

MITIGASI BENCANA BANJIR AKIBAT KERUNTUHAN BENDUNGAN BERDASARKAN DAMBREAK ANALYSIS PADA BENDUNGAN BENEL DI KABUPATEN JEMBRANA

Ari Murdhianti¹⁾, Pitojo Tri Juwono²⁾, Runi Asmaranto²⁾

¹⁾Mahasiswa Magister Manajemen Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya

²⁾Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

E-mail : murdhianti@gmail.com

Abstrak : Mitigasi bencana banjir akibat keruntuhan Bendungan Benel dimaksudkan untuk mengurangi dampak resiko bencana yang terjadi dari aspek teknis maupun non teknis. Analisa keruntuhan Bendungan Benel dilakukan dengan menggunakan program BOSS DAMBRK. Program BOSS DAMBRK yang digunakan dapat membuat hidrograf banjir, kedalaman banjir, kecepatan banjir serta peta daerah genangan banjir yang nantinya akan dijadikan acuan dalam merencanakan daerah evakuasi. Dari studi ini diperoleh hasil Bendungan Benel termasuk kategori bendungan dengan Tingkat Klasifikasi Bahaya 3 atau Klasifikasi Bahaya Agak Tinggi. Luas daerah genangan akibat banjir kedalaman 0 m~0,60 m adalah 664.507 ha, kedalaman 0,60~1,50 m adalah 1305.056 ha dan kedalaman >1,50 m adalah 2233.773 ha. Sistem mitigasi banjir yang dilaksanakan mencakup tiga tahap yaitu sebelum terjadi banjir, saat terjadi banjir dan setelah terjadi banjir.

Kata Kunci : Analisa Keruntuhan Bendungan, Bendungan Benel, mitigasi banjir, Program BOSS DAMBRK

***Abstract** : Mitigation of floods due to the collapse of the Benel dam is intended to reduce the impact of disasters the risk of technical and non-technical aspects. Benel Dam collapse analysis were performed using the BOSS DAMBRK. BOSS DAMBRK program can create flood hydrograph, flood depth, speed of floods and flood inundation maps that will be used as a reference in planning the evacuation area. From this research, its known that the category Benel Dam is Level 3 of Hazard Classification Danger High Bit. The area of inundation depth of 0 m~0,60 m is 664 507 ha, depth 0,60 m~1,50 m is 1305,056 ha and a depth of >1.50 m is 2233,773 ha. System of flood mitigation undertaken includes three stages, before the flood, during and after the floods.*

Keywords : *The collapse of the Benel dam, Benel dam, Mitigation of floods, BOSS DAMBRK program*

Dalam rangka meningkatkan pendapatan masyarakat pada sektor pertanian di Kabupaten Jembrana, maka dibuatlah Bendungan Benel yang terletak di Desa Manistutu, Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Propinsi Bali. Hal ini dikarenakan persediaan air untuk pertanian hanya tersedia pada saat musim hujan. Adapun maksud dari pembuatan bendungan ini adalah sebagai sarana irigasi khususnya di daerah Jembrana.

Bendungan Benel merupakan bendungan multifungsi yaitu untuk irigasi, suplai air baku dan sebagai pengendalian banjir. Bendungan Benel mulai dibangun pada tahun 2006 dan dapat terselesaikan pada tahun 2010, oleh presiden Republik Indonesia yaitu DR.H. Susilo Bambang Yudhoyono pada tanggal 26 Januari 2010. Lokasi Waduk Benel tepatnya berada di aliran sungai atau Tukad Daya Barat, Dusun Mekarsari, Desa Manistutu, Kecamatan

Melaya dan Desa Brangbang, Kecamatan Negara, Kabupaten Jembrana.

Dalam studi ini akan dikaji lebih lanjut mengenai dampak adanya kegiatan pembuatan Bendungan Benel di Kabupaten Jembrana. Karena disatu sisi pembuatan bendungan mempunyai nilai manfaat yang besar akan tetapi disisi yang lain juga menyimpan berbagai potensi bahaya atau permasalahan yang besar mengingat sifatnya yang termasuk kedalam *heavy construction*. Selain mengkaji dampak yang terjadi akibat kegagalan bendungan dalam studi ini juga mengkaji upaya yang dilakukan dalam mengantisipasi bencana atau sistem mitigasi (*mitigation*).

Identifikasi Masalah

Perencanaan bendungan harus didukung dengan adanya suatu Pedoman Rencana Tindak Darurat (RTD) sebagai salah satu standar atau pedoman dalam pengamanan bendungan apabila terjadi kegagalan bendungan.

Pedoman ini mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 72/PRT/1997 tentang Keamanan Bendungan dan Lampiran Keputusan Dirjen Pengairan No. 94/KPTS/A/1998 tanggal 30 Juli 1998 tentang Pedoman Penyiapan Rencana Tindak Darurat. Pedoman ini merupakan salah satu upaya mitigasi bencana banjir yang berfungsi antara lain :

1. Sebagai panduan atau petunjuk bagi pemilik/pengelola bendungan dalam melakukan tindakan saat terjadi keadaan darurat bendungan, sehingga dapat dicegah terjadinya keruntuhan bendungan.
2. Sebagai panduan bagi instansi terkait untuk melaksanakan tindak darurat maupun evakuasi atau pengungsian penduduk yang terkena resiko bila terjadi keadaan darurat berupa penyelamatan penduduk di bagian hilir bendungan yang akan terkena banjir termasuk pemikiran upaya mengurangi kerugian harta benda yang diakibatkan apabila bendungan mengalami keruntuhan.
3. Sebagai petunjuk arah evakuasi apabila terjadi kegagalan bendungan.

Maksud dan Tujuan

Mengingat bencana yang mungkin terjadi yang diakibatkan oleh runtuhnya Bendungan Benel dan situasi dibagian hilir bendungan, dimana terdapat daerah pemukiman, daerah

pertanian dan bangunan fasilitas umum, misalnya jembatan, jalan raya, gedung sekolah, dan lain-lain, maka perlu dilakukan analisa mengenai perilaku atau pergerakan banjir akibat runtuhnya bendungan ke arah hilir serta upaya penyelamatan dini yaitu persiapan daerah dan jalur evakuasi.

Dengan demikian maksud dan tujuan dari penulisan tesis ini adalah mengetahui sebaran daerah bahaya banjir, waktu datang dan lama genangan banjir, kecepatan aliran banjir dan kedalaman banjir serta mengetahui indikasi terjadinya kegagalan bendungan dan rencana daerah evakuasi banjir.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisa Hidrologi

Salah satu *input* data hasil analisa hidrologi yang digunakan dalam analisa penelusuran banjir akibat keruntuhan bendungan adalah debit banjir desain yaitu debit banjir PMF (*Probable Maximum Flood*) sesuai dengan curah hujan maksimum boleh jadi (*Probable Maximum Precipitation/PMP*) yang terjadi pada daerah studi. Kegiatan analisa hidrologi yang dilakukan meliputi :

1. Analisa Frekuensi

Dalam hidrologi, analisa tersebut dipakai untuk menentukan besarnya curah hujan dan debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu Metode analisa frekuensi yang digunakan ditentukan berdasarkan hasil analisa nilai parameter statistik koefisien kemencengan (*skewness*) atau C_s , dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*) atau C_k sesuai persyaratan statistik dari beberapa distribusi (Harto, 1993,245) :

- a. Distribusi Normal : $-0.05 < C_s < 0.05$
 $2.7 < C_k < 3.3$
- b. Distribusi Gumbel : $C_s > 1.1395$
 $C_k > 5.4$
- c. Distribusi Log Pearson : tidak ada batasan

2. Curah Hujan Rancangan

Analisa curah hujan rancangan dengan metode distribusi Gumbel dan Log Pearson Type III dilakukan menggunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

a. Distribusi Gumbel

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{Sn} [Y_T - Y_n] \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

X_T = nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.

X = nilai rata-rata hujan

S = simpangan baku

Y_T = nilai reduksi variat (reduced variate) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun

b. Distribusi Log Pearson III

Persamaan distribusi Log Pearson Tipe III adalah mengubah data hujan sebanyak n buah X_1, X_2, \dots, X_i menjadi $\log X_1, X_2, \dots, \log X_i$ (C.D. Soemarto, 1987).

Nilai Rata – rata :

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (3)$$

Standar Deviasi :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Koefisien Skewness :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log \bar{X} - \log X_i)^3}{(n-1)(n-2) \cdot (Sd')^3} \quad (5)$$

dengan :

$\text{Log } X$ = nilai rata-rata

$\text{Log } X_i$ = nilai varian ke i

n = banyaknya data

Sd = standar deviasi

Cs = koefisien Skewness

Sehingga nilai X bagi setiap tingkat probabilitas dapat dihitung dari persamaan :

$$\text{Log } X_t = \log \bar{X} + G \cdot Sd \quad (6)$$

3. Probable Maximum Precipitation (PMP)

Curah hujan rancangan yang akan digunakan ditentukan berdasarkan curah hujan maksimum boleh jadi (PMP) dihitung dengan menggunakan metode *Hersfield* sebagai berikut (RSNI T-02-2004)

$$X_{PMP} = \bar{X} + Km \cdot S \quad (7)$$

dimana:

X_{PMP} = curah hujan maximum boleh jadi

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan

Km = faktor koefisien *Hersfield* (berdasarkan durasi hujan dan hujan maksimum rata-rata tahunan X)

S = standard deviasi

Program DAMBRK

Program DAMBRK dapat menirukan (mensimulasikan) keruntuhan bendungan, menghitung hidrograf aliran keluar (*outflow hydrograph*) dan mensimulasikan gerakan gelombang banjir akibat keruntuhan bendungan (*dam break flood*) lewat lembah di hilir bendungan. Hasil hitungan dengan DAMBRK ini dapat dipakai untuk membuat peta genangan yang potensial, menetapkan waktu tempuh (*travel time*) dari berbagai bagian dari gelombang banjir ke lokasi di hilir, dan mengevaluasi pengaruh hal-hal yang tidak menentu (*uncertainties*) dalam parameter keruntuhan bendungan.

Kemampuan model program DAMBRK yang lain, yaitu :

- Kesanggupan untuk menangani suatu deretan bendung yang hancur dalam sungai tunggal hanya dalam sekali proses komputer.
- Kesanggupan simulasi pengaruh alur sungai meandering dalam dataran banjir yang lebar
- Kesanggupan untuk simulasi aliran subkritis dan superkritis dalam *routing* yang sama
- Kesanggupan untuk menelusur (*routing*) hidrograf tertentu dengan menggunakan *dynamic routing*
- Kesanggupan simulasi pengaruh *backwater* dari kehancuran bendungan yang merambat lewat pertemuan anak sungai dengan sungai induknya.

Keterbatasan model program DAMBRK :

- Kehancuran bendungan di jaringan sungai dendritik (dalam mana bendungannya tidak

tersusun secara seri tetapi dalam jaringan berbentuk dahan-dahan pohon dalam jaringan sungai), tidak dapat disimulasikan.

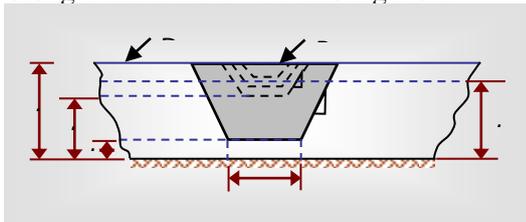
- b. Alur sungai di hilir bendungan pada umumnya tidak dapat kering pada permulaan simulasi, dengan kata lain harus ada aliran dasar (meskipun kecil).
- c. Perubahan dari aliran subkritis ke superkritis baik dengan waktu atau jarak tidak dapat dihitung. Keadaan semacam itu dapat berakibat terjadinya *non-konvergensi* dalam penyelesaian. Tindakan koreksi harus diambil bila terjadi hal semacam ini

Analisa Keruntuhan Bendungan

Sebelum bendungan mengalami keruntuhan total, didahului oleh terjadinya rekahan (*breaching*). Rekahan adalah lubang yang terbentuk dalam tubuh bendungan pada saat runtuh. Rekahan tersebut ada dua jenis, yaitu :

a. Rekahan karena *overtopping*

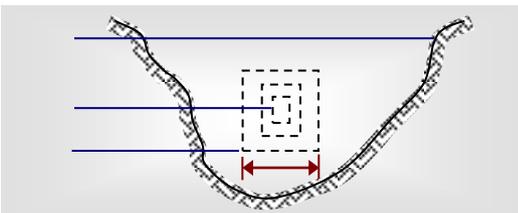
Rekahan karena *overtopping* disimulasikan berupa rekahan yang berbentuk segi empat, segitiga atau trapesium. Rekahan tersebut makin lama makin membesar dengan waktu secara progresif dari puncak bendungan ke bawah sampai mencapai pondasi. Aliran yang melewati rekahan diperhitungkan sebagai aliran melewati ambang lebar.



Gambar 1. Pola rekahan bendungan akibat *overtopping*

b. Rekahan karena *piping*

Keruntuhan bendungan akibat *piping* dapat disimulasikan dengan menentukan elevasi sumbu dari pipingnya. Ini disimulasikan sebagai rekahan lubang (*orifice*) berbentuk segi panjang.



Gambar 2. Pola rekahan bendungan akibat *piping*

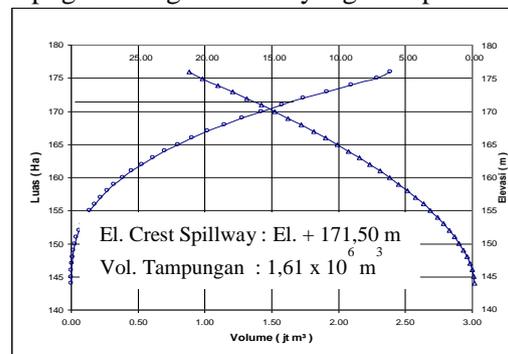
Input Data Software/Program

Analisa keruntuhan Bendungan Benel dilakukan terhadap 2 (dua) kondisi, yaitu kondisi *piping* dan kondisi *overtopping*. Artinya, Bendungan Benel akan disimulasikan mengalami keruntuhan bendungan akibat *piping* saat banjir PMF, dan juga akan disimulasikan mengalami keruntuhan akibat *overtopping* saat banjir PMF pula. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi segala kemungkinan bencana luar biasa yang mungkin terjadi diluar kemampuan manusia.

Input data yang digunakan untuk menjalankan program BOSS DAMBREAK untuk mendapatkan hasil analisa keruntuhan bendungan antara lain :

1. Lengkung Kapasitas Waduk

Lengkung kapasitas waduk diperlukan untuk mengetahui hubungan antara tinggi muka air dengan volume dan luas area permukaan genangan. Kapasitas bendungan atau waduk pada keadaan alamiah ditetapkan berdasarkan pengukuran topografi dengan kontur yang cukup teliti.



Gambar 3. Lengkung Kapasitas Waduk (Sumber : Dehas, 2009)

2. Data teknis Bendungan Benel

Data teknis bendungan diperoleh dari hasil laporan kegiatan studi tentang Bendungan Benel (Dehas, 2009) :

Waduk :

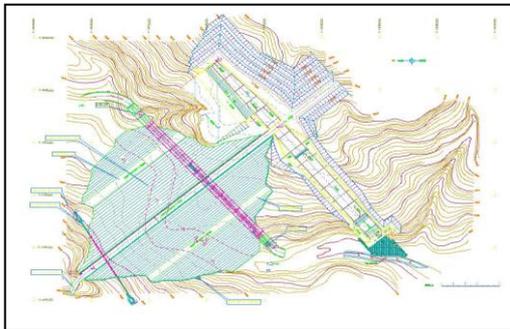
- Luas daerah genangan (HWL) : 16.54 ha
- Kapasitas tampungan efektif : 1,618,000 m³
- Kapasitas tampungan bruto : 1,923,000 m³
- Kapasitas tampungan mati : 305,000 m³

Bendungan :

- Tipe : Urugan batu dengan inti
- Elevasi puncak bendungan : 175.50 m
- Tinggi bendungan : 37.50 m
- Panjang puncak bendungan : 211.00 m
- Lebar puncak bendungan : 8.00 m

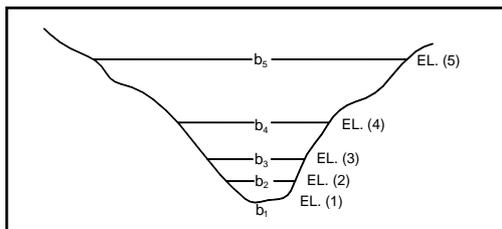
Kemiringan hulu : 1 : 2.5
 Kemiringan hilir : 1 : 2.0

Pelimpah :
 Tipe : Pelimpah samping
 Elevasi ambang : 171.50 m
 Panjang ambang : 60.00 m
 Panjang total : 216.74 m



Gambar 4. Peta Situasi Bendungan

3. Hidrograf banjir Q PMF hasil routing diatas pelimpah Bendungan Benel.
4. Bentuk geometri palung sungai daerah hilir bendungan yang dilewati banjir akibat hancurnya bendungan didapatkan dari hasil pengukuran potongan melintang yang dilakukan di lapangan.



Gambar 5. Bentuk geometri palung sungai

5. Koefisien Kekasaran Manning “n”
 Koefisien manning “n” untuk masing-masing potongan melintang sepanjang sungai dihilir bendungan yang akan dilewati banjir (Chow, 1998).

Tabel 1. Koefisien Manning

Material	Koefisien Manning
Beton	0.012
Dasar tanah dengan pinggiran :	
- beton	0.017
- batu mortar	0.020
- rip rap	0.023
Sungai alami :	
Bersih, beralur lurus	0.030
Bersih, berkelok-kelok	0.040
Dataran banjir	
Padang rumput, tanpa semak, rumput lebat	0.003
Lahan panen	0.003
Semak-semak padat	0.070
Padat akan pohon	0.100

Sumber : Chow, 1998

Nilai koefisien manning yang digunakan dalam perhitungan sungai Tukad Aya Barat dalam desain Bendungan Benel adalah $n = 0,03$ (terendah), $n = 0,05$ dan $n = 0,07$ (tertinggi).

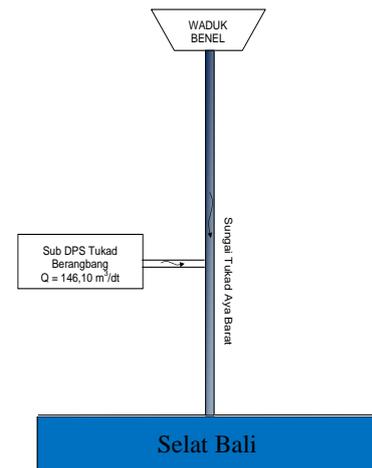
6. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi.
 Koefisien kontraksi dan koefisien ekspansi digunakan pada perubahan-perubahan lebar saluran/palung sungai

Tabel 2. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

Description	Contraction Coefficient	Expansion Coefficient
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual Transition	0.1	0.3
Bridges (and culverts with wingwalls)	0.3	0.5
Abrupt transitions (and most culverts)	0.6	0.8

Sumber : Chow, 1959

7. Koefisien Debit
 Koefisien debit untuk pelimpah berdasarkan hasil perhitungan hidrolika yaitu 2,157.
8. Inflow
 Untuk analisis kehancuran Bendungan Benel turut dipengaruhi debit inflow yang masuk ke sungai Tukad Aya Barat Di *downstream* sungai Tukad Aya Barat terdapat pertemuan dengan anak sungai Tukad Berangbang. Adapun debit suplesi sungai Tukad Berangbang dari hasil perhitungan hidrologi adalah $146.10 \text{ m}^3/\text{det}$.



Gambar 6. Sistem sungai di hilir Bendungan Benel (Sumber : Dehas, 2009)

9. Parameter Rekahan
 Lebar rekahan yang terjadi pada waktu bendungan mengalami keruntuhan, maupun waktu terjadinya rekahan tersebut, ditetapkan sendiri dengan batasan-batasan tertentu (User’s Manual Boss Dambrk, 1991). Dimana batasan tersebut ditetapkan berdasarkan pengalaman dari pengamatan

pada beberapa bendungan yang mengalami keruntuhan. Berdasar hal tersebut diatas, maka untuk analisis ini parameter-parameter tersebut ditetapkan dengan cara coba-coba dengan batasan sebagai berikut :

Tabel 3. Parameter Rekahan

Parameter	Nilai
Lebar akhir rekahan , m	31.5 – 94.5
Waktu terjadinya rekahan, jam	0.5 – 1.5
Slope samping rekahan	1

Sumber : Hasil analisa dan perhitungan

10. Data-data dan parameter yang digunakan dalam analisa Keruntuhan Bendungan Data analisis nilai-nilai penting yang diambil untuk analisa keruntuhan bendungan Benel antara lain adalah :

Tabel 4. Data Bendungan Benel

Keterangan	Nilai
Muka air waduk saat mulai analisis, EL.	171.5
Dasar waduk, EL.	144.0
Ambang pelimpah, EL.	171.5
Puncak bendungan, EL.	175.5
Muka air waduk saat bendungan mulai runtuh akibat <i>overtopping</i> , EL.	175.6
Pusat keruntuhan akibat <i>piping</i> , EL.	159.5
Elevasi dasar rekahan, EL.	144.5
Lebar dasar rekahan, m	94.5
Waktu formasi keruntuhan, jam	0.75

Sumber : Chow, 1959

E. Klasifikasi Bahaya Bendungan

Dasar penentuan Klasifikasi Bahaya Bendungan mengacu pada keputusan Direktur Jendral Pengairan Nomor : 94/KPTS/A/1998 tanggal 30 Juli 1998.

Tabel 5. Matrik Jumlah komulatif keluarga yang terkena bahaya dan klasifikasi bahaya

Jumlah Keluarga Komulatif	Jarak bagian hilir dari bendungan (km)				
	0-5	0-10	0-20	0-30	0->30
0	1	1	1	1	1
1 - 201	3	2	2	1	1
201 - 5000	4	4	3	3	2
5001 - 20000	5	4	4	3	3
20001 - 250000	5	5	4	4	4
>250000	5	5	5	5	5

Sumber : Pedoman Klasifikasi Bendungan, 1998

Keterangan :

- Klasifikasi Bahaya = 1 bahaya rendah
- Klasifikasi Bahaya = 2 bahaya sedang
- Klasifikasi Bahaya = 3 bahaya agak tinggi
- Klasifikasi Bahaya = 4 bahaya tinggi
- Klasifikasi Bahaya = 5 bahaya tinggi sekali

METODE PENELITIAN

A. Gambaran Lokasi Studi

Kabupaten Jembrana terletak di sebelah barat Pulau Bali, secara geografis terletak pada 8°09'30'' - 8°28'02'' LS dan 114°25'53'' - 114°56'38'' BT.



Gambar 7. Lokasi Bendungan Benel

B. Tahapan Penyelesaian Studi

Secara garis besar tahapan penyelesaian studi ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data sekunder.
2. Melakukan analisa hidrologi untuk mendapatkan debit banjir Q_{1000} dan debit banjir maksimum boleh jadi (PMF/*Probable Maximum Flood*)
3. Melakukan analisa keruntuhan bendungan dalam berbagai alternatif tingkat kerusakan bendungan, dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) program BOSS DAMBRK.
4. Menggunakan hasil dam break analysis untuk menyiapkan peta genangan di bagian hilir bendungan (akibat runtuhnya bendungan).
5. Pembuatan Klasifikasi Bahaya (*Hazard Klasifikasi*) berdasarkan pada Pedoman Penyiapan Rencana Tindak Darurat.
6. Mengenali keadaan darurat dan membuat tahapan-tahapan kegiatan pencegahannya.
7. Menyiapkan rencana lokasi dan jalur pengungsian (evakuasi).
8. Menyusun sistem mitigasi bencana banjir akibat keruntuhan bendungan yang memuat antara lain :

- Identifikasi keadaan darurat
- Kelembagaan
- Sarana dan prasarana keadaan darurat
- Daerah Evakuasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Hidrologi

Daerah Benel mempunyai curah hujan rerata tahunannya adalah 556 mm/tahun, yang jatuh pada luasan daerah pengaliran sungai sebesar 18.30 km².

Curah hujan rerata tahunan tersebut diperoleh dari data hujan harian yang diperoleh dari stasiun pencatat hujan di daerah pengaliran sungai tersebut, yaitu Stasiun Hujan Dauh Waru yang posisinya terletak di sebelah timur daerah pengaliran sungai Benel.

Data pencatatan hujan harian yang tersedia pada stasiun hujan daerah tersebut adalah sebanyak 14 tahun data mulai dari tahun 1998 sampai dengan tahun 2011.

Dari data hujan harian yang tersedia dipilih hujan maksimum harian tiap-tiap tahun dan digunakan sebagai dasar analisa untuk perencanaan debit banjir rancangan.

Untuk analisa keruntuhan Bendungan Benel perlu dilakukan analisa debit maksimum boleh jadi Debit PMF ini yang nantinya akan digunakan sebagai salah satu *input* dalam proses *running* keruntuhan bendungan menggunakan program DAMBRK.

Tabel 6. Perhitungan PMP

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)
1	2003	63.50
2	2007	63.50
3	2001	65.90
4	2000	66.40
5	2011	75.00
6	1998	118.00
7	2004	119.00
8	2008	119.00
9	1999	120.50
10	2002	129.00
11	2005	168.00
12	2009	168.00
13	2006	215.00
14	2010	215.00

Sumber : BMKG Negara, Kec. Jembrana

Xn	=	121,84
Sn	=	53,28
X(n-m)	=	114,68
S(n-m)	=	47,92
Faktor koreksi Xn :		
Faktor adjusment 1	=	99,89
Faktor adjusment 2	=	103,50

Xn terkoreksi	=	125,97
Faktor koreksi Sn :		
Faktor adjusment 1	=	106,72
Faktor adjusment 2	=	114,61
Sn terkoreksi	=	65,17
Variabel Km :		
T	=	6 jam
Km	=	10,50
Faktor reduksi DAS	=	0,99
PMP	=	889,34 mm

Tabel 7. Hidrograf Banjir Q PMF Metode Nakayasu

No.	Waktu (jam)	UH (m3/det/mm)	Debit m ³ /det
1	-	-	0.10
2	1.00	0.97	55.77
3	2.00	2.03	180.06
4	3.00	0.80	616.10
5	4.00	0.41	1,093.21
6	5.00	0.22	694.10
7	6.00	0.14	513.56
8	7.00	0.08	339.82
9	8.00	0.05	172.67
10	9.00	0.03	98.59
11	10.00	0.02	58.48
12	11.00	0.01	35.53
13	12.00	0.01	21.60
14	13.00	0.00	13.15
15	14.00	0.00	8.02
16	15.00	0.00	4.90
17	16.00	0.00	3.02
18	17.00	0.00	1.87
19	18.00	0.00	1.17
20	19.00	0.00	0.75

Sumber : Hasil Perhitungan

B. Penelusuran Banjir melalui Pelimpah (Flood Routing)

Perhitungan penelusuran banjir melewati pelimpah didasarkan pada lengkung kapasitas waduk. Jadi terdapat suatu *inflow* dari banjir dengan kala ulang tertentu kemudian ditampung ke dalam waduk sehingga terdapat *outflow* yang dilepaskan melewati pelimpah menuju ke sungai. Sedangkan elevasi muka air waduk maksimum tergantung dari dimensi dan tipe pelimpah.

Pada prinsipnya penelusuran banjir pada waduk berdasarkan persamaan kontinuitas sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

$$Inflow - Outflow = \text{Perubahan Kapasitas}$$

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \quad (8)$$

dimana :

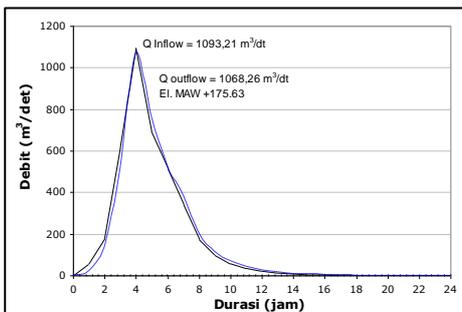
I = debit yang masuk ke dalam bagian memanjang palung sungai (m³/det)

Q = debit yang keluar dari akhir bagian memanjang palung sungai (m^3/det)
 S = besarnya tampungan (*storage*) dalam bagian memanjang palung sungai
 dt = periode penelusuran (detik, jam, hari)

Tabel 8. Hidrograf Banjir Q PMF

T (jam)	Q _{inflow} m ³ /det	Q _{outflow} m ³ /det	Elevasi (m)
0	0.100	0.100	171.502
1	55.767	23.376	171.875
2	180.057	138.838	172.682
3	616.101	510.142	174.143
4	1093.209	1068.260	175.629
5	694.100	767.499	174.888
6	513.563	519.494	174.172
7	339.818	382.137	173.714
8	172.667	202.428	172.994
9	98.588	112.582	172.535
10	58.478	69.637	172.262
11	35.526	42.891	172.057
12	21.598	26.985	171.914
13	13.146	17.432	171.804
14	8.017	10.761	171.724
15	4.904	7.252	171.665
16	3.016	5.026	171.614
17	1.869	3.280	171.575
18	1.174	2.091	171.548
19	0.752	1.328	171.530
20	0.495	0.852	171.519
21	0.340	0.558	171.513
22	0.246	0.379	171.509
23	0.188	0.269	171.506
24	0.154	0.203	171.505

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 8. Penelusuran Banjir Pada QPMF Bendungan Benel

C. Hasil Running Program DAMBRK

Berdasarkan tinggi banjir hasil analisa keruntuhan bendungan akibat *overtopping* maupun *piping*, diketahui bahwa elevasi muka air banjir akibat *piping* lebih tinggi daripada *overtopping*, sehingga akan menyebabkan jumlah penduduk terkena resiko akibat *piping* akan lebih besar daripada *overtopping*. Dengan demikian tinggi banjir akibat *piping* ini yang akan digunakan untuk menyusun peta genangan banjir.

Debit puncak banjir yang terjadi yang menyebabkan terjadinya keruntuhan bendungan adalah :

- a. Kondisi *overtopping* : 2880,0 m³/det
- b. Kondisi *piping* : 3658,0 m³/det

D. Hasil Hazard Klasifikasi

Berdasarkan hasil analisa daerah genangan banjir maka diperoleh estimasi jumlah penduduk yang terkena resiko dampak banjir adalah 1281 KK. Ditinjau dari jumlah penduduk dan jarak daerah terkena resiko dari bendungan maka dapat disimpulkan bahwa Bendungan Benel termasuk kategori bendungan dengan Tingkat Klasifikasi Bahaya 3 atau Bahaya Agak Tinggi.

Tabel 9. Jarak Daerah Resiko Banjir dari Bendungan

No.	Daerah Terkena Resiko		Jarak dari dam (km)
	Kampung	Desa	
1	Mekarsari Timur	Manistutu	1.00
2	Munduk Kendung Utara	Berangbang	2.40
3	Munduk Kendung Selatan	Berangbang	3.80
4	Benel Utara	Manistutu	4.60
5	Lip lip Utara	Kaliakah	4.60
6	Benel Selatan	Manistutu	5.80
7	Pangkungbuluh kangin	Kaliakah	6.10
8	Katulampa Kelod & Pangkung Manistut	Manistutu	6.60
9	Katulampa Kelod & Pangkung Manistut	Kaliakah	8.00
10	Pebuaan	Banyubiru	12.50
11	Mundukkranti	Tukadaya	12.50
12	Mundukbayur	Tuwed	15.60
13	Candikusuma	Candikusuma	16.40

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 10. Jumlah Penduduk Terkena Dampak Resiko Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

No.	Daerah Terkena Resiko	Penduduk Terkena Resiko		
		Total		Kumulatif
	Kampung	(jawa)	(KK)	(KK)
1	Mekarsari Timur	215	54	54
2	Munduk Kendung Utara	220	55	109
3	Munduk Kendung Selatan	350	88	197
4	Benel Utara	145	36	233
5	Lip lip Utara	100	25	258
6	Benel Selatan	355	89	347
7	Pangkungbuluh kangin	300	75	422
8	Katulampa Kelod & Pangkung Manistut	780	195	617
9	Katulampa Kelod & Pangkung Manistut	330	83	700
10	Pebuaan	730	183	883
11	Mundukkranti	300	75	958
12	Mundukbayur	895	224	1182
13	Candikusuma	395	99	1281
Jumlah		5,115	1,281	1,281

Sumber : Hasil Perhitungan

E. Sistem Evakuasi

Sistem evakuasi ditentukan berdasarkan hasil analisis dari waktu tiba banjir. Sebagai gambaran, waktu tiba banjir di Desa Mekarsari Timur yang merupakan desa terdekat di hilir Bendungan Benel dengan jarak sekitar 1 km

adalah sekitar 1 jam 18 menit, sementara pada Desa Candikusuma, Kecamatan Malaya, Kabupaten Jembrana yang terletak paling jauh dari Bendungan Benel dengan jarak sekitar 16,40 km adalah lebih kurang 3 jam 18 menit. Berdasarkan kondisi tersebut dapat dilihat bahwa waktu antara runtuhnya Bendungan Benel dengan tibanya banjir pada lokasi terkena banjir masih dapat dimanfaatkan untuk proses pengungsian. Berikut ini disajikan tabel daerah terkena resiko banjir, waktu tiba banjir dan daerah evakuasi akibat keruntuhan bendungan :

Tabel 11. Daerah Terkena Resiko dan Waktu Tiba Banjir akibat Keruntuhan Bendungan Benel

No.	Daerah Terkena Resiko		Jarak dan	Waktu Tiba Banjir	
	Kampung	Desa		Jam	Menit
1	Mekarsari Timur	Manistutu	1.00	1	18
2	Munduk Kendung Utara	Berangbang	2.40	1	30
3	Munduk Kendung Selatan	Berangbang	3.80	1	30
4	Benel Utara	Manistutu	4.60	1	30
5	Lip lip Utara	Kaliakah	4.60	1	30
6	Benel Selatan	Manistutu	5.80	1	36
7	Pangkubuluh Kangin	Kaliakah	6.10	1	42
8	Katulampa Kelod & P.Manistutu	Manistutu	6.60	1	42
9	Pangkubuluh Kauh	Kaliakah	8.00	1	42
10	Pebuah	Banyubiru	12.50	2	18
11	Mundukkranti	Tukadaya	12.50	2	18
12	Mundukbayur	Tuwed	15.60	3	0
13	Candikusuma	Candikusuma	16.40	3	18

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 12. Daerah Pengungsian dan Waktu Surut Banjir akibat Keruntuhan Bendungan Benel

No.	Tempat Pengungsian			Waktu Surut Banjir (jam)
	Kampung	Desa	Jarak (km)	
1	Mekarsari Utara	Manistutu	1.00	4.0
2	Munduktumpeng	Berangbang	3.00	4.0
3	Munduktumpeng kelod	Berangbang	1.70	4.0
4	Tunasmekar	Manistutu	1.00	4.0
5	Lip lip	Kaliakah	2.00	4.0
6	Tunasmekar	Manistutu	1.50	4.2
7	Banyubiru Kauh	Kaliakah	1.30	4.2
8	Katulampa Kaja	Manistutu	2.00	4.2
9	Banyubiru Kauh	Kaliakah	1.50	4.2
10	Pangkung Panes	Banyubiru	2.50	5.5
11	Pangkungjajang, Banyubiru Kauh	Tukadaya	1.50	5.5
12	Taman	Tuwed	2.00	5.5
13	Berawantangi Kaja	Candikusuma	3.00	5.5

Sumber : Hasil Perhitungan

Daerah evakuasi walaupun hanya bersifat sementara, lokasi ini harus memenuhi syarat-syarat kelayakan untuk dihuni. Daerah evakuasi ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut :

1. Terbebas dari genangan air/banjir.
2. Desa terdekat .
3. Tidak menyeberang sungai.
4. Ada jalan menuju pengungsian yang dapat dilalui kendaraan.
5. Tidak menuju arah datangnya banjir.
6. Kemudahan prasarana antara lain jalan masuk, air bersih, listrik dan MCK.
7. Kemudahan memperoleh sarana antara lain tenda, tenaga medis, obat-obatan dan lain-lain.

Sedangkan sarana dan prasarana yang diperlukan selama proses evakuasi antara lain :

- Sarana transportasi
 - a. Truk / Bus : 50 orang / unit
 - b. Pick Up : 10 orang / unit
 - c. Colt : 8 orang / unit
 - d. Mini bus : 25 orang / unit
- Ruang berteduh (papan/tenda)
- Bahan makanan
- Air Bersih
- Obat-obatan

F. Sistem Siaga Bendungan

Salah satu upaya yang bisa dilakukan dalam mengantisipasi bencana khususnya akibat kegagalan bendungan adalah menyiapkan suatu pedoman siaga banjir yang disesuaikan dengan karakteristik bendungan.

1. Siaga Bendungan III

Indikasi :

- Pembacaan tekanan air pori pada alat piezometer meningkat secara tajam dari biasanya.
- Lereng hilir bendungan tampak basah karena jenuh air.
- Terjadi kenaikan rembesan yang cukup besar dan berwarna keruh.

Tindakan Pencegahan :

- Memonitor secara intensif instrumen bendungan.
- Melakukan analisa pada kerusakan dan anomali yang terjadi.
- Melakukan perbaikan untuk menghambat kerusakan.
- Menurunkan muka air waduk sampai dibawah lokasi kerusakan atau di elevasi yang aman.

Pemberitahuan dan Komunikasi :

- Petugas bendungan melapor ke koordinator tindak darurat bendungan
- Koordinator tindak darurat bendungan melapor ke pengelola bendungan

- Dalam keadaan mendesak apabila atasan langsung tidak berada di tempat, petugas dapat langsung melapor ke tingkat atasan yang lebih tinggi

2. Siaga Bendungan II

Indikasi :

- Air rembesan bertambah keruh dan mulai membawa butiran material.
- Timbul mata air di hilir bendungan yang menandakan adanya bocoran baru.
- Terjadi penurunan mendadak pada tubuh bendungan.
- Terjadi pusaran air di waduk.
- Ada rekahan erosi melalui tubuh bendungan, pondasi atau tumpuan
- Ada longsoran pada lereng bagian hulu atau hilir bendungan.
- Ada peningkatan tiba-tiba tinggi muka air sumur penduduk di sekitar waduk.

Tindakan Pencegahan :

- Memonitor secara intensif instrumen bendungan.
- Melakukan perbaikan untuk menghambat laju kerusakan.
- Menurunkan muka air waduk sampai dibawah lokasi kerusakan atau di elevasi yang aman.
- Menempatkan karung pasir di daerah pusaran air untuk menutup lubang bocoran.
- Mengisi rekahan dengan material.
- Menstabilkan longsoran di lereng hilir dengan memperberat kaki bendungan dengan tambahan urugan tanah, pecahan batu atau kerikil.

Pemberitahuan dan Komunikasi :

- Pengelola bendungan koordinasi dengan Satlak PBP.
- Satlak PBP bersiaga penuh untuk persiapan evakuasi penduduk.

3. Siaga Bendungan I

Indikasi :

- Aliran bocoran semakin besar dan tidak dapat diatasi/terkendali.
- Aliran bocoran semakin keruh dan terlihat jelas membawa material.
- Rekahan akibat rembesan semakin membesar.
- Terjadi penurunan yang sangat besar dan tidak merata pada tubuh bendungan.

- Bendungan dinyatakan gagal fungsi dan akan segera runtuh.

Tindakan Pencegahan :

- Terus berupaya mengamankan bendungan dengan segera melakukan rehabilitasi atau perbaikan.
- Terus berupaya menurunkan muka air waduk dengan pompa-pompa air untuk mengurangi dampak bencana.

Pemberitahuan dan Komunikasi :

- Pengelola bendungan melaporkan ke Bupati Jembrana selaku Ketua Satlak PBP untuk segera melakukan evakuasi
- Penduduk dievakuasi ke tempat yang telah ditentukan.

G. Pengakhiran Keadaan Darurat

Penentuan pengakhiran keadaan darurat akibat dampak bencana, ditentukan dengan memperhatikan dua hal yaitu :

1. Pengakhiran Keadaan Darurat Pada Bendungan

Kondisi keadaan darurat di bendungan merupakan tanggung jawab Pengelola Bendungan, oleh karena itu Pengakhiran Keadaan Darurat bagi Bendungan Benel juga harus dinyatakan oleh Pengelola Bendungan dalam hal ini oleh Balai Wilayah Sungai Bali – Penida.

Dalam kasus keadaan darurat yang disebabkan oleh bahaya banjir, harus ada komunikasi atau berhubungan dengan pihak Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) dan Stasiun Klimatologi untuk mendapat keterangan mengenai perkiraan keadaan cuaca

Keadaan darurat pada bendungan dinyatakan berakhir, jika bendungan dan bangunan penunjangnya sudah dilakukan perbaikan seperlunya, tidak ada lagi gejala bahwa air waduk akan berusaha keluar dalam jumlah yang cukup membahayakan, dan keadaan keseluruhan bendungan telah dinyatakan cukup aman oleh Balai Bendungan.

Apabila bendungan sudah dinyatakan aman, maka pengelola bendungan dalam hal ini adalah Kepala Balai Wilayah Sungai Bali – Penida harus memberitahu ke Bupati Jembrana bahwa keadaan darurat bendungan sudah berakhir atau sudah aman.

2. Pengakhiran Keadaan Darurat Di Hilir

Pengakhiran keadaan darurat di daerah hilir bendungan dinyatakan oleh Bupati

Jembrana. Keadaan di hilir sudah cukup layak untuk ditempati kembali, jika :

- a. Air dari genangan waduk sudah tidak lagi mengeluarkan air dalam jumlah yang cukup besar atau membahayakan, dimana hal ini telah dinyatakan aman oleh Balai Bendungan melalui Balai Wilayah Sungai Bali - Penida sebagai pihak Pengelola Bendungan.
- b. Air yang menggenang didaerah tersebut telah surut dengan kedalaman dibawah 0,60 m, dan telah dilakukan perbaikan atau pembersihan sehingga sudah tidak membahayakan lagi untuk dihuni.

Pengakhiran Keadaan Darurat ini harus disepakati oleh Pihak Balai Wilayah Sungai Bali - Penida selaku Pengelola Bendungan, Bupati Jembrana selaku Pemerintah Kabupaten Jembrana, dan melibatkan Dinas Informasi dan Komunikasi Kabupaten Jembrana. Berita ini harus disiarkan secara resmi kepada masyarakat melalui media massa seperti radio, televisi ataupun media cetak.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan tinggi banjir hasil analisis keruntuhan bendungan akibat *overtopping* maupun *piping*, diketahui bahwa elevasi muka air banjir akibat *piping* lebih tinggi daripada akibat *overtopping*, sehingga menyebabkan penduduk terkena resiko akibat *piping* akan lebih besar daripada *overtopping*. Dengan demikian tinggi banjir akibat *piping* ini yang akan digunakan untuk menyusun peta genangan banjir.
3. Analisa keruntuhan bendungan Benel yang terjadi akibat *piping* dengan debit *outflow* sebesar 3658,0 m³/dt pada km. 0 (nol).
4. Klasifikasi Bahaya Bendungan Benel diperhitungkan berdasarkan pada jumlah penduduk secara kumulatif yang bermukim di bagian hilir bendungan yang akan terkena bencana. Estimasi jumlah penduduk terkena resiko adalah sebesar 1281 KK, maka Bendungan Benel termasuk kategori bendungan dengan Tingkat Klasifikasi Bahaya 3 atau Bahaya Agak Tinggi. Sedangkan luas daerah banjir yang terjadi pada hilir Bendungan Benel sesuai dengan sistem klasifikasi bahaya banjir yaitu pada DB III (kedalaman 0 ~ 0,60 m) sebesar

664.507 ha, pada DB II (kedalaman 0,60 ~ 1,50 m) sebesar 1305.056 ha dan pada DB I (kedalaman > 1,50 m) sebesar 2233.773 ha.

5. Pengungsian hanya dilakukan dengan alasan yang sangat kuat karena adanya ancaman banjir akibat runtuhnya bendungan terutama terhadap Daerah Bahaya 1 dan Daerah Bahaya 2.
7. Sistem mitigasi bencana banjir yang direncanakan akibat keruntuhan Bendungan Benel adalah sebagai berikut :
 - a. Sebelum terjadi bencana
 - Melakukan monitoring instrumentasi bendungan dan memeriksa bagian bendungan atau pondasi yang rusak.
 - Melakukan analisis terhadap kerusakan dan anomali yang terjadi.
 - Segera melakukan perbaikan atau rehabilitasi pada setiap bagian tubuh bendungan yang kondisinya mengalami kerusakan.
 - Menentukan lokasi daerah evakuasi dan melakukan sosialisasi rencana daerah evakuasi terhadap masyarakat yang terkena dampak banjir.
 - b. Saat terjadi bencana
 - Sebelum mengungsi ke daerah evakuasi mematikan aliran listrik dalam rumah atau menghubungi PLN untuk mematikan aliran listrik di wilayah yang terkena dampak banjir.
 - Mengungsi ke lokasi daerah evakuasi yang telah ditentukan mengikuti jalur evakuasi yang sudah direncanakan.
 - c. Setelah terjadi bencana
 - Secepatnya membersihkan rumah, terutama bagian lantai menggunakan antiseptik untuk membunuh kuman.
 - Mewaspadaai terjangkitnya virus atau kuman yang menyebabkan terjadinya wabah penyakit yang bisa saja terjadi karena kondisi air yang tergenang selama beberapa waktu.

Berdasarkan kesimpulan yang telah dikemukakan tersebut diatas, berikut ini disampaikan beberapa saran yang terkait dengan studi ini antara lain :

1. Perlu dibangun sistem peramalan banjir dan peringatan dini (*Flood Warning and Forcasting System*) untuk Bendungan Benel berupa pemasangan perangkat *telemetry warning system*. Pembangunan *telemetry warning system* Bendungan Benel hendaknya dilengkapi dengan pemasangan perangkat *Automatic Water Level Record*

(AWLR) di bagian hulu aliran dan melakukan perbaikan terhadap stasiun pengamat hujan yang telah rusak.

2. *Flood Warning and Forecasting System* yang disarankan adalah suatu sistem yang dapat digunakan untuk meramal tentang waktu dan besarnya muka air dan debit yang akan terjadi pada suatu titik pengamatan yang terjangkau di dalam sistem tersebut sehingga dapat memberikan informasi secara dini kepada masyarakat di daerah rawan banjir. Pada dasarnya sistem ini terdiri dari 2 (dua) komponen utama yaitu komponen *hardware* (perangkat keras) dan komponen *software* (perangkat lunak).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1991. *User's Manual Boss Dambrk*. USA : *Boss Corporation*
- BR, Sri Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. **Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi Dengan Metode Hersfield**. (RSNI T-02-2004).
- Chow, Ven Te. 1959. *Open Channel Hydraulics*. New York. Mc. Graw – Hill.
- Chow, Ven Te. 1998. *Applied Hydrology*. New York. Mc. Graw – Hill.
- Keputusan Direktur Jenderal Pengairan Nomor 108/KPTS/A/1998 Tanggal 22 Desember 1998 Pedoman Klasifikasi Bahaya Bendungan
- Keputusan Direktur Jenderal Pengairan Nomor 94/KPTS/A/1998 Tanggal 30 Juli 1998 Pedoman Penyiapan Rencana Tindak Darurat
- Keputusan Direktur Jenderal Sumber Daya Air/ Nomor 05/KPTS/1998 Maret 2003 Pedoman Penyiapan Rencana Tindak Darurat.
- PT. Dehas Inframedia Karsa. 2009. Laporan Pendahuluan *Dam Break Analysis Waduk Benel di Kabupaten Jembrana*.
- Soemarto, C.D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta : Erlangga.