

Analisis Wilayah Tergenang dan Perilaku Banjir pada Simulasi Kegagalan Bendungan Ciawi

Dandi Wirustyastuko

Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air - Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: dandi_tuko@yahoo.co.id

Joko Nugroho

Kelompok Keahlian Sumber Daya Air Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132, E-mail: joko1974@yahoo.com

Abstrak

Paper ini menyajikan hasil analisis wilayah yang berpotensi terkena genangan banjir apabila Bendungan Ciawi mengalami kegagalan dan membuat peta daerah bahaya bencana banjir. Analisis wilayah tergenang dan perilaku banjir dalam studi ini menerapkan program ZhongXing HY-21 untuk membuat hidrograf aliran keluar dari bendungan, menganalisis tinggi genangan dan cepat rambatan banjir serta mengetahui sebaran wilayah yang terkena genangan. Selanjutnya dari parameter tersebut akan dilakukan analisis resiko genangan dengan penentuan klasifikasi resiko bencana untuk daerah hilir bendungan ditinjau dari tinggi genangan dan penduduk terkena resiko bencana. Debit outflow maksimum terjadi pada rekahan akibat keruntuhan Bendungan untuk skenario kasus piping yaitu 83690,9 m³/s (pada waktu ±0,52 jam saat proses keruntuhan). Jumlah wilayah terbesar yang terkena dampak genangan mencapai 21 Kecamatan dari 6 Kabupaten untuk skenario kasus overtopping. Klasifikasi tingkat resiko untuk daerah hilir Bendungan Ciawi secara umum termasuk dalam kategori dengan nilai 3 (Tingkat Resiko Menengah) dan kategori Daerah Bahaya Bencana 3 (tinggi genangan > 2 m).

Kata-kata Kunci: Keruntuhan bendungan, Klasifikasi resiko bencana, ZhongXing HY – 21.

Abstract

This paper presents the area potentially affected by flood inundation in case of Ciawi Dam failure and to make a map of the flood hazard areas. Analysis of the flood inundation and its behavior in this study were done by application of the ZhongXing HY-21 program. The application of software resulted some parameters, i.e : the outflow hydrograph through the dam, analyzing the water level, flood travel time and determining the distribution of the affected areas by inundation. Further more from these parameters will be analyzed to determine the risk of inundation by determining the downstream hazard classification in term of water level and risk recipient population. Dam failure due to piping case scenario has the largest discharge outflow which is 83690,9 m³/s (± 0.52 hours at the process of the failure). The largest number of areas affected by inundation reached 21 Sub-districts of 6 Districts to overtopping case scenario. The classification of Ciawi Dam downstream hazard generally included in the category with a value of 3 (Intermediate Risk Level) and category 3 of Disaster Hazard Areas (water level > 2 m).

Keywords: Dambreak, Downstream hazard classification, ZhongXing HY-21.

1. Pendahuluan

Bencana banjir di DKI Jakarta telah banyak menyebabkan kerugian. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir telah terjadi tiga kejadian bencana banjir besar yang menimpa DKI Jakarta. Guna meningkatkan faktor kemampuan (*capacity*) untuk meminimalisir resiko bencana banjir, Pemerintah Daerah DKI Jakarta berencana membangun infrastruktur pengendali banjir, salah satunya adalah Bendungan Ciawi.

Bendungan selain dapat berperan sebagai faktor yang dapat meningkatkan kemampuan (*capacity*) dalam

menurunkan resiko terhadap bencana, bendungan dapat pula menjadi sebuah faktor ancaman bencana (*hazard*) baru. Bencana banjir besar dapat menjadi sebuah bencana baru bila sebuah bendungan mengalami keruntuhan. Air yang tertampung oleh bendungan akan mengalir menuju hilir bendungan dengan karakteristik debit yang sangat besar serta kecepatan yang tinggi. Bila kapasitas tampung alur sungai tidak mampu menampung aliran maka air akan meluap ke arah kanan dan kiri dari alur sungai dan dapat menggenangi daerah hilir bendungan yang umumnya padat penduduk. Analisis tentang sebaran wilayah tergenang,

tinggi muka air genang, dan cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*) menjadi suatu yang diperlukan. Dengan analisis tersebut maka dapat diketahui resiko bencana pada wilayah-wilayah yang terkena dampak bencana.

Berdasarkan uraian di atas, maka studi tentang analisis wilayah tergenang dan perilaku banjir pada simulasi kegagalan Bendungan Ciawi perlu dilakukan, mengingat untuk menindak lanjuti rencana pembangunan Bendungan Ciawi dan mengantisipasi ancaman bahaya kegagalan dari bendungan tersebut. Untuk mengetahui sebaran wilayah yang terkena dampak dari kegagalan Bendungan Ciawi dan perilaku banjir yang terjadi pada daerah hilir bendungan maka dalam studi ini dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan *software* ZhongXing – HY 21 yang dikeluarkan oleh Sinotech Engineering Consultant, Taiwan.

2. Persamaan Pengatur

Pada *software* ZhongXing – HY 21, konservasi massa dan momentum arah aliran dalam pemodelan diatur dengan persamaan (*governing equation*) 2 dimensi gelombang air dangkal atau *2D Shallow Water Equation* yang berasal dari persamaan 3D Navier-Stokes dengan membuat beberapa asumsi tertentu dan persamaan rata – rata kedalaman aliran.

Secara umum persamaan kontinuitas dari persamaan 2 dimensi gelombang air dangkal adalah sebagai berikut (Sinotech Engineering Group, 2011):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = S^h \quad (1)$$

atau

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S \quad (2)$$

Dan persamaan momentum untuk masing – masing arah (x, y) sebagai berikut :

a. Momentum arah X :

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \Omega q + \frac{(\tau_x^s - \tau_x^b)}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}^e) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}^e) \right] - \frac{h}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} + S^p \quad (3)$$

b. Momentum arah Y :

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \Omega q + \frac{(\tau_y^s - \tau_y^b)}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}^e) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}^e) \right] - \frac{h}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} + S^q \quad (4)$$

dengan:

$$Q = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} h \\ hu^2 + 0.5gh^2 \\ huv \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} h \\ huv \\ hv^2 + 0.5gh^2 \end{bmatrix};$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ ghS_{0x} - ghS_{fx} \\ ghS_{0y} - ghS_{fy} \end{bmatrix}$$

dimana *u* dan *v* masing – masing menunjukkan kecepatan dalam arah *x* dan *y*, *h* adalah kedalaman air, *g* merupakan percepatan gravitasi, *S_{ox}* dan *S_{oy}* merupakan kemiringan dasar untuk arah *x* dan *y*, dan *S_{fx}* dan *S_{fy}* masing – masing merupakan kemiringan dasar untuk arah *x* dan *y*.

2.1 Model turbulensi

Untuk pemodelan turbulensi pada program ini menggunakan konsep Boussinesq's Eddy Viscosity dan persamaannya adalah sebagai berikut (Sinothech, 2011):

$$\frac{h\tau_{ij}^e}{\rho} = \nu_t \left[\frac{\partial(hu_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(hu_i)}{\partial x_j} \right] - \frac{2}{3} kh\delta_{ij} \quad (5)$$

2.2 Solusi metode numerik

Persamaan konservatif pada pemodelan ini adalah sebagai berikut (Sinothech, 2011):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial F_v}{\partial x} + \frac{\partial G_v}{\partial y} + H \quad (6)$$

dengan:

$$Q = \begin{bmatrix} h \\ p \\ q \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} p \\ hu^2 + 0.5gh^2 \\ huv \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} q \\ huv \\ hv^2 + 0.5gh^2 \end{bmatrix};$$

$$F_v = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{h\tau_{xx}^e}{\rho} \\ \frac{h\tau_{xy}^e}{\rho} \end{bmatrix}; G_v = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{h\tau_{xy}^e}{\rho} \\ \frac{h\tau_{yy}^e}{\rho} \end{bmatrix};$$

$$H = \begin{bmatrix} S^h \\ S^p - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \Omega q + \frac{(\tau_x^s - \tau_x^b)}{\rho} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} \\ S^q - gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \Omega q + \frac{(\tau_y^s - \tau_y^b)}{\rho} - \frac{h}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Solusi metode numerik yang digunakan pada *software* ZhongXing HY – 21 adalah Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method*) dengan persamaan aliran dalam bentuk *integral-differential* adalah sebagai berikut (Sinothech, 2011) :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} Q d\Omega + \int_{\partial\Omega} (E - E_v) ds = \int_{\Omega} H d\Omega \quad (7)$$

dimana *E* dan *E_v* dalam arah normal :

$$E = F n_x + G n_y \quad (8)$$

$$E_v = F_v n_x + G_v n_y \quad (9)$$

2.3 Waktu integrasi

Persamaan metode garis yang digunakan pada software ini adalah sebagai berikut (Sinothech, 2011):

$$\frac{\partial}{\partial t}(QV)_c = \sum_{l=1}^{nedge} (E^N - E_v^N)_c^l + (HV)_c \quad (10)$$

Dimana untuk metode implisit yang digunakan untuk menyelesaikannya menggunakan LUSSOR (*Lower-Upper Symmetric Successive Over-Relaxation*) sedangkan metode eksplisit menggunakan 1st order atau 2nd order Runge-Kutta.

3. Metodologi

Tahapan – tahapan yang dilakukan pada studi keruntuhan bendungan, agar diperoleh informasi resiko bencana pada daerah yang terkena dampak dari kegagalan Bendungan Ciawi adalah sebagai berikut :

a. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dimaksudkan untuk menentukan hidrograf banjir inflow ke waduk berupa debit Banjir Maksimum BolehJadi (PMF) yang mengakibatkan bendungan mengalami *overtopping*. Input debit PMF berdasarkan dari hasil analisis studi terdahulu yang telah dilakukan oleh BBWS Ciliwung – Cisdane tahun 2006 dalam laporan hidrologi Detail Desain Waduk Ciawi Tahap III.

b. Analisis Spasial

Analisis spasial dimaksudkan untuk menganalisis peta DEM (*Digital Elevation Model*) dan Rupa Bumi Indonesia (RBI) Digital sebagai inputan dalam simulasi kegagalan bendungan dan juga sebagai batasan wilayah studi yaitu DAS Ciliwung.

c. Analisis Penelusuran Hidrodinamik Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

Analisis *penelusuran* hidrodinamik banjir menggunakan software ZhongXing – HY 21, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh keruntu-

han bendungan terhadap daerah hilir sehingga prilaku banjir di daerah hilir dapat diketahui antara lain : sebaran wilayah tergenang, cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*). Dari hasil analisis akan diperoleh peta genangan banjir pada daerah hilir bendungan. Untuk simulasi keruntuhan Bendungan Ciawi akan dilakukan dua skenario, yaitu keruntuhan akibat *overtopping* dan *piping*.

Pada proses simulasi, parameter yang digunakan sebagai inputan software ZhongXing – HY 21 adalah debit PMF, data teknis bendungan, peta *Digital Elevation Model* dan peta RBI Digital. Sedangkan mesh yang digunakan yaitu untuk kerapatan mesh keseluruhan (*Global Triangle Constraints*) adalah $area(m^2) < 1.000.000$ dan untuk kerapatan mesh regional (*Regional Triangle Constraints*) adalah berkisar $area(m^2) < 250.000$ sampai dengan $area(m^2) < 750.000$.

d. Analisis Sebaran Wilayah Genangan dan Resiko

Analisis sebaran wilayah genangan dan resiko dimaksudkan untuk mengetahui kondisi pada wilayah genangan, mengetahui parameter resiko genangan pada lokasi tinjauan yaitu meliputi tinggi genangan, jarak lokasi genangan dari as bendungan dan subjek terkena resiko bencana yaitu penduduk. Selanjutnya parameter tersebut akan dikuantifikasi menjadi tingkatan indeks resiko bencana

Berikut pada **Tabel 1** di bawah akan dijelaskan tiga skenario kasus keruntuhan yang akan disimulasikan:

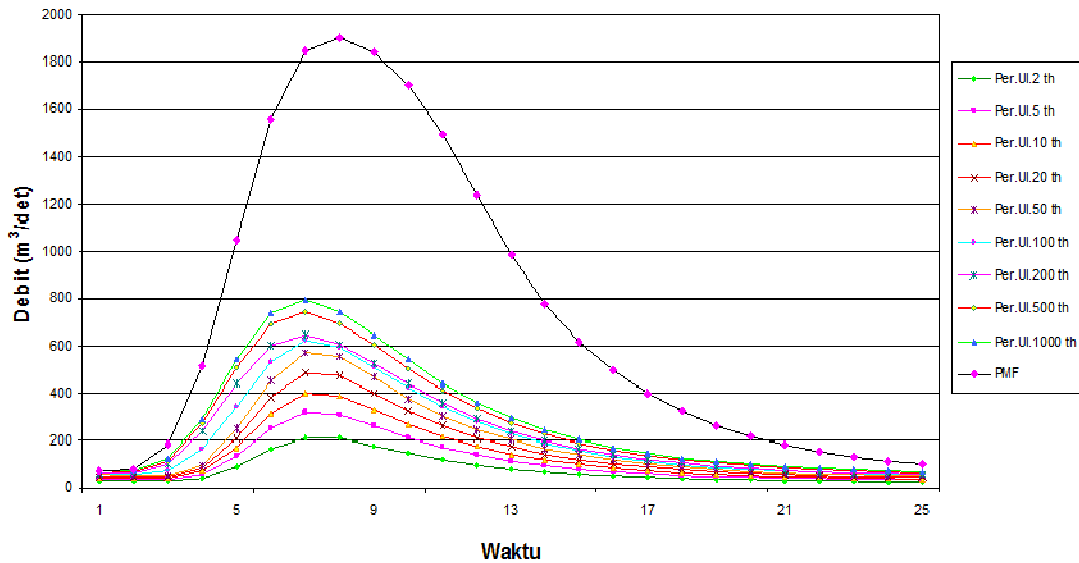
4. Analisis dan Pembahasan

4.1 Analisis hidrologi

Hasil analisis hidrologi yang telah dilakukan oleh BBWS Ciliwung – Cisdane tahun 2006 dalam laporan hidrologi Detail Desain Waduk Ciawi Tahap III menunjukkan bahwa puncak hidrograf debit PMF yang terjadi adalah 1904 m³/detik dengan waktu puncak pada jam ke-8, berikut pada **Gambar 1** akan disajikan gambar hidrograf banjir bendungan ciawi.

Tabel 1. Skenario kasus keruntuhan Bendungan Ciawi

Tipe	Bentuk Skenario	Elevasi muka air awal di waduk (m)	Elevasi Terjadinya Rekahan (m)	Elevasi Akhir Rekahan (m)	Lebar Rekahan (m)	Waktu Rekahan (detik)
Kasus 1	Overtopping	+ 570.5	+ 570.5	+ 490.5	360	3600
Kasus 2	Piping dengan inflow Q_{PMF}	+ 570.5	+ 510.5	+ 490.5	360	3600
Kasus 3	Piping tanpa inflow Q_{PMF}	+ 570.5	+ 510.5	+ 490.5	360	3600



Gambar 1. Grafik hidrograf banjir Bendungan Ciawi (Sumber : BBWS Ciliwung – Cisadane, 2006)

4.2 Analisis spasial

Hasil analisis spasial memperlihatkan bahwa DAS Ciliwung memiliki topografi (-0) – >2000 m, dimana bila dibagi berdasarkan 3 segementasi wilayah DAS (hulu, tengah, hilir) maka topografi DAS Ciliwung adalah sebagai berikut :

- Hulu : elevasi berkisar 300 – >2000 meter
- Tengah : elevasi berkisar 80 – 300 meter
- Hilir : elevasi berkisar (-0) – 80 meter

Selain itu terdapat beberapa percabangan alur sungai disekitar Sungai Utama (Ciliwung) yang terhubung langsung maupun tidak langsung dengan Sungai Ciliwung.

4.3 Analisis keruntuhan bendungan

Pada kasus keruntuhan Bendungan Ciawi akibat *overtopping*, debit limpasan maksimum yang terjadi adalah 31901,9 m³/s pada jam ke ±0,78 atau 2810,58 detik disaat proses keruntuhan. Pada jam ke-3 terjadi peningkatan debit limpasan hal ini karena adanya debit inflow (Q_{PMF}) ke dalam waduk.

Untuk kasus keruntuhan Bendungan Ciawi akibat *piping* (dengan *inflow*), debit limpasan maksimum yang terjadi adalah 83690,9 m³/s pada jam ke ±0,52 atau 1886,59 detik disaat proses keruntuhan. Pada jam ke-5 terjadi peningkatan debit limpasan hal ini karena adanya debit inflow (Q_{PMF}) ke dalam waduk.

Sedangkan untuk keruntuhan Bendungan Ciawi akibat *piping* (tanpa *inflow*), debit limpasan maksimum yang terjadi adalah 75503,2 m³/s pada jam ke 0,548 atau 1972,8 detik disaat proses keruntuhan.

4.4 Analisis penelusuran hidrodinamik banjir

Pada kasus keruntuhan Bendungan Ciawi akibat *overtopping*, terdapat 21 Kecamatan dan 6 Kabupaten yang terkena dampak genangan banjir. Sedangkan Untuk kasus keruntuhan akibat *piping* (dengan *inflow*), terdapat 9 Kecamatan dan 2 Kabupaten dan untuk kasus keruntuhan akibat *piping* (tanpa *inflow*), terdapat 20 Kecamatan dan 6 Kabupaten yang terkena dampak genangan banjir. Daftar nama Kecamatan dan Kabupaten yang terkena dampak dari keruntuhan Bendungan Ciawi akan disajikan pada **Tabel 2**.

Pada kasus *overtopping* kecepatan aliran banjir rata-rata pada alur Sungai Ciliwung adalah 1,02 m/s, sedangkan untuk kasus *piping* (dengan *inflow*) dan *piping* (tanpa *inflow*) kecepatan aliran banjir rata-rata pada alur Sungai Ciliwung masing – masing 1,20 m/s dan 0,42 m/s.

Dan untuk hasil analisis waktu tiba banjir dan tinggi genangan maksimum yang terjadi pada masing – masing wilayah tergenang akan disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

4.5 Analisis sebaran wilayah genangan dan resiko

Hasil penelusuran hidrodinamik banjir memperlihatkan bahwa sebaran wilayah genangan yang terjadi baik pada skenario kasus keruntuhan akibat *overtopping* maupun *piping* tidak hanya berada pada wilayah DAS Ciliwung akan tetapi hingga mencapai daerah di luar wilayah DAS Ciliwung.

Berdasarkan tinjauan lokasi dengan peta DEM (*Digital Elevation Model*), peta kontur, peta jaringan sungai dan penampang melintang profil lahan daerah lokasi genangan, daerah genangan yang terjadi di luar wilayah DAS Ciliwung berada pada elevasi +330 – 140 meter dengan karakteristik kontur yang tidak terlalu rapat dan kemiringan lereng yang relative seragam. Demikian hal ini menyebabkan sebagian aliran banjir yang terjadi masuk pada wilayah DAS Bekasi.

Selain itu terdapat beberapa percabangan alur sungai disekitar Sungai Utama (Ciliwung) yang terhubung langsung maupun tidak langsung dengan Sungai Ciliwung menyebabkan aliran banjir yang terjadi menyebar hingga keluar wilayah DAS Ciliwung hingga masuk pada sebagian wilayah DAS Cisadane. Seperti yang telah diperlihatkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** sebagian wilayah genangan yang terjadi hingga masuk pada wilayah DAS Bekasi dan DAS Cisadane.

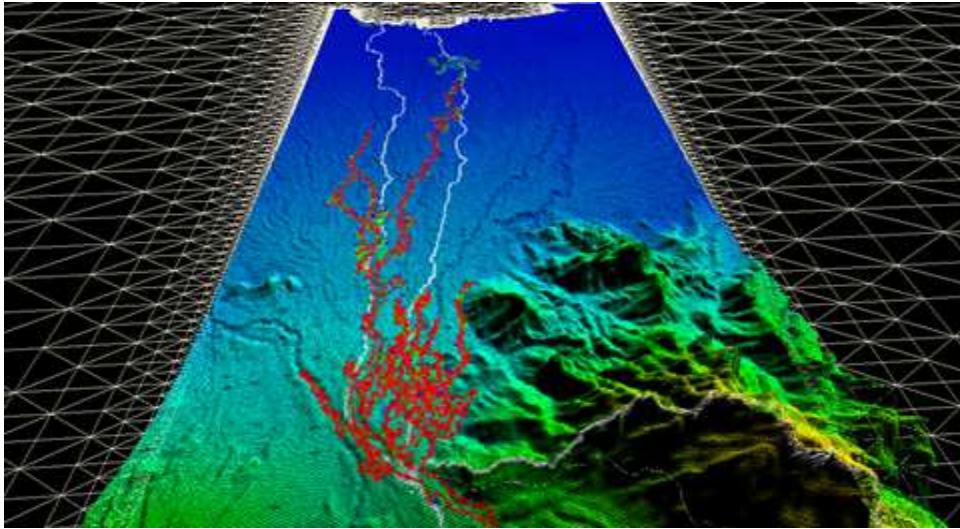
Tabel 2. Sebaran wilayah tergenang genangan banjir

No	Nama Kabupaten/Kota	Nama Kecamatan	Tipe Skenario Kasus Keruntuhan		
			Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3
1	Kab. Bogor	Megamendung	√	√	√
2		Bojonggede	√	√	√
3		Cibinong	√	√	√
4		Ciawi	√	√	√
5		Kedunghalang	√	√	√
6		Semplak	√	√	√
7	Kota Bogor	Bogor Selatan	√	√	√
8		Bogor Timur	√	√	√
9		Bogor Utara	√	√	√
10		Tanah Sereal	√	√	-
11	Depok	Pancoranmas	√	√	-
12		Beji	√	√	-
13		Sukmajaya	√	√	-
14	Jakarta Selatan	Jaga Karsa	√	√	-
15		Tebet	√	√	-
16		Pasar Minggu	√	√	-
17		Pancoran	√	√	-
18		Setia Budi	√	√	-
19	Jakarta Timur	Pasar Rebo	√	√	-
20	Jakarta Pusat	Menteng	√	√	-
21		Tanah Abang	√	-	-

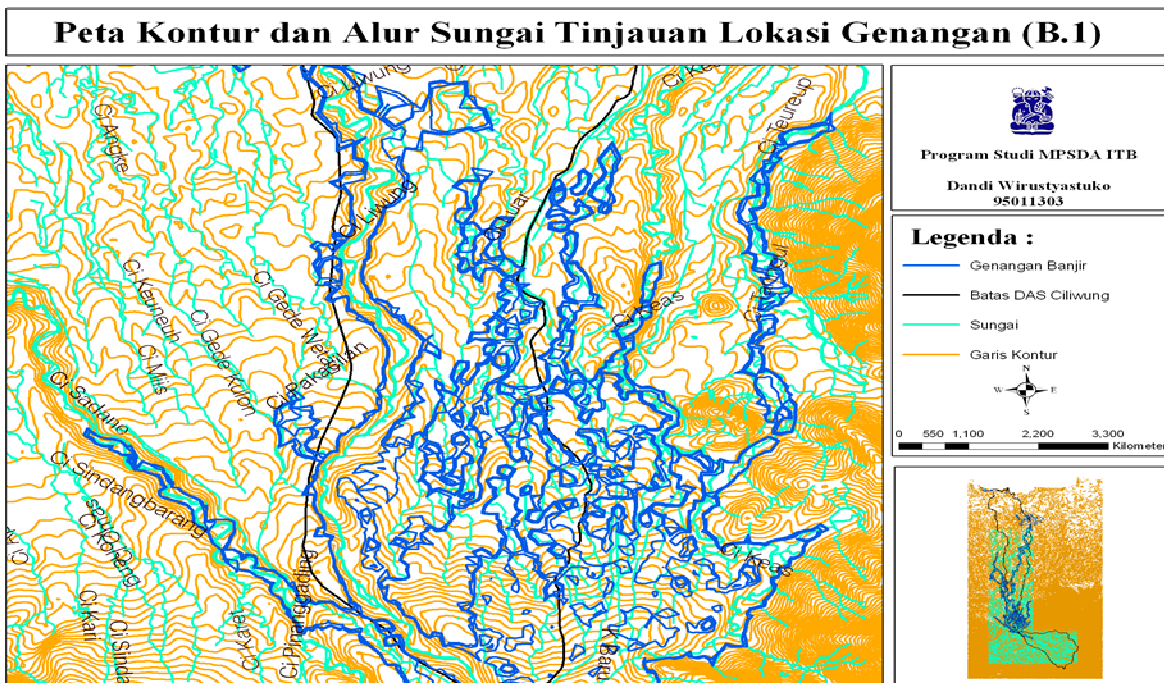
Ket : √ = Lokasi terkena dampak genangan pada tipe skenario kasus keruntuhan

Tabel 3. Cepat rambat aliran banjir (*flood travel time*)

Lokasi	Waktu Tiba Banjir (jam)			Tinggi Genangan Maksimum (m)		
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3
Kec. Megamendung	0.37	0.23	0.57	15,04	19.44	19.60
Kec. Ciawi	0.47	0.33	0.60	15,62	21.58	20.94
Daerah Katulampa	0.67	0.50	0.63	14,46	17.56	17.51
Kec. Bogor Selatan	0.67	0.50	0.67	17,76	20.66	20.39
Kec. Bogor Timur	0.80	0.60	0.70	3,40	6,00	5,87
Kec. KedungHalang	0.97	0.70	0.70	10,39	8.02	10.38
Kec. Bogor Utara	1.13	0.87	0.97	1,95	1.99	1.99
Kec. Tanah Sereal	1.33	1.07	1.23	20,95	19.80	19.81
Kec. Semplak	1.73	1.47	1.73	12,12	11.09	11.10
Kec. Bojonggede	1.87	1.60	2.03	24,49	24.16	24.16
Kec. Cibinong	2.03	1.83	-	20,50	20.50	-
Kec. Beji	13.13	13.43	-	12,86	12.84	-
Kec. Jaga Karsa	15.90	16.27	-	12,85	12.81	-
Kec. Pasar Rebo	28.03	29.37	-	7,66	7.61	-
Kec. Pasar Minggu	27.90	29.17	-	17,09	17.09	-
Kec. Pancoran	49.60	53.33	-	7,89	7.88	-
Kec. Tebet	73.90	77.63	-	3,35	3.35	-
Kec. Setia Budi	76.33	80.07	-	5.02	5.02	-
Kec. Menteng	77.27	81.00	-	5,06	5.02	-
Kec. Tanah Abang	80.53	-	-	2,30	-	-



Gambar 2. Tampak atas profil 3 dimensi peta DEM (*Digital Elevation Model*) DAS Ciliwung dan sekitarnya



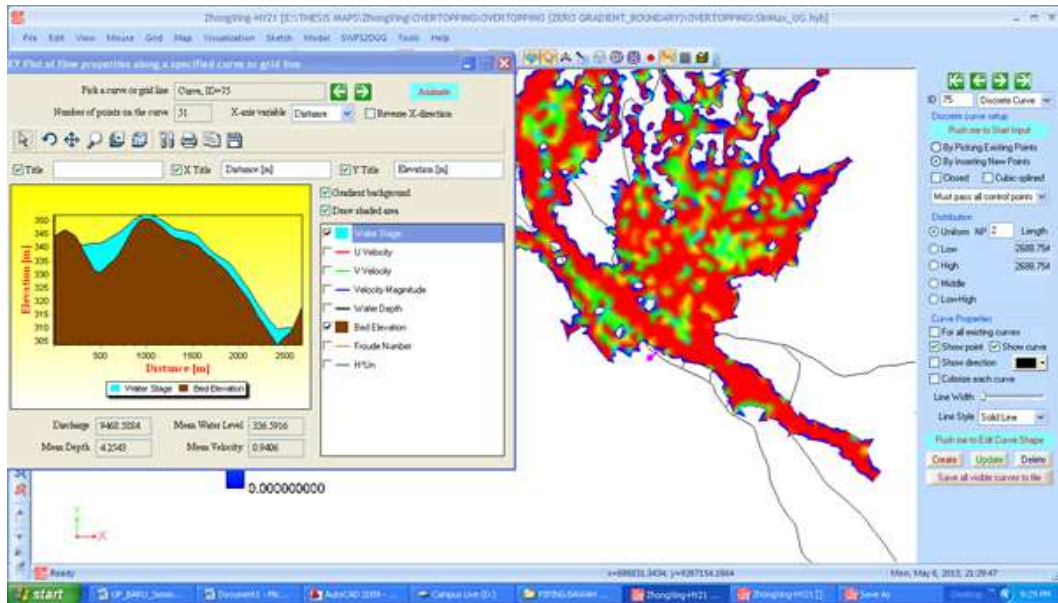
Gambar 3. Peta kontur dan alur sungai tinjauan lokasi genangan

Percabangan alur sungai di luar daerah DAS Ciliwung yang menerima debit banjir dari simulasi keruntuhan Bendungan Ciawi diantaranya: Sungai Cisdane, Sungai Cikeas, Kali Baru, Ci Tanggul, Ci Teureup, Kali Palayang, Kali Baru 2, Kali Caringin Bawah, Kali Caringin dan Kali Pesanggrahan.

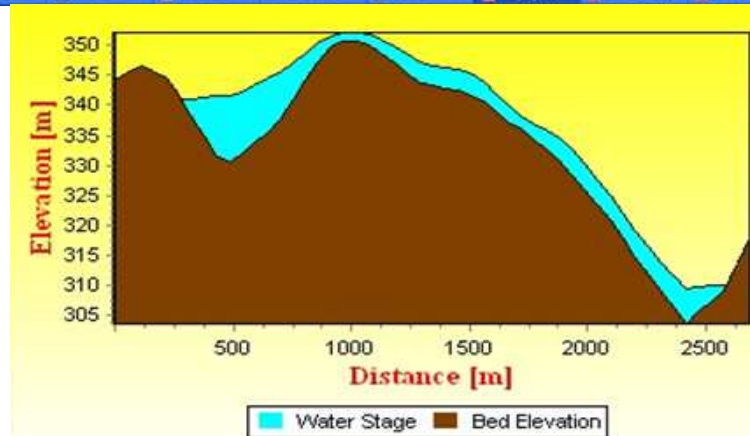
Selain itu jika ditinjau berdasarkan kondisi fisik (penampang melintang profil lahan dan muka air banjir) pada daerah genangan di dalam dan di luar sekitar DAS Ciliwung, profil muka air banjir yang terjadi telah melewati atau melebihi punggung – punggung bukit sebagai batas antara DAS Ciliwung dengan DAS Bekasi. Dimana elevasi punggung bukit yang menjadi batas antara DAS Ciliwung dengan DAS Bekasi berada

pada ketinggian + 350 meter sedangkan elevasi muka air banjir yang terjadi lebih besar dari elevasi punggung bukit (± 355 meter). Pada **Gambar 4** di bawah ini memperlihatkan kondisi muka air banjir yang terjadi melewati batas antara DAS Ciliwung dan DAS Bekasi.

Berdasarkan analisis penelusuran banjir pada lokasi tinjauan terjadinya limpasan hingga keluar dari DAS Ciliwung, limpasan terjadi pada waktu 0,667 jam setelah terjadinya keruntuhan Bendungan Ciawi dengan kecepatan maksimum aliran banjir yang terjadi adalah 9,23 m/s. Berikut pada **Tabel 4** di bawah ini akan dijelaskan hubungan kecepatan aliran banjir dengan muka air banjir pada saat terjadi limpasan keluar DAS Ciliwung.



(a)



(b)

Gambar 4. Penampang melintang profil lahan daerah genangan di dalam dan di luar DAS Ciliwung

Tabel 4. Hubungan kecepatan aliran banjir dengan muka air banjir saat terjadi limpasan keluar DAS Ciliwung

Waktu (jam)	Elevasi Profil Lahan (m)	Elevasi Muka Air Banjir (m)	Tinggi Muka Air Banjir (m)	Kecepatan Aliran Banjir (m/s)
0,6	344,19	344,19	0,00	0,00
0,63	344,19	344,19	0,00	0,00
0,67	344,19	354,65	10,46	4,81
0,7	344,19	355,14	10,95	6,33
0,73	344,19	355,94	11,75	7,37
0,77	344,19	356,71	12,52	8,18
0,8	344,19	357,39	13,20	8,63
0,83	344,19	357,95	13,76	8,96
0,87	344,19	358,39	14,20	9,16
0,9	344,19	358,62	14,43	9,23
0,93	344,19	358,65	14,46	9,21
0,97	344,19	358,48	14,29	9,10
1	344,19	358,14	13,95	8,88
1,03	344,19	357,68	13,49	3,30
1,07	344,19	357,11	12,92	2,84
1,1	344,19	356,48	12,29	2,25
1,13	344,19	355,91	11,72	1,72
1,17	344,19	355,39	11,20	1,29
1,2	344,189	354,87	10,68	1,00
1,23	344,189	354,30	10,11	0,83
1,27	344,189	354,91	10,72	0,70
1,3	344,189	354,59	10,40	0,61

4.6 Analisis luas area dan genangan

Dari hasil analisis simulasi keruntuhan Bendungan Ciawi untuk skenario kasus *overtopping* untuk waktu simulasi 84 jam atau 3,5 hari diperoleh total akumulasi luas area genangan adalah 8905,02 Ha dan total volume genangan 132.329.971,7 m³. Puncak akumulasi untuk luas total area genangan dan untuk akumulasi volume total genangan terjadi pada jam ke 84 atau 302400 detik.

Sedangkan untuk skenario kasus *piping* (dengan *inflow*) untuk waktu simulasi 84 jam atau 3,5 hari diperoleh total akumulasi luas area genangan adalah 8367,94 Ha dan total volume genangan 132.434.494,19 m³. Puncak akumulasi untuk luas total area genangan dan untuk akumulasi volume total genangan terjadi pada jam ke 84 atau 302400 detik

Dan untuk skenario kasus *piping* (dengan *inflow*) untuk waktu simulasi 33,7 jam atau 1,4 hari diperoleh total akumulasi luas area genangan adalah 4927,91 Ha dan total volume genangan 44.968.012,63 m³. Puncak akumulasi luas total area genangan terjadi pada jam ke 2,33 atau 8400 detik dan untuk puncak akumulasi volume total genangan terjadi pada jam ke 2,27 atau 8160 detik

Tabel 6. Klasifikasi daerah bahaya pada wilayah tergenang

Lokasi	Rata-rata Tinggi Genangan Banjir (m)	Klasifikasi Daerah Bahaya
Kec. Megamendung	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Ciawi	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Daerah Katulampa	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Bogor Selatan	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Bogor Timur	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. KedungHalang	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Bogor Utara	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Tanah Sereal	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Semplak	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Bojonggede	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Cibinong	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Pancoranmas	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Beji	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Sukmajaya	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Jaga Karsa	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Pasar Rebo	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Pasar Minggu	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Pancoran	> 2,0	Daerah Bahaya 3
Kec. Tebet	0.5 – 2,0	Daerah Bahaya 2
Kec. Setia Budi	0.5 – 2,0	Daerah Bahaya 2
Kec. Menteng	0.5 – 2,0	Daerah Bahaya 2
Kec. Tanah Abang	0.5 – 2,0	Daerah Bahaya 2

4.7 Analisis resiko genangan

4.7.1 Klasifikasi daerah bahaya bencana berdasarkan tinggi genangan

Pada analisis daerah bahaya bencana untuk setiap lokasi (kecamatan) yang terkena dampak bencana keruntuhan Bendungan Ciawi parameter yang akan dijadikan acuan klasifikasi resiko adalah berdasarkan tinggi genangan banjir yang terjadi disetiap lokasi. Dalam hal ini sistem klasifikasi Daerah Bahaya akan dibagi menjadi 3 kategori yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Sistem klasifikasi daerah bahaya berdasarkan tinggi genangan banjir akibat keruntuhan bendungan

No	Tinggi Genangan Banjir (m)	Klasifikasi Daerah Bahaya
1	0 - 0,50	1
2	0,50 – 2,00	2
3	> 2,00	3

Sumber: Dirjen Sumber Daya Air, 2010

Berikut pada **Tabel 6** akan disajikan hasil analisis klasifikasi daerah bahaya bencana pada setiap lokasi genangan akibat keruntuhan Bendungan Ciawi secara umum dan keseluruhan.

Hasil analisis pada **Tabel 6** memperlihatkan bahwa sebagian besar daerah genangan di dominasi oleh tinggi genangan banjir melebihi 2 meter (> 2 meter). Demikian dapat disimpulkan bahwa daerah hilir Bendungan Ciawi termasuk kategori Daerah Bahaya 3.

4.7.2 Klasifikasi tingkat resiko bencana berdasarkan penduduk terkena resiko

Dalam hal ini sistem klasifikasi tingkat resiko bencana akan dibagi menjadi 5 kategori tingkat resiko bencana yaitu sebagai berikut:

- 1) Tingkat Resiko Rendah (Tingkat 1)
- 2) Tingkat Resiko Sedang (Tingkat 2)

- 3) Tingkat Resiko Menengah (Tingkat 3)
- 4) Tingkat Resiko Tinggi (Tingkat 4)
- 5) Tingkat Resiko Sangat Tinggi(Tingkat 5)

Klasifikasi tingkat resiko bencana berupa hubungan antara jarak pemukiman dengan jumlah kumulatif KK dan klasifikasi tingkat resiko bencana atau bahaya berdasarkan tinggi genangan banjir dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Berikut pada **Tabel 8** akan disajikan hasil analisis tingkat resiko bencana pada setiap lokasi genangan dengan mengambil sampel pada skenario kasus keruntuhan *overtopping* sebagai kasus keruntuhan yang menghasilkan area genangan terbesar.

Tabel 7. Sistem klasifikasi resiko bencana berdasarkan jumlah penduduk di daerah resiko banjir akibat keruntuhan bendungan

Jumlah KK Kumulatif (KK)*	Jarak dari As Bendungan (km)				
	0 – 5	0 – 10	0 - 20	0 - 30	0 - > 30
0	1	1	1	1	1
1 – 200	3	2	2	1	1
201 – 5.000	4	4	3	3	2
5.001 – 20.000	5	5	4	3	3
20.001 – 250.000	5	5	4	4	4
> 250.000	5	5	5	5	5

*Asumsi : 1 KK = 1 rumah;1 KK = 5 orang

Sumber : Colen Power Consulting, 1997 dalam Dirjen Sumber Daya Air, 2010

Tabel 8. Klasifikasi tingkat resiko bencana akibat kegagalan Bendungan Ciawi

Lokasi	Jarak Dari Bendungan (Km)	Penduduk Terkena Resiko		Tingkat Resiko
		Jiwa	KK	
Kec. Megamendung	0,98	2817	563	4
Kec. Ciawi	2,52	7019	1404	4
Kec. Bogor Selatan	5,53	23934	4787	4
Kec. Bogor Timur	6,72	46311	9262	5
Kec. KedungHalang	8,31	10056	2011	4
Kec. Bogor Utara	11,34	113840	22768	4
Kec. Tanah Sereal	14,91	23075	4615	3
Kec. Semplak	19,59	1722	344	2
Kec. Bojonggede	21,02	77201	15440	3
Kec. Cibinong	21,70	26939	5388	3
Kec. Pancoranmas	30,78	34600	6920	3
Kec. Beji	35,02	11954	2391	2
Kec. Sukmajaya	35,10	8317	1663	2
Kec. Jaga Karsa	37,81	112845	22569	4
Kec. Pasar Rebo	42,73	21450	4290	2
Kec. Pasar Minggu	44,39	51222	10244	3
Kec. Pancoran	48,51	27375	5475	3
Kec. Tebet	50,83	74056	14811	3
Kec. Setia Budi	54,06	47420	9484	3
Kec. Menteng	56,43	44668	8934	3
Kec. Tanah Abang	58,83	13501	2700	2
Total		780321	156064	

Hasil analisis pada **Tabel 8** memperlihatkan bahwa tingkat resiko pada daerah genangan bervariasi mulai dari Tingkat Resiko Sedang (2) hingga Tingkat Resiko Sangat Tinggi (5). Namun bila dilihat secara keseluruhan sebagian besar daerah genangan di dominasi oleh Tingkat Resiko dengan nilai 3. Demikian dapat disimpulkan bahwa daerah hilir Bendungan Ciawi termasuk kategori Tingkat Resiko Menengah.

Sinotech Engineering Group, 2011, ZhongXing – HY 21, *Step By Step Manual*. Sinotech Engineering Group

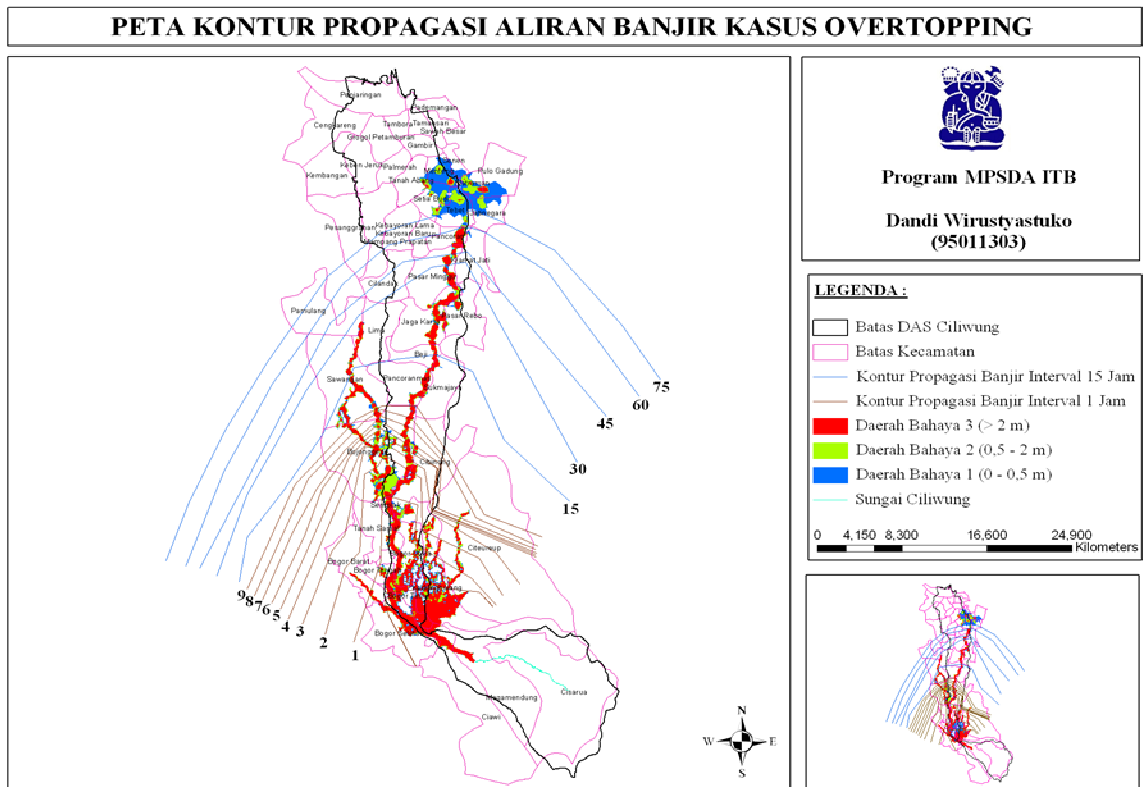
5. Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

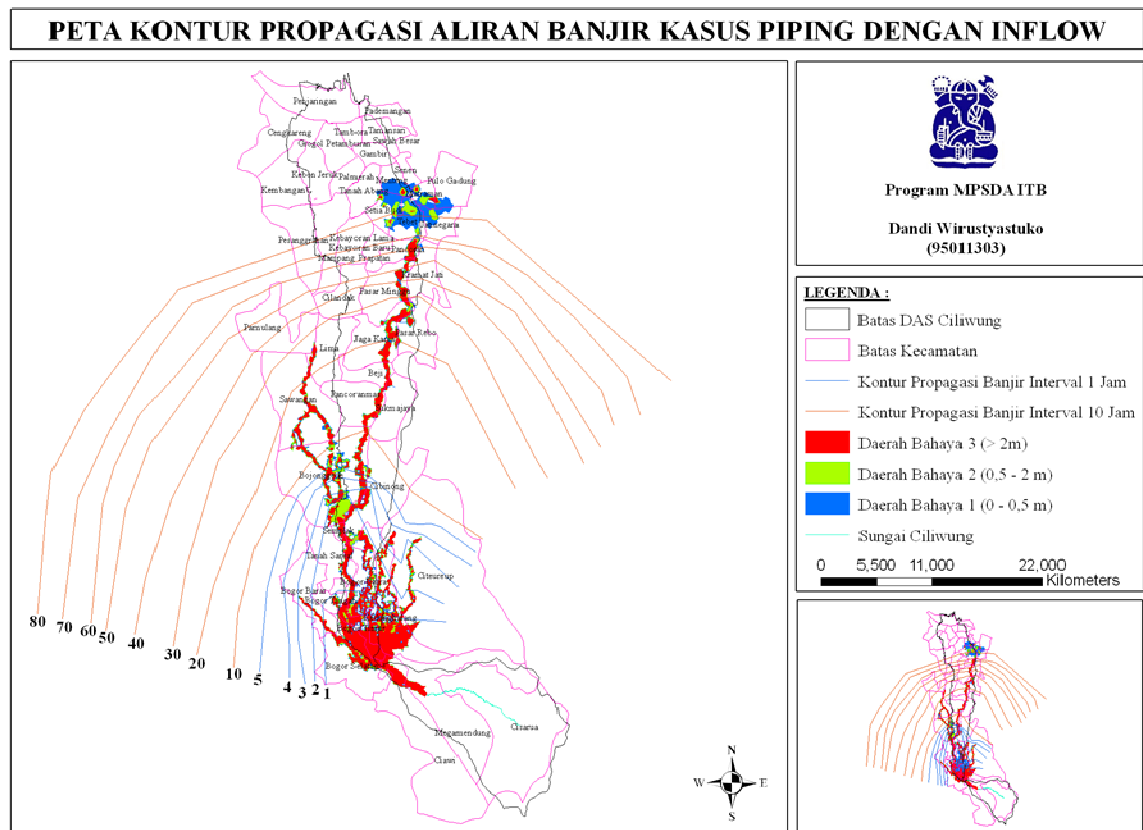
1. Jumlah wilayah yang terkena dampak genangan pada skenario kasus *overtopping* ; *piping* dengan *inflow* ; dan *piping* tanpa *inflow* untuk masing – masing kasus adalah 21 Kecamatan dari 6 Kabupaten; 20 Kecamatan dari 6 Kabupaten; dan 9 Kecamatan dari 2 Kabupaten.
2. Total Penduduk Terkena Resiko (Penris) Bencana terbesar untuk skenario kasus *overtopping* diperkirakan sebanyak 7.80.321 jiwa atau sebanyak 1.56.064 KK.
3. Klasifikasi bahaya bencana untuk daerah hilir Bendungan Ciawi secara umum termasuk dalam kategori dengan nilai 3 (Tingkat Resiko Menengah) dan kategori Daerah Bahaya Bencana 3 (tinggi genangan > 2 m).
4. Debit *outflow* maksimum pada saat terjadi rekahan akibat keruntuhan Bendungan Ciawi untuk skenario kasus *overtopping* ; *piping* dengan *inflow* ; dan *piping* tanpa *inflow* masing – masing adalah 31901,9 m³/s (pada waktu ±0,78 jam saat proses keruntuhan) ; 83690,9 m³/s (pada waktu ±0,52 jam saat proses keruntuhan) ; dan 75503,2 m³/s (pada waktu ±0,548 jam saat proses keruntuhan).

Daftar Pustaka

- BBWS Ciliwung – Cisadane, 2006, Laporan Penunjang Volume I : Pekerjaan Penyusunan Detail Desain Waduk Ciawi Tahap III. Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Sumber Daya Air. Jakarta
- Colenco Power Consulting, 1997, *Guidelines for Downstream Hazard Clasification*, Dam Safety Project.
- Dirjen Sumber Daya Air, 2010, Laporan Penunjang Perhitungan DBA dan Klasifikasi *Hazard*, Penyusunan Rencana Tindak Darurat (*Emergency Action Plan*) Bendungan Tempuran. Kementrian Pekerjaan Umum. Jakarta.



Gambar 4. Peta kontur propagasi aliran banjir kasus *overtopping*



Gambar 5. Peta kontur propagasi aliran banjir kasus *piping* dengan *inflow*

