots \dots \dots (2.15)$$

METODE PENELITIAN

a. Bentuk Penelitian

Bentuk penelitian dan kajian ini merupakan studi kasus dengan mengambil lokasi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Dendeng Kota Kupang. Studi kasus

merupakan suatu bentuk penelitian yang bertujuan memberikan gambaran secara mendetail mengenai ciri khas suatu obyek penelitian (Anonim, 2007). Keunggulan dari penelitian berbentuk studi kasus adalah memberikan hasil atau hipotesa-hipotesa untuk penelitian lebih lanjut, untuk mendapatkan hasil analisis yang diinginkan sesuai dengan maksud dan tujuannya, maka perlu dilakukan beberapa pendekatan yang didasarkan pada informasi-informasi yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Oleh karena itu penelitian ini disebut juga penelitian terbatas.

b. Lokasi Penelitian

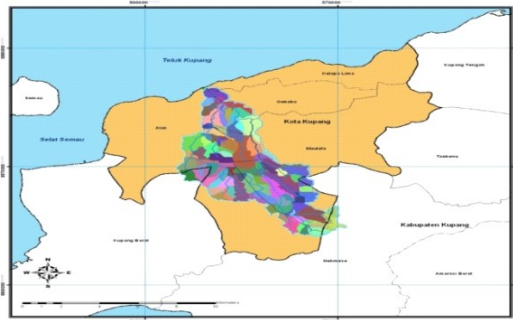
Lokasi yang digunakan sebagai daerah penelitian adalah Sungai Dendeng yang termasuk dalam Wilayah DAS Dendeng Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur yang termasuk dalam DAS Benain Noelmina yang menjadi wilayah BP DAS Kupang. Secara geografis lokasi penelitian terletak antara koordinat 123° 32' 23" sampai dengan 123° 37' 01" Bujur Timur dan 10° 36' 14" sampai dengan 10° 39' 58" Lintang Selatan. DAS Dendeng memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut :

- 1 Utara : Teluk Kupang
- 2 Timur : DAS Mafoati
- 3 Barat : DAS Alak
- 4 Selatan : DAS Manikin

Secara topografi DAS Dendeng terdiri atas daerah pantai, dataran rendah dan perbukitan. Untuk daerah terendah terletak pada ketinggian 0 - 50 meter dari permukaan laut, sedangkan daerah tertinggi terletak dibagian selatan dengan ketinggian antara 200 - 350 meter dari permukaan laut.

DAS Dendeng memiliki luas ± 44,93 Km², mengalir melewati empat wilayah di Kota Kupang, yaitu Kecamatan Alak dengan luas wilayah DAS 19,98 Km² (44,46%), Kecamatan Maulafa dengan luas wilayah DAS 18,50 Km² (41,16%), Kecamatan Oebobo dengan luas wilayah DAS 4,88 Km² (9,32%), Kecamatan Kelapa Lima dengan

luas wilayah DAS 0,39 Km² (0,86%) dan satu wilayah kecamatan di Kabupaten Kupang yaitu Kecamatan Kupang Barat dengan luas wilayah DAS 1,18 Km² (4,20%).



Gambar 5. Peta DAS Dendeng

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Inventarisir kerusakan pada Sungai Dendeng

Hasil survey dan identifikasi di lapangan pada Sungai (Kali) Dendeng dengan kondisi existing pada saat ini adalah :

1. Di daerah bantaran sungai Dendeng Ruas Kali Fontein terdapat daerah pemukiman baru, daerah tersebut sering terjadi luapan air pada saat musim penghujan dan sering terjadi banjir. Hal ini yang menyebabkan meresahkan masyarakat penduduk di daerah kawasan pinggiran kali Fontein yang berdampak terhadap keselamatan baik harta maupun keselamatan jiwa. Dari hasil pengukuran dilapangan dengan tingkat kerusakan berat pada konstruksi perkuatan tebing existing sepanjang 280 m dan longsoran yang terjadi pada tebing sebelah kanan sungai sepanjang 20 m.
2. Pengempangan-pengempangan yang ditimbulkan oleh pembuatan bangunan sepanjang sungai yang kurang memperha-

tikan batas-batas kepemilikan sungai dengan didirikan bangunan sehingga mengganggu terhadap aliran sungai terutama pada saat musim penghujan. Hal ini akan mempengaruhi terhadap aliran air pada saat banjir maksimum terjadi, sehingga akan mempengaruhi sistem kinerja kali yang akan terganggu dan menyebabkan banjir.

3. Pemeliharaan pada alur-alur sungai dan bangunan-bangunan di sungai yang kurang kontinu atau kurang rutin sebelum musim hujan datang, yang menyebabkan aliran air di sungai serta bangunan-bangunan yang ada tersebut tidak berfungsi dengan baik.
4. Kurangnya kesadaran masyarakat yang tinggal di sepanjang sungai, perlakuan masyarakat terhadap sungai yang dijadikan pembuangan sampah. Hal ini akan menyebabkan penumpukan kotoran yang mempunyai akibat menghambat aliran air pada sungai tersebut.

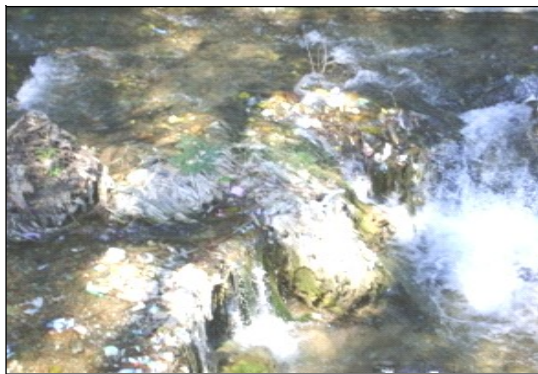
Kondisi existing sungai Dendeng dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 6. Tingkat Kerusakan yang sangat berat akibat terjadinya longsoran pada Kali Dendeng di Kelurahan Fontein



Gambar 7. Tingkat Kerusakan yang sangat berat akibat terjadinya longsor pada Kali Dendeng di Kelurahan Fonte in



Gambar 8. Kurangnya kesadaran masyarakat pada Kali Dendeng di Kelurahan Fonte in sebagai tempat pembuangan sampah

b. Identifikasi Kerusakan Tebing Sungai Dendeng

Luapan air pada Sungai Dendeng di DAS Dendeng yang mempengaruhi laju aliran permukaan (run off) yang diakibatkan adanya koefisien limpasan (C) dari tahun ke tahun nilainya semakin besar. Penggunaan tata guna lahan yang berubah dari lahan semak belukar berubah menjadi lahan permukiman. Dengan adanya debit limpasan permukaan dari tahun ketahun semakin besar serta pemanfaatan lahan di daerah bantaran sungai serta kesadaran masyarakat

dengan membuang sampah di sungai Fonte in akan terjadi daya tampung pada aliran sungai tersebut tidak optimum. Hal ini akan mempengaruhi terhadap perubahan kecepatan aliran dan akan berdampak terjadinya longsor pada tebing-tebing sungai. Lambat laun kecepatan aliran nilainya akan semakin besar dan akan mengkhawatirkan terutama masyarakat yang tinggal dekat bantaran sungai Dendeng di Ruas Fonte in.

c. Analisis Konstruksi untuk Perkuatan Tebing Ruas Fonte in Sungai Dendeng

Sesuai hasil identifikasi kerusakan tebing pada Ruas Fonte in di Sungai Dendeng tingkat penanganan kerusakan ini bertujuan untuk memperbaiki kerusakan alur sungai dan bangunan. Adapun analisis konstruksi yang akan direncanakan sesuai identifikasi kerusakan eksisting dilapangan dengan tujuan untuk menahan laju kerusakan sungai ataupun mengurangi serta meniadakan gerakan-gerakan sungai yang akan menyebabkan kerusakan yang lebih besar diperlukan tindakan dengan tingkat pengamanan seperti tersebut di atas.

Adapun dasar pemilihan dan alasan pemilihan bangunan bronjong untuk perkuatan tebing di Fonte in Sungai Dendeng adalah sebagai berikut :

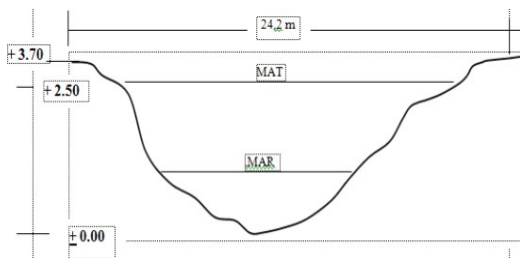
- 1). Bangunan bronjong lebih fleksibel dibanding konstruksi lain yang sejenis;
- 2). Bilamana terjadi banjir yang mengakibatkan gerusan pada dasar sungai konstruksi bronjong akan mengalami penurunan setempat;
- 3). Bangunan bronjong tidak mengalami patahan atau runtuh bila dibanding dengan pasangan batu;
- 4). Bangunan pasangan atau tembok penahan bila terjadi banjir dasar sungai akan mudah tergerus dan mengakibatkan pasangan tersebut akan mengalami patahan atau runtuh.

d. Perhitungan dan Pengukuran Debit Maksimum

Untuk menentukan tinggi dari konstruksi bangunan harus mengetahui debit banjir maksimum selama 10 tahun terakhir. Perhitungan ini diambil dari hasil perhitungan pada penelitian sebelumnya. Laju Aliran Permukaan di DAS Dendeng pada penelitian Tahun 2014 sebagai berikut :

Q maksimum (m ³ /dt)	28,68	33,24	36,06	39,46	41,90	44,28	52,01
---------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Berikutnya dilakukan pengukuran untuk menentukan tinggi dan lebar konstruksi bangunan perkuatan tebing pada kondisi existing, hasil pengukuran penampang sungai tersebut adalah sebagai berikut :

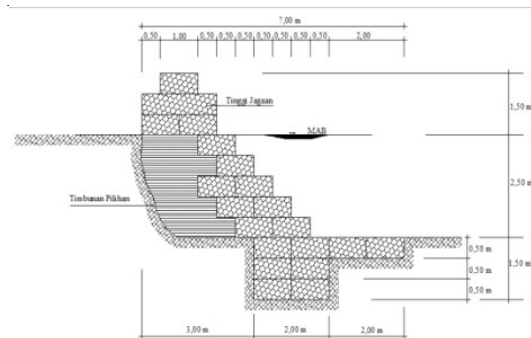


Gambar 9. Penampang Ruas Fontein Sungai Dendeng sesuai

Dari hasil perhitungan debit banjir maksimum pada Sungai Dendeng didapatkan Q_{max} dalam kurun waktu 10 tahun = 36,06 m³/detik. Dan sesuai kondisi kerusakan di Ruas Fontein Sungai Dendeng sepanjang = 300 m.

Desain bangunan konstruksi bronjong adalah sebagai berikut :

- Debit Banjir Rencana (Q_{10}) = 36,06 m³/dtk
- Tinggi Jagaan (Tabel 2.8) = 0,60 m
- Tinggi Muka Air Banjir Maksimum = 2,50 m
- Kedalaman Pondasi = 1,50 m
- Tinggi Bangunan Perkuatan Lereng (Bronjong)
- $h1 + h2 = 1,20 + 2,50 = 3,70 \text{ m} \approx 4,00 \text{ m}$



Gambar 10. Rencana Desain Konstruksi Bronjong di Kali Dendeng Ruas Fontein

e. Perhitungan Stabilitas Lereng

Data Mekanika Tanah

Berdasarkan evaluasi laporan penyelidikan geologi dan mekanika tanah Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II Kupang tahun 2013, dari Sumuran Uji (*Test Pit*) material geologi (*soil and rock*) disekitar aliran sungai Dendeng berupa pasir kelanauan, coklat, mengandung organik, agak padat, plastisitas rendah, porous terdapat pada kedalaman 0,00-1,50 m. Sedangkan material kerikil, karakal, sampai bongkah yang tertanam dalam pasir berukuran halus kasar, *subangular*, *rounded*, *medium sorted*, padat, gradasi baik, porous berada pada kedalaman > 1,50 m. (Sumber: BWS NTT II Kupang, 2014).

Data hasil uji laboratorium, antara lain parameter sediment, parameter tanah pondasi, dapat dilihat dalam tabel 2, 3, berikut ini :

Tabel 2. Data Hasil Uji Sedimen Sungai Dendeng

No	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Unit	Hasil Pemeriksaan	
				SD.01	SD.02
1	Berat Isi	γ	gr/cm ³	1.54	1.53
2	Berat Jenis	G	-	2.73	2.74
3	Kadar Air	ω	%	1.86	1.87
4	Porositas	n	%	44.52	45.10
5	Angka pori	e	-	0.8	0.82
6	Derajat Kejenuhan	Sr	%	6.31	5.89
7	D50		mm	14.2	16.20
8	Lewat Saringan No. 200		%	0.67	0.54

Sumber : BWS Nusa Tenggara II Kupang, 2014



Tabel 3. Data Hasil Uji Tanah Pondasi

Sampel	Kedalaman (m)	Berat Isi γ (gr/cm ³)	Kuat Geser	
			C_p (kg/cm ³)	ϕ_p (°)
TP.01	1.2 - 1.8	1.57	0.85	7.9
TP.02	1.2 - 1.5	1.51	0.19	4.2
TP.03	1.2 - 1.5	1.45	0.69	8.4
TP.04	1.2 - 1.5	1.69	0.41	8.7
TP.05	1.2 - 1.5	1.46	0.13	7.8
TP.06	1.2 - 1.5	1.50	0.53	9.2
TP.08	1.6 - 1.9	1.59	0.36	6.3
TP.09	1.8 - 2.0	1.49	0.54	10
TP.10	2.5 - 2.8	1.65	0.37	18.5
TP.12	1.5 - 1.8	1.64	0.57	22
TP.13	1.2 - 1.5	1.66	0.43	9.8
TP.14	1.2 - 1.5	1.69	0.43	9.8
TP.15	2.4 - 2.7	1.68	0.53	8.0
TP.16	2.4 - 2.7	1.68	0.53	7.8
TP.18	1.9 - 2.2	1.71	0.27	10.3

Sumber : BWS Nusa Tenggara II Kupang, 2014

Data hasil uji laboratorim tanah pondasi, pada kedalaman > 1,50 m diketahui bahwa sebagian besar lokasi penelitian (sungai Noeleke) terdapat material kerikil, karakal, sampai bongkah yang tertanam dalam pasir berukuran halus kasar, *subangular, rounded, medium sorted*, padat, gradasi baik, porous. Berdasarkan data hasil uji laboratorium tanah pondasi diatas, maka kedalaman pondasi konstruksi bronjong direncanakan 1,50 m.

Data hasil uji laboratorium antara lain :

- Sudut geser Tanah = 22 °
- Berat isi (γ) = 1,64 ton/m²
- Sudut kemiringan tanah (β) = 6 °
- Sudut dinding bagian belakang (α) = 45°
- Sudut geser antara bronjong & tanah (δ) = 22°
- Diameter butiran bahan dasar sungai (dm) = 14,20 mm
- Kohesi (c) = 0,57 kg/cm²

Sumber : Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II Kupang, 2014.

Analisis Stabilitas Lereng

1. Perhitungan Kedalaman Gerusan

Debit (Q_{50}) = 36,06 m³/dtk
 Lebar Sungai (W) = 12,20 m
 Diameter Butiran (dm) = 14,20 mm

$$D = 0,47 \times \left(\frac{q}{f}\right)^{1/3} \quad (\text{Persamaan 2.26})$$

$$q = \frac{Q}{W}$$

$$= \frac{36,06}{24,20} = 2,96 \text{ m}^3/\text{dtk}/\text{m}'$$

$$f = 1,76x \sqrt{dm}$$

$$= 1,76x \sqrt{14,20}$$

$$= 6,63$$

$$D = 0,47 \times \left[\frac{2,96}{6,63}\right]^{1/3} \times 0,50$$

$$= 0,18 \text{ m}$$

2. Perhitungan Beban Konstruksi Bronjong (Persamaan 2.11)

$\gamma_{\text{Bronjong}} = 2,20 \text{ ton}/\text{m}^3$
 Volume Bronjong (V_{Bronjong}) = 16,00 m³
 Berat Bronjong (W_{Bronjong}) =
 $V_{\text{Bronjong}} \times \gamma_{\text{Bronjong}} = 16 \times 2,20 = 35,20 \text{ ton}$
 Perhitungan Besar Gaya (G_1) :

Jarak Gaya (G_1) terhadap sb X'X₁ = 3,00 m

Besar Gaya (G_1) terhadap sumbu X =
 $V_{\text{Bronjong}} \times \gamma_{\text{Bronjong}} = 1,00 \times 2,20 = 2,20 \text{ ton}/\text{m}$

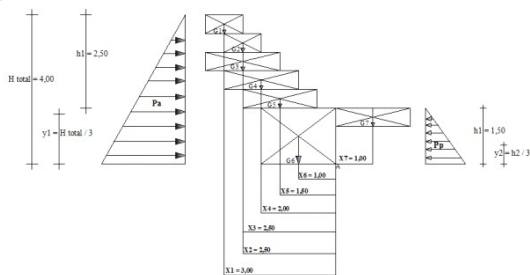
Momen (M_1) terhadap tahanan = Besar gaya x Jarak = 2,20 x 3,00 = 6,60 ton/m.

Perhitungan besar gaya ($G_2 - G_7$) di sajikan dalam tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Beban Muatan Konstruksi Bronjong

Gaya Yang Bekerja	Dimensi			Jumlah (buah)	Volume (m ³)	Tinggi (m)	Besar Gaya		Lengan		Momen (Ton/m)	
	p	lbr	tbl				V	H	Tahan	Culing		
1	2	3	4	5	6=(2 ³ ×3 ³ ×4 ³ ×5)	7	8=(6 ³ ×7)	9	10	11=(8 ³ ×10)	12=(6 ³ ×10)	
Berat Bronjong (G1)	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,200	2,20		3,00	6,60		
Berat Bronjong (G2)	2,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,200	2,20		2,50	5,50		
Berat Bronjong (G3)	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	2,200	4,40		2,50	11,00		
Berat Bronjong (G4)	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	2,200	4,40		2,00	8,80		
Berat Bronjong (G5)	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	2,200	4,40		1,50	6,60		
Berat Bronjong (G6)	2,00	1,00	0,50	6,00	6,00	2,200	13,20		1,00	13,20		
Berat Bronjong (G7)	2,00	1,00	0,50	2,00	2,00	2,200	4,40		1,00		4,40	
Pa = 1/2 × γ _{sat} × h ² × Ka									20,135	1,33		26,85
Pp = 1/2 × γ _{sat} × h ² × Kp									4,055	0,50		2,028
Jumlah:						16,00		35,20	24,19		53,73	31,25

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 11. Gaya-gaya yang bekerja pada Konstruksi Bronjong

Sumber : Hasil Analisis

3. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif (Pa)

(Persamaan 2.8)

Tinggi Konstruksi (h₁)

Kedalaman Pondasi (h₂)

H total (h₁ + h₂)

Berat isi (γ_{sat})

Sudut geser tanah (φ)

Sudut geser bronjong dengan tanah (δ = φ)

Sudut kemiringan tanah (β)

Sudut Permukaan dinding belakang (α)

$$\delta = \phi \times 0,90$$

$$= 22 \times 0,90$$

$$= 19,80^\circ$$

Ka

$$= \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2(\alpha - \delta) \left(1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)} \right)^2}$$

$$= \frac{\sin^2(45^\circ + 22^\circ)}{\sin^2(45^\circ - 19,8^\circ) \left(1 + \frac{\sin(22^\circ + 19,8^\circ) \cdot \sin(22^\circ - 6^\circ)}{\sin(45^\circ - 19,8^\circ) \cdot \sin(45^\circ + 6^\circ)} \right)^2}$$

$$= \frac{\sin^2(67^\circ)}{\sin^2(25,2^\circ) \left(1 + \frac{\sin 41,8^\circ \times \sin 16^\circ}{\sin(25,2^\circ) \cdot \sin(51^\circ)} \right)^2}$$

$$= \frac{0,847}{\sin^2(0,426) \times \left(1 + \sqrt{\frac{0,667 \times 0,276}{0,426 \times 0,777}} \right)^2}$$

$$= \frac{0,847}{0,181 \times \left(1 + \sqrt{\frac{0,184}{0,331}} \right)^2}$$

$$= \frac{0,847}{0,181 \times (1 + 0,745)^2}$$

$$= \frac{0,847}{(0,181 \times 3,046)} = 1,535$$

$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma_{sat} \times H_{total}^2 \times Ka$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,64 \times 4,00^2 \times 1,535$$

$$= 20,135 \text{ ton/m}$$

4. Perhitungan Tekanan Tanah Pasif (Pp)

Dihitung menggunakan persamaan :

$$Pp = \frac{1}{2} \times \gamma_{sat} \times h^2 \times Kp$$

$$Kp = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{22}{2} \right)$$

$$= \tan^2(45^\circ + 11^\circ)$$

$$= \tan^2(56^\circ)$$

$$= 2,198$$

$$Pp = \frac{1}{2} \times \gamma_{sat} \times h^2 \times Kp$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,64 \times (1,50)^2 \times 2,198$$

$$= 4,055 \text{ ton/m}$$

5. Kontrol Stabilitas

a) Terhadap guling

Dihitung menggunakan persamaan :

$$SF = \frac{\Sigma \text{Tahan}}{\Sigma \text{Guling}} \geq 1,5$$

$$= \frac{53,73}{31,25}$$

$$= 1,72 > 1,5 \text{ OK}$$

b) Terhadap Eksintrisitas

Dihitung menggunakan persamaan :

$$e = \frac{B}{2} - \left(\frac{\Sigma M_{\text{Guling}}}{\Sigma V} \right) \leq \frac{B}{6}$$

Dimana :

B = Lebar Pondasi (m)
= 2,00 m

B/6 = 2/6
= 0,33

$$e = \frac{2}{2} - \left(\frac{31,25}{35,20} \right) \leq 0,33$$

$$= 1,00 - 0,89$$

$$= 0,11 < 0,33 \text{ OK}$$

a. Terhadap Daya Dukung

Kohesi (c) = 0,57 kg/cm²
≈ 5,7 ton/m²

$$c' = (2/3) \times c$$

$$= 3,80 \text{ ton/m}^2$$

Lebar Pondasi (B) = 2,00 m

Kedalaman Pondasi (Df) = 1,50 m

Interpolasi Nc, Nq, Nγ = dari tabel 5.5

$$N_c = 5,70 + \left(\frac{0,27 - 0,00}{5,00 - 0,00} \right) \times (7,30 - 5,70)$$

$$N_c = 5,79$$

$$N_q = 1,00 + \left(\frac{0,27 - 0,00}{5,00 - 0,00} \right) \times (1,60 - 1,00)$$

$$N_q = 1,03$$

$$N_\gamma = 0,00 + \left(\frac{0,27 - 0,00}{5,00 - 0,00} \right) \times (0,50 - 0,00)$$

$$N_\gamma = 0,03$$

$$q_{ult} = (c' \times N_c) + (\gamma \times D_f \times N_q) + \left(\frac{1}{2} \times (\gamma \times B \times N_\gamma) \right)$$

$$= 3,80 \times 5,79 + (1,64 \times 1,50 \times 1,03) + (0,5 \times 1,64 \times 2,00 \times 0,03)$$

$$= 22,00 + 2,53 + 0,04 = 24,57 \text{ ton/m}^2$$

a) Terhadap daya dukung tanah

Dihitung menggunakan persamaan 2.15

$$q_{maks} = \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$\leq q_{izin}$$

$$= \frac{35,20}{2,00} \times \left(1 + \frac{6 \times 0,11}{2,00} \right)$$

$$+ \frac{6 \times 0,11}{2,00}$$

$$\leq 24,27$$

$$= 17,6 \times (1 + 0,33)$$

$$= 17,6 \times 1,33$$

$$= 23,40 < 24,27 \text{ OK}$$

Tabel 5. Nilai-nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi

φ (°)	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	N _c	N _q	N _γ	N _c '	N _q '	N _γ '
0	5.70	1.00	-	5.70	1.00	-
5	7.30	1.60	0.50	6.70	1.40	0.20
10	9.60	2.70	1.20	8.00	1.90	0.50
15	12.90	4.40	2.50	9.70	2.70	0.90
20	17.70	7.40	5.00	11.80	3.90	1.70
25	25.10	12.70	9.70	14.80	5.60	3.20
30	37.20	22.50	19.70	19.00	8.30	5.70
34	52.60	36.50	35.00	23.70	11.70	9.00
35	57.80	41.40	42.40	25.20	12.60	10.10
40	95.70	81.30	100.40	34.90	20.50	18.80
45	172.30	173.30	297.50	51.20	35.10	37.70
48	258.30	287.90	780.10	66.80	50.50	60.40
50	347.60	415.10	1.153.20	81.30	65.60	87.10

Sumber : Sunggono, K.H.,Ir., 1984

γ_{Tanah} = 1,64 ton/m²

Sudut Geser Tanah (Ø) = 22 °

tan Ø = (2/3) tan Ø

$$= (2/3) \tan 22^\circ$$

$$= 0,67 \times 0,404$$

$$= 0,27^\circ$$

b)Terhadap Geser

Dihitung menggunakan persamaan 2.12

Sudut Geser Tanah (ϕ)

Tinggi Konstruksi Bronjong (A)

Kohesi Tanah (c') =

$$\begin{aligned} f &= 2/3 \tan \phi \\ &= 2/3 \tan 22 \\ &= 0.67 \times 0,404 \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{f \times (\Sigma V + A) \times c'}{\Sigma H} \geq 1,50 \\ &= \frac{0,27 \times (35,20 + 4,00) \times 3,80}{24,19} \\ &= \frac{40,21}{24,19} \\ &= 1,66 > 1,50 \text{ OK} \end{aligned}$$

Dengan demikian konstruksi bronjong dapat digunakan sebagai perkuatan tebing pada Kali Dendeng Ruas Fotein.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sesuai pembahasan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Yang menjadi penyebab dari kerusakan pada Bantaran Sungai Dendeng disebabkan adanya:
 - Dari hasil analisa pada Ruas Kali Fotein dengan tingkat kerusakan berat pada konstruksi perkuatan tebing existing sepanjang 280 m dan longsoran yang terjadi pada tebing sebelah kanan sungai sepanjang 20 m.
 - Hal lain yang menyebabkan permasalahan di Kali Fotein adanya pemukiman baru pada alur sungai yang mengakibatkan penyempitan sepanjang tepi alur sungai tersebut.
 - Pengepangan-pengempangan yang ditimbulkan oleh pembuatan bangunan sepanjang sungai yang kurang memperhatikan

kan batas-batas kepemilikan sungai dengan didirikan bangunan sehingga mengganggu terhadap aliran sungai terutama pada saat musim penghujan. Hal ini akan mempengaruhi terhadap aliran air pada saat banjir maksimum terjadi, sehingga akan mempengaruhi sistem kinerja kali yang akan terganggu dan menyebabkan banjir.

- 2 Cara penanggulangan tebing sungai untuk mengatasi hasil luapan air permukaan dari bagian hulu dari Sub-Sub DAS Dendeng dilakukan pembuat Konstruksi Bronjong sepanjang 280 m untuk menahan longsoran yang terjadi pada tebing-tebing sungai yang mengalami tingkat kerusakan yang sangat berat.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim 1983, "Bronjong", Direktorat Jenderal Pengairan, Direktorat Penyelidikan Masalah Air Dep. PU, Jakarta 1983.

Anonim 1986, "Pedoman Penanggulangan Banjir", Direktorat Jenderal Pengairan Dep. PU, Jakarta 1986.

Anonim 2008, <http://id.wikipedia.org/wiki/Sungai>. Wlikimedia Fodation, 2008.

Anonim 2008, <http://budhisetiawan.net/courses/Geologi-Rekayasa-Sungai-Dan-Pengalirannya>, 2008. Wlikimedia Fodation, 2008.

Anonim 2008, <http://id.wikipedia.org/wiki/Banjir>, 2008. Wlikimedia Fodation, 2008.

Anonim 2008, <http://budhisetiawan.net/courses/geologi-rekayasa/sungai-dan-engalirannya/2008>, Wlikimedia Fodation, 2008.

Anonim 2010, "Perencanaan Teknis Per-sungaian", Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Direktorat Sungai Danau dan Waduk Dep. PU, Jakarta 2010.

Haryadi 2007, Jurnal Ilmu Teknik dan Lingkungan Vol 7 No. 2, 2007.

Mulyanto,HR.2007. "Sungai, Fungsi dan Sifat-sifatnya." GrahaIlmu, Yogyakarta. 2007.