

ANALISA KERUNTUHAN BENDUNGAN GONDANG DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ZHONG XING HY21

Eric Virgiawan Aryadi¹, Pitojo Tri Juwono², Dwi Priyantoro³, Runi Asmaranto⁴

¹Mahasiswa Program Magister dan Doktor Teknik Pengairan

²Dosen Fakultas Teknik Jurusan Pengairan

e-mail: evirgiawan@gmail.com

Abstrak: Keruntuhan bendungan dapat terjadi karena overtopping atau piping. Hal ini dapat menyebabkan rambatan aliran air yang cepat sehingga menggenangi daerah di hilir bendungan. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis dengan berbagai alternatif skenario keruntuhan bendungan. Analisa keruntuhan bendungan dilakukan dengan bantuan program Zhong Xing HY21. penelitian ini, dilakukan analisa keruntuhan bendungan skenario overtopping dan skenario piping dengan memasukkan parameter rekahan tertentu guna memperoleh bentuk hidrograf outflow.

Keruntuhan Bendungan Gondang menimbulkan dampak paling besar jika mengalami overtopping dengan Q inflow 968,548 m³/det dan menghasilkan Q Outflow sebesar 7671,57 m³/dt. Hasil penelusuran banjir tinggi muka air waduk berada pada elevasi +40,593 (Elevasi Puncak Bendungan Gondang +42,00), sehingga di asumsikan puncak bendungan pada elevasi +40,00.

Aliran banjir ini akan menelusuri sungai Gondang dan menggenangi areal persawahan serta pemukiman penduduk seluas ±73 km².

Kata Kunci: Bendungan, Overtopping, Piping, Analisis Keruntuhan Bendungan, Zong Xing HY21

Abstract: Dam failure occurred due to overtopping and piping. This can lead to rapid propagation of water flow so inundated the downstream of the dam. The purpose of this study was to analyze the various scenarios for the dam break. Dam Break Analysis conducted with Zhong Xing HY21 software. This study conducted the dam break analysis with overtopping and piping scenarios by inserting certain fracture parameters in order to obtain the outflow hydrograph

Gondang Dam Break greatest impact if experienced overtopping with Q Inflow 968,548 m³/sec and produce Q Outflow 7671,57 m³/sec. Result flood routing water level of the reservoir was located at an elevation of +40,593 (Gondang Dam Crest Elevation +42,00), so assumed the dam crest elevation of + 40,00.

This flood could be trace Gondang River and flooded rice field and also the settlement area around ±73 km².

Keyword: Dam, Overtopping, Piping, Dam Break Analysis, ZhongXing HY21

Pembangunan suatu bendungan sering kali diikuti dengan perkembangan masyarakat di daerah hilirnya menyebabkan makin bertambahnya tingkat bahaya keruntuhan bendungan. Keruntuhan bendungan dapat diakibatkan oleh *overtopping* dimana air yang melimpas melalui puncak bendungan menyebabkan terjadinya erosi serta longsoran pada tubuh bendungan, khususnya pada bendungan type urugan tanah. Keruntuhan dapat juga diakibatkan oleh bocoran yang membawa material bendungan secara berangsur-angsur yang disebut erosi buluh atau *piping*. Akibat

keruntuhan tersebut, air yang tertampung di bendungan akan mengalir ke lembah sungai di hilir bendungan dengan debit yang sangat besar serta kecepatan yang sangat tinggi. Bila kapasitas alir sungai tidak dapat menampung debit air banjir tersebut, maka air akan meluap ke luar dari alur sungai dan menggenangi daerah pemukiman maupun lahan pertanian di sepanjang kanan kiri alur sungai.

Mengingat adanya kemungkinan terjadinya malapetaka yang diakibatkan oleh runtuhnya suatu bendungan terhadap kondisi yang ada di hilir bendungan,

dimana antara lain terdapat daerah permukiman yang cukup padat penduduknya dan/atau daerah industri, lahan pertanian serta berbagai bangunan fasilitas umum lainnya seperti jembatan, jalan raya dan lain-lain, maka perlu dilakukan Analisis Keruntuhan Bendungan dimana dalam studi ini dilakukan di Bendungan Gondang.

MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud

Maksud dari studi ini adalah mengetahui sejauh mana daerah rambatan banjir pada hilir bendungan setelah dilakukan simulasi keruntuhan bendungan yang mana keluaran dari software tersebut adalah meliputi peta banjir, waktu datang banjir, waktu surut banjir dan hidrograf banjir. sehingga dapat diterapkan untuk bendungan-bendungan yang lain mengingat software Zhong Xing HY21 merupakan software baru dalam melakukan analisa keruntuhan bendungan.

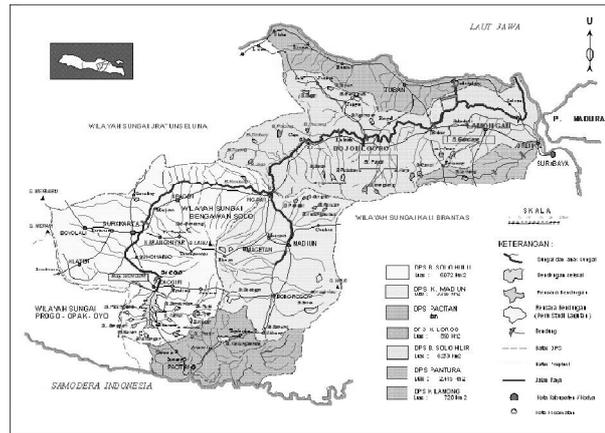
Tujuan

Melakukan analisis dengan berbagai skenario keruntuhan bendungan dengan menggunakan program Zhong Xing HY21 sehingga di dapatkan keluaran berupa peta banjir, waktu datang banjir, waktu surut banjir dan hidrograf banjir. Selain itu tujuan dari studi ini adalah membandingkan hasil dari simulasi keruntuhan bendungan dengan program BOSS DAMBRK dimana Bendungan Gondang sudah dilakukan analisis keruntuhan bendungan pada tahun 2001 oleh PT. Ika Adya Perkasa.

METODOLOGI

Gambaran Lokasi Studi

Bendungan Gondang yang membendung sungai utama Kali Gondang merupakan salah satu anak sungai dari sungai Bengawan Solo yang berhulu di Kabupaten Wonogiri Propinsi Jawa Tengah di bermuara di Selat Madura Kabupaten Gresik Jawa Timur. Dengan kata lain DAS Bendungan Gondang berada di wilayah sungai Bengawan Solo, sehingga secara teknis pengelolaan Bendungan Gondang tidak terlepas dari peran BBWS Bengawan Solo. Secara geografis Wilayah Sungai Bengawan Solo berbatasan dengan Wilayah Sungai Jratunseluna di bagian Utara, Wilayah Sungai Progo-Opak-Oyo di bagian Barat dan Wilayah Sungai Kali Brantas di bagian Selatan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Wilayah Kerja BBWS Bengawan Solo.

Seperti yang ditunjukkan Gambar di atas, Wilayah Sungai Bengawan Solo dibagi menjadi 7 (tujuh) Daerah Pengelolaan Sungai (DPS), yaitu:

1. DPS Bengawan Solo Hulu, dengan luas 6.072 km².
2. DPS Kali Madiun, dengan luas 3.755 km².
3. DPS Pacitan
4. DPS Kali Lorog, dengan luas 890 km².
5. DPS Bengawan Solo Hilir, dengan luas 6.273 km².
6. DPS Pantura, dengan luas 2.415 km².
7. DPS Kali Lamong, dengan luas 720 km².

Disamping Bendungan Wonogiri, di dalam Wilayah Sungai Bengawan Solo terdapat beberapa bendungan ataupun bendung lainnya yang telah beroperasi maupun yang masih dalam tahap perencanaan yang secara umum dimaksudkan untuk mendukung irigasi teknis di wilayah tersebut.

Situasi Bendungan Gondang

Data teknis Bendungan Gondang adalah sebagai berikut :

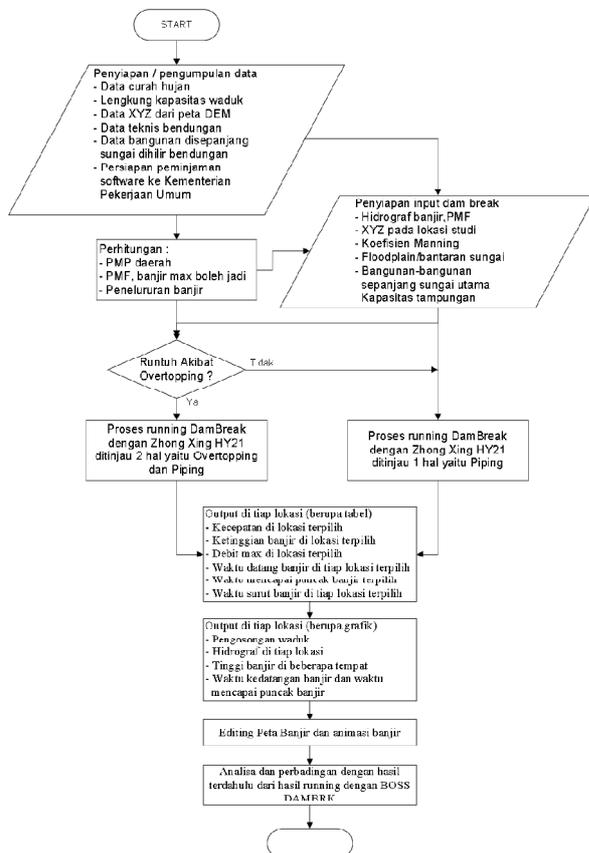
1. Waduk

MAB	: El. 39,81 m
MAN	: El. 38,00 m
MAM	: El. 29,40 m
Luas MAB	: 660 Ha
Vol. Kotor	: 28,80 juta m ³
Vol. Efektif	: 23,00 juta m ³
Vol. Mati	: 2,90 juta m ³
2. Bendungan

Tipe	: Urugan tanah homogen
Tinggi	: 27,00 m
Panjang Puncak	: 903 m

- Lebar Puncak : 7 m
- El. Puncak : El. 42.00 m
- Vol. Tubuh Bend : 589.000 m³
- 3. Pelimpah
 - Tipe : Ogee tanpa pintu
 - Banjir rencana : 821,30 m³/det
 - Kala Ulang banjir : Q_{1000}
 - Kapasitas : 243,70 m³/det
 - El. Mercu : EL. 38.00 m
 - Panjang mercu : 50,00 m
- 4. Bangunan Pengeluaran Irigasi
 - Tipe : konduit
 - Jumlah : 1 jalur
 - Panjang : 90 m
 - Ukuran : 1,30 m x 1,95 m
 - Tipe alat operasi : pintu sorong
 - Kapasitas : 16 m³/det
 - Debit pengambilan: 5,79 m³/det
- 5. Instrumentasi
 - Pisometer : 7 buah
 - Alat ukur penurunan : 4 buah
 - Alat ukur rembesan : 1 buah
 - Patok geser : 4 buah

Langkah Pengerjaan Studi



Gambar 2. Bagan Alir Pengerjaan Studi.

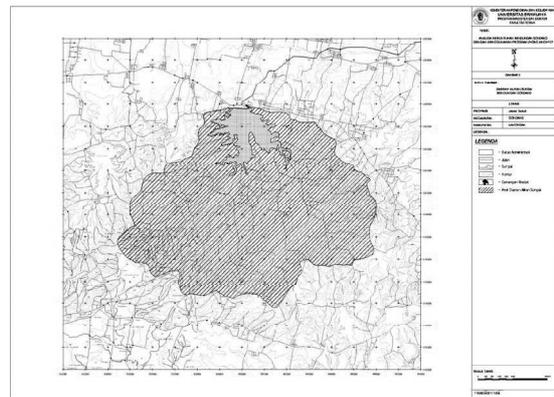
Kalibrasi dan Verifikasi Software

Kalibrasi terhadap software Zhong Xing HY21 sudah pernah dilakukan pada lokasi Bendungan Situ Gintung yang pernah mengalami keruntuhan pada tanggal 27 Maret 2009 dan diketahui batas genangan banjirnya. Pada pelaksanaan kalibrasi software, di dapatkan hasil areal genangan banjir hasil simulasi hampir berhimpit dengan areal genangan banjir yang pernah terjadi.

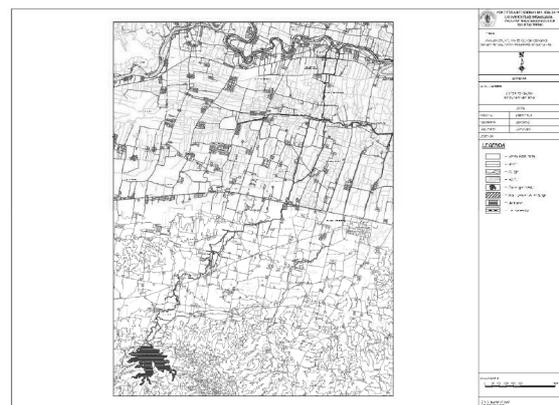
HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Tangkapan Air

Luas Daerah Tangkapan Air (DTA) Bendungan Gondang adalah 68,10 km² dengan kemiringan rata-rata 0,0075 dan panjang sungai terpanjang 13,14 km. Daerah Tangkapan Air Bendungan Gondang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 3. Peta DTA Bendungan Gondang.



Gambar 4. Sistem Pengaliran Bendungan Gondang.

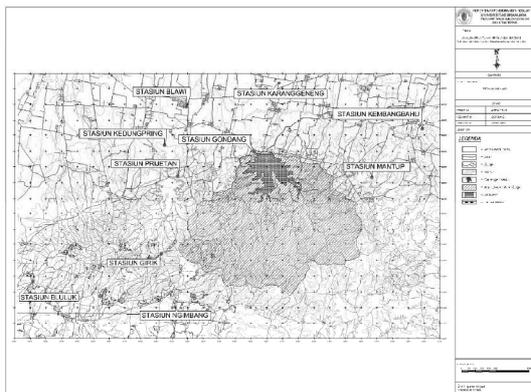
Stasiun Hidroklimatologi

Di dalam dan di sekitar DTA Gondang terdapat beberapa stasiun penakar hujan harian milik BMKG Karang Ploso Malang yang dioperasikan bersama dengan Dinas Pengairan Kabupaten Lamongan, yaitu stasiun-stasiun berikut di bawah ini:

1. Stasiun Gondang
2. Stasiun Prijetan

3. Stasiun Girik.
4. Stasiun Ngimbang
5. Stasiun Mantup
6. Stasiun Karang Geneng
7. Stasiun Blawi
8. Stasiun Kedung Piring
9. Stasiun Bluluk
10. Stasiun Kembang Bahu

Dimana 5 (lima) stasiun teratas merupakan stasiun yang terdekat dengan DTA Gondang dan secara rata-rata berdasarkan Metode Thiesen merupakan stasiun yang mempengaruhi tinggi rendahnya curah hujan di DTA Gondang. Secara kuantitas data hujan harian yang tersedia di ke sepuluh stasiun tersebut di atas mempunyai panjang pengamatan lebih dari 10 tahun, sedangkan secara kualitas hujan harian Stasiun Gondang merupakan stasiun yang mempunyai data paling homogen.



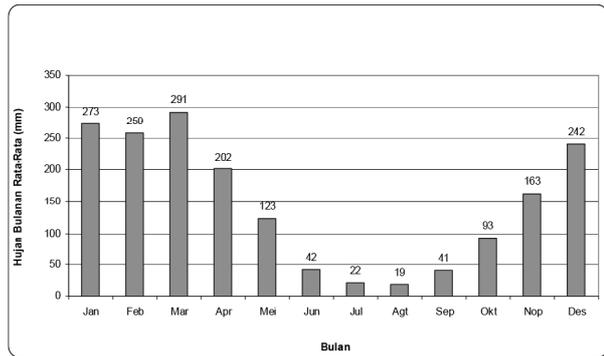
Gambar 5. Peta Lokasi Stasiun Hidrologi DTA Gondang.

Hujan Rata-Rata DTA Gondang

Setelah dilakukan koreksi terhadap hujan harian di ke empat stasiun pencatat curah hujan harian, serta dengan mempertimbangkan faktor pembobot Thiesen untuk masing-masing stasiun, maka hujan rata-rata bulanan dan hujan maksimum rata-rata tahunan DTA Gondang disajikan sebagai berikut di bawah ini. Sementara hujan tahunan rata-rata di DTA Gondang diketahui sebesar 1,770 mm dengan hari hujan rata-rata 16 hari per bulan di bulan basah. Hujan harian rata-rata DTA Gondang dapat dilihat di Gambar 6.

Hujan Rancangan Probable Maximum Precipitation (PMP)

Untuk memastikan besaran hujan rancangan PMP tersebut di atas, maka dilakukan perhitungan PMP dengan menggunakan metode Isohyet dengan referensi Peta Isohyet PMP Indonesia Bagian Barat yang dipublikasikan oleh DOISP dan PT. Caturbina Guna Persada tahun 2011, serta data hujan yang ter-



Gambar 6. Hujan Bulanan Rata-Rata DTA Gondang.

catat di 17 stasiun penakar di Kabupaten Lamongan dan sekitarnya selama 10 tahun terakhir. Dimana berdasarkan khaidah tersebut didapat hujan titik (*point rainfall*) sebesar 324,72 mm dan setelah dilakukan koreksi terhadap luas DTA Gondang, maka didapat hujan rancangan PMP DTA Gondang sebesar 310,11 mm atau sedikit lebih kecil dari metode Hersfield. Dengan demikian hujan PMP Hersfield sebesar 317,85 mm akan digunakan sebagai dasar perhitungan banjir rancangan PMF DTA Gondang

Hidrograf Satuan Sintesis (HSS)

Sehubungan di sepanjang Sungai Gondang tidak terdapat stasiun pencatat debit, maka untuk menginterpretasikan hujan rancangan menjadi debit rancangan diperlukan hidrograf satuan sintesis (*Synthetic Unit Hydrograph*), yang menafsirkan setiap satuan hujan menjadi debit aliran. Beberapa metode HSS yang umum dipakai di Indonesia adalah HSS Nakayasu yang dikembangkan oleh Dr. Nakayasu, HSS Gamma I yang dikembangkan oleh Dr. Ir. Sri Harto dan HSS Snyder-Alexejev. (Sumber : Soemarto, CD., 1987. Hidrologi Teknik)

Berdasarkan ke tiga metode HSS di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ketiganya memberikan puncak HSS (*peak*) yang hampir sama, namun dengan waktu menuju puncak hidrograf (*time to peak*) dan durasi hidrograf (*time to base*) yang berbeda.

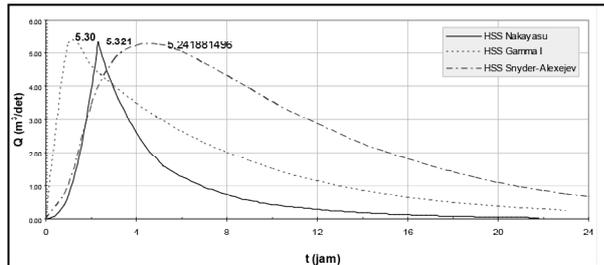
Mengingat ± 94 % hujan 24 jam terjadi pada 4 jam pertama, dan puncak hujan rata-rata terjadi sampai dengan jam ke-3 serta memperhitungkan adanya time lag atau waktu yang dibutuhkan antara pusat hujan dan titik berat hidrograf ± 3 jam, maka HSS Nakayasu diambil (*adopted*) sebagai HSS DTA Gondang.

Banjir Rancangan

Dengan menggunakan HSS Nakayasu, maka berikut di bawah ini disajikan tabel dan grafik hidrograf banjir rancangan DTA Gondang.

Tabel 1. Perbandingan HSS.

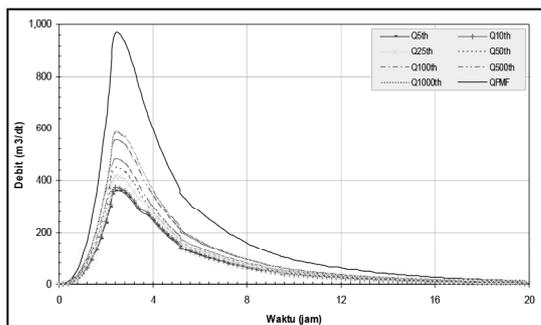
Uraian	Nakayasu	Gamma I	Snyder-Alexejev
Puncak (m ³ /dt)	5.32	5.305	5.242
Tp (jam)	2.29	1.430	4.52
Tb (jam)	21.80	21.668	25.12



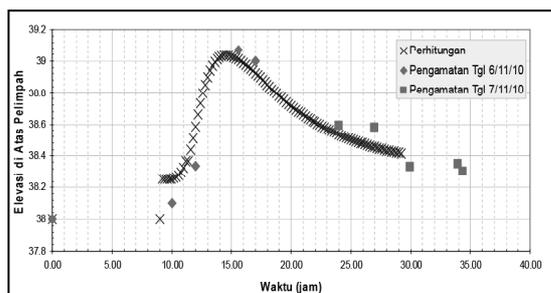
Gambar 7. HSS Nakayasu, HSS Gamma I dan HSS Snyder DTA Gondang.

Tabel 2. Hidrograf Banjir Maksimum Rancangan DTA Gondang (m³/dt)

QPMF	Q5th	Q10th	Q25th
968.548	362.977	374.644	417.655
Q50th	Q100th	Q500th	Q1000th
449.804	481.579	555.005	586.572



Gambar 8. Hidrograf Banjir Rancangan.



Gambar 9. Kalibrasi Debit Banjir Di Atas Pelimpah Tgl. 6 November 2010. (Hujan DTA Rata-Rata = 117 mm)

Berdasarkan gambar di atas dapat ditarik kesimpulan, bahwa pola banjir yang terjadi antara pengamatan dan perhitungan Metode HSS Nakayasu hampir sama, walaupun elevasi muka banjir pengamatan sedikit lebih rendah yang mungkin disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: (1) Akibat adanya waktu perambatan banjir yang dibutuhkan; (2) Akibat efek tampungan dari sungai, DTA dan waduk; (3) Akibat adanya outflow dari bangunan pengambilan irigasi.

Dengan demikian disimpulkan, bahwa parameter-parameter yang digunakan di dalam perhitungan HSS banjir rancangan Metode Nakayasu maupun parameter-parameter yang digunakan untuk penelusuran banjir melalui pelimpah dapat digunakan sebagai dasar peramalan banjir rancangan.

Tabel 3. Inflow dan Outflow Banjir Rancangan DTA Gondang.

Uraian	Inflow (m ³ /dt)	Outflow (m ³ /dt)	Elevasi Waduk (m)
PMF	968.548	384.386	40.593
5 th	362.977	111.565	39.041
10 th	374.644	124.238	39.125
25 th	417.655	141.846	39.246
50 th	449.804	148.764	39.297
100 th	481.579	161.755	39.385
500 th	555.005	192.661	39.588
1000 th	586.572	206.331	39.674

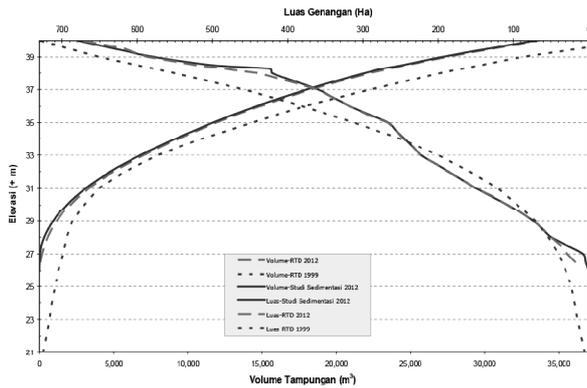
Hasil Kajian Lengkung Kapasitas Waduk

Untuk mengetahui apakah banjir rancangan PMF mengalami *overtopping* atau tidak, serta untuk mengetahui kapasitas alir sungai di hilir waduk perlu dilakukan penelusuran banjir melalui pelimpah.

Jika bendungan mengalami indikasi *overtopping*, maka lazimnya simulasi keruntuhan bendungan dilakukan berdasarkan kondisi *piping*, kecuali terdapat pertimbangan lain seperti misalnya adanya gempa yang memungkinkan bendungan mengalami penurunan, longoran (*land slide*), atau akibat sabotase dan lain-lain.

Untuk keperluan tersebut di atas maka diperlukan data hubungannya antara elevasi, volume waduk dan luas permukaan tampungan waduk terkini.

Dengan menggunakan koordinat titik referensi yang sama dengan survey pengukuran bathimetri dan tachimetri yang dilakukan studi terdahulu maka pada bulan Oktober telah dilakukan survey pengukuran bathimetri dan tachimetri oleh PT. Dehas Inframedia Karsa yang menghasilkan salah satu keluaran berupa lengkung kapasitas waduk sebagai berikut di bawah ini.



Gambar 10. Perbandingan Lengkung Kapasitas Waduk Gondang.

Penelusuran Banjir Melalui Waduk

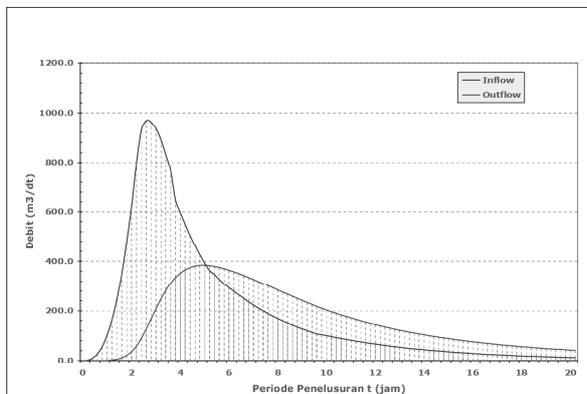
Pengukuran Cross Section pada genangan waduk umumnya dilaksanakan dengan echosounder, akan tetapi pada daerah yang berada di atas permukaan air pengukuran dilakukan dengan menggunakan Total Station yaitu alat ukur jarak elektronik yang dapat menentukan jarak datar dan beda tinggi dengan otomatis.

Hasil penelusuran banjir melalui waduk dengan inflow Hidrograf PMF DTA Gondang dihasilkan outflow sebagaimana seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.

Secara grafis, hidrograf inflow banjir PMF dan outflow waduk ditunjukkan oleh Gambar 14, dimana debit puncak outflow sebesar 384.386 m³/dt berada pada elevasi puncak EL. 40.593 m atau ketinggian 2.593 m di atas mercu pelimpah.

Dengan demikian dapat disimpulkan, bahwa debit PMF tidak menimbulkan *overtopping* karena elevasi puncak bendungan berada pada EL. 42,00 m.

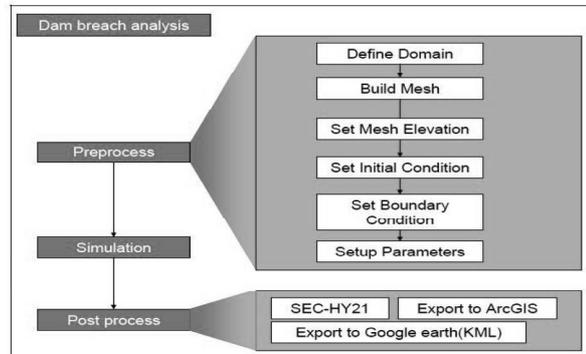
Di bawah ini ditampilkan grafik hubungan Q_{Inflow} dan $Q_{Outflow}$ (Q_{PMF} yang melewati spillway)



Gambar 11. Grafik Hubungan Inflow dan Outflow (Q_{PMF} Yang Melewati Spillway)

Analisis Keruntuhan Bendungan

Analisis Keruntuhan Bendungan / Dam Break Analysis dilakukan dengan menggunakan program ZHONG XING HY21.



Gambar 12. Bagan Alir Simulasi Zhong Xing HY21

Sumber: Step By Step Zhong Xing HY21, Sinotech Engineering Group 2011.

Kondisi analisis untuk Analisa keruntuhan Bendungan Gondang dilakukan dalam beberapa alternatif kondisi seperti dibawah ini:

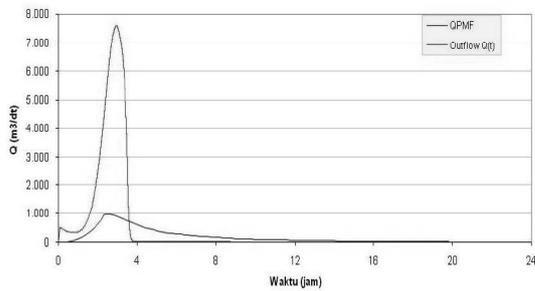
- a. Kondisi 1
Terjadi *overtopping* pada bendungan ketika ada Banjir PMF datang.
- b. Kondisi 2A :
Terjadi *Piping* pada EL. 38,00 (El. Ambang pelimpah), ketika ada Banjir PMF datang.
- c. Kondisi 2B :
Terjadi *Piping* pada EL. 29,00 (El. Cofferdam), ketika ada Banjir PMF datang.
- d. Kondisi 2C :
Terjadi *Piping* pada EL. 26,00 (El. Dasar Waduk), ketika ada Banjir PMF datang.
- e. Kondisi 3
Kondisi Piping pada EL. 26,00 m (El. Dasar Waduk) pada saat Muka Air Waduk normal EL. 38,00 dan hari cerah tidak ada hujan.
- f. Masukan/Input Data
 1. Lengkung Kapasitas Waduk
 2. Hidrograf Inflow
 3. Data Teknis Bendungan
 4. Boundary Conditions

Keluaran/Output

Dari hasil analisis seperti dijelaskan diatas, didapatkan kesimpulan bahwa.

Keruntuhan Bendungan Gondang menimbulkan dampak paling besar jika terjadi *overtopping* akibat banjir PMF dengan puncak debit Q_{inflow} 968,548 m³/det. Dimana tinggi muka air waduk jika terjadi

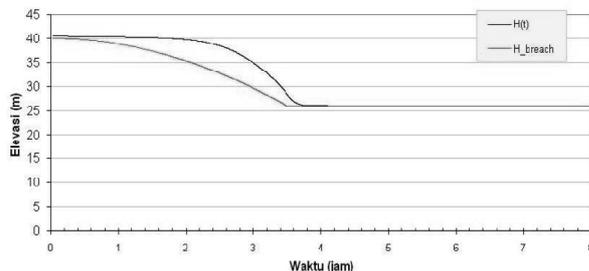
banjir PMF adalah EL. 40,593 (Puncak Bendungan Gondang EL. 42,00), sehingga puncak dam di asumsikan pada saat banjir PMF tersebut terjadi EL. 40,00.



Gambar 12. Hidrograf Inflow Outflow Keruntuhan Bendungan (*Overtopping* Q_{PMF})

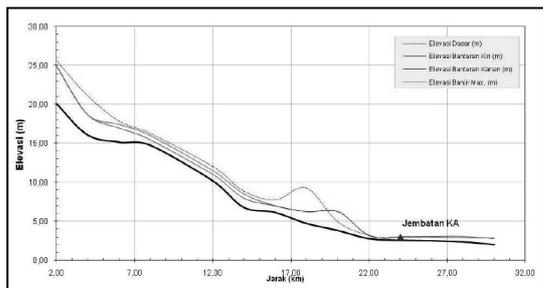
a. Grafik Pengosongan Waduk/*Depletion*
 Grafik Pengosongan waduk/*depletion* berupa hidrograf outflow yang keluar dari waduk ketika terjadi keruntuhan/rekahan. Dari hidrograf outflow ini program DBA akan melakukan proses routing banjir di sepanjang palung sungai dan bantaranannya di hilir bendungan.

Di bawah ini ditampilkan keluaran/output dari program Zhong Xing HY21 kondisi *overtopping*:



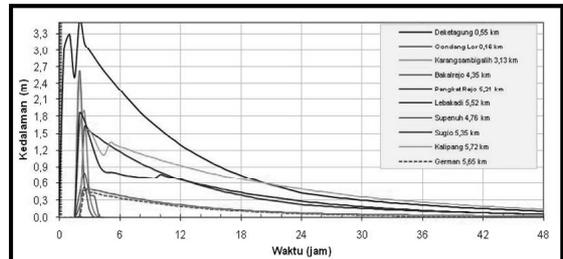
Gambar 13. Kurva Deplesi Keruntuhan Bendungan (*Overtopping* Q_{PMF})

b. Profil Muka Air Banjir
 Muka air banjir di beberapa desa di sepanjang alur sungai di hilir bendungan di ditampilkan dalam Tabel serta Gambar berikut.



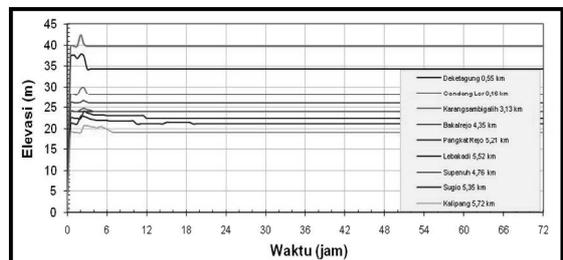
Gambar 14. Profil Muka Air Banjir di Alur Sungai Gondang (*Overtopping*)

c. Kedalaman Banjir
 Kedalaman banjir di daerah hilir sungai di beberapa desa baik yang berada di alur sungai maupun daerah di luar alur sungai yang terkena risiko akibat keruntuhan bendungan secara lengkap ditampilkan grafik kedalaman banjir untuk beberapa desa dibawah ini.



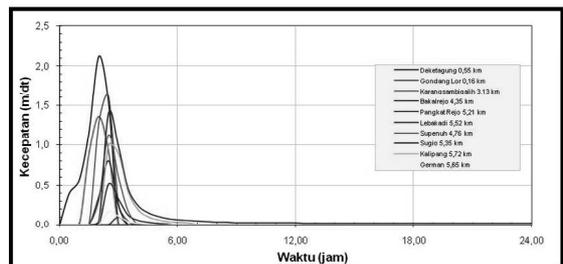
Gambar 15. Kedalaman Banjir di Alur Sungai Gondang (*Overtopping*)

d. Elevasi Muka Air Banjir
 Muka air banjir di daerah hilir sungai di beberapa desa baik yang berada di alur sungai maupun daerah di luar alur sungai yang terkena risiko akibat keruntuhan bendungan secara lengkap ditampilkan grafik elevasi muka air banjir untuk beberapa desa dibawah ini.



Gambar 16. Elevasi Muka Air Banjir di Alur Sungai Gondang (*Overtopping*)

e. Kecepatan Banjir
 Kecepatan banjir di daerah hilir sungai di beberapa desa baik yang berada di alur sungai maupun daerah di luar alur sungai yang terkena risiko akibat keruntuhan bendungan secara lengkap ditampilkan grafik kecepatan banjir untuk beberapa desa dibawah ini.

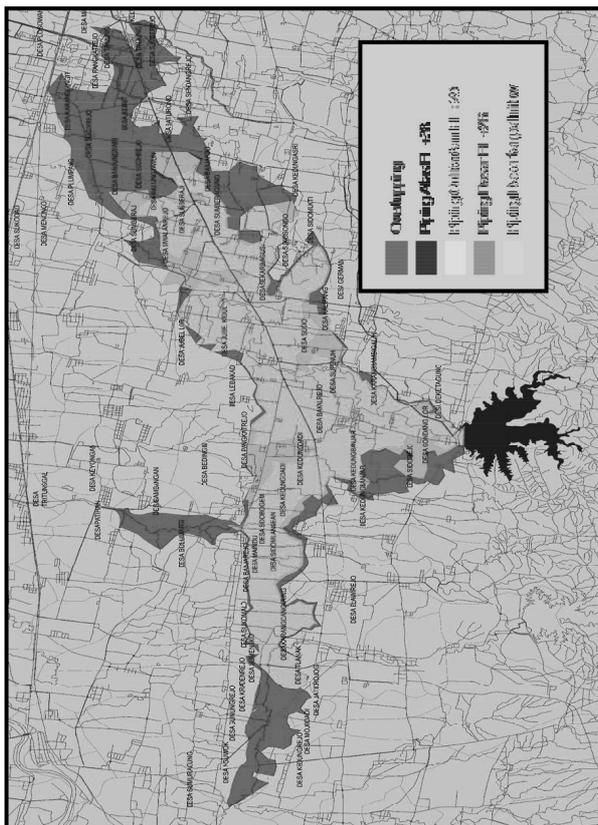


Gambar 17. Kecepatan Banjir di Alur Sungai Gondang (*Overtopping*)

f. Peta Banjir

Dari hasil analisis keruntuhan bendungan dengan **Zhong Xing HY21** dapat digambarkan peta banjir akibat keruntuhan bendungan. Peta ini memuat informasi seperti elevasi banjir maksimum yang terjadi, kecepatan banjir di palung sungai maupun bantaran sungai, waktu datang banjir, waktu surut banjir dan desa terkena risiko banjir.

Gambar di bawah ini menunjukkan peta genangan banjir hasil keluaran/output dari Program **Zhong Xing HY21** untuk 5 kondisi keruntuhan bendungan.



Gambar 18. Peta Banjir Dalam Berbagai Skenario

Klasifikasi Bahaya Bendungan Gondang

Klasifikasi Bahaya dari Bendungan Gondang ditetapkan berdasarkan kondisi Bendungan Gondang karena overtopping yang terjadi pada saat Banjir PMF datang. Dimana dari analisis keruntuhan bendungan yang dilakukan didapatkan total Penduduk Terkena Resiko sebesar **67.846 jiwa (16.835 KK)**, dengan jarak jangkauan banjir dari bendungan sejauh 15,76 km seperti ditampilkan dalam Tabel di bawah. Dengan demikian Bendungan Gondang termasuk bendungan dengan klasifikasi bahaya tingkat 4 atau bahaya sangat tinggi.

Tabel 10. Penduduk Terkena Resiko Bendungan Gondang.

No	Desa Terdampak						
	Desa	Kecamatan	Jarak dari Bendungan (km)	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kumulatif Penduduk (jiwa)	Jumlah KK	Kumulatif KK
1	Gondang Lor	Sugio	0,15	3.329	3.329	802	802
2	Deketagung	Sugio	0,54	1.245	4.575	322	1.124
3	Karangsambigai	Sugio	3,13	3.104	7.679	845	1.970
4	Kedungbanjar	Sugio	4,11	1.358	9.037	353	2.323
5	Bakarejo	Sugio	4,34	3.081	12.118	776	3.099
6	Supenuh	Sugio	4,75	1.901	14.019	482	3.581
7	Pangkat Rejo	Sugio	5,20	1.547	15.566	343	3.904
8	Sugio	Sugio	5,34	4.043	19.610	1.176	5.080
9	Kedungdadi	Sugio	5,46	1.945	21.555	468	5.548
10	Lebakadi	Sugio	5,52	649	22.204	145	5.693
11	Garman	Sugio	5,65	457	22.662	123	5.816
12	Kalipang	Sugio	5,72	1.875	24.537	446	6.262
13	Bedingin	Sugio	6,10	244	24.780	59	6.320
14	Sidobogem	Sugio	6,40	728	25.508	219	6.539
15	Jubel Kidul	Sugio	6,88	3.915	29.423	957	7.496
16	Jubel Lor	Sugio	7,59	1.712	31.135	392	7.888
17	Sekarbagus	Sugio	8,14	4.243	35.378	1.067	8.955
18	Sidomlangen	Kedungpring	5,89	816	36.194	232	9.187
19	Maindu	Kedungpring	7,02	1.166	37.360	255	9.442
20	Banjarejo	Kedungpring	7,87	900	38.259	241	9.683
21	Karangsangkri	Kedungpring	8,33	852	39.111	216	9.898
22	Sukomato	Kedungpring	8,74	601	39.702	172	10.070
23	Tlanak	Kedungpring	9,43	798	40.500	194	10.264
24	Jalidrejo	Kedungpring	10,28	1.260	41.760	335	10.598
25	Kradenrejo	Kedungpring	10,52	356	42.116	85	10.683
26	Gunungrejo	Kedungpring	11,30	779	42.895	192	10.875
27	Mojodadi	Kedungpring	11,81	913	43.808	223	11.098
28	Sidomukti	Kembangbahu	7,17	1.255	45.063	260	11.358
29	Kedungmegari	Kembangbahu	7,69	585	45.659	157	11.515
30	Kedungsari	Kembangbahu	9,23	309	45.968	78	11.593
31	Bulumargi	Babat	8,01	302	46.269	84	11.677
32	Sumberagung	Sukodadi	9,13	2.043	48.312	542	12.219
33	Gedangan	Sukodadi	9,33	795	49.108	217	12.436
34	Sivalanrejo	Sukodadi	9,56	742	49.849	180	12.617
35	Sumberaji	Sukodadi	10,24	1.728	51.577	354	12.970
36	Banjarejo	Sukodadi	10,44	2.885	54.463	689	13.660
37	Balunglawun	Sukodadi	11,80	1.685	56.148	360	14.020
38	Baturono	Sukodadi	12,53	2.007	58.155	461	14.481
39	Sugihrejo	Sukodadi	12,73	1.608	59.763	360	14.841
40	Ngruwak	Mudin	13,76	861	60.624	276	15.067
41	Kebet	Lamongan	13,69	1.551	62.176	342	15.409
42	Sumberejo	Lamongan	14,84	747	62.923	204	15.613
43	Pangkatrejo	Lamongan	14,82	1.073	63.996	248	15.862
44	Tanjung	Lamongan	15,18	641	64.637	134	15.995
45	Made	Lamongan	15,76	3.207	67.845	839	16.835

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini adalah sebagai berikut.

Data yang diperlukan dalam studi ini adalah Data Curah Hujan sebagai dasar dari perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik kala ulang PMF, Data luas dan volume tampungan waduk, data teknis Bendungan Gondang, kondisi bagian hilir dari Bendungan Gondang, peta rupa bumi skala 1 : 25.000 dari Bakosurtanal, Peta DEM dari Bakosurtanal.

Input dari program ini adalah peta RBI Skala 1:25.000 sebagai lembar kerja program, Peta DEM untuk pembentukan mesh, lengkung kapasitas waduk (hubungan antara elevasi dan volume waduk), data teknis Bendungan Gondang, inflow PMF.

Berdasarkan hasil penelusuran banjir melalui waduk, diperoleh debit puncak outflow sebesar 384.386 m³/dt dan berada pada elevasi puncak El. +40.593 m atau ketinggian 2.593 m di atas mercu

pelimpah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa debit PMF (968.448 m³/dt) tidak menimbulkan overtopping karena puncak bendungan berada pada EL. +42.00 m. Simulasi untuk overtopping diasumsikan jika puncak bendungan mengalami longsoran (land slide) gempa bumi atau sabotase dan dalam hal ini puncak bendungan diasumsikan berada pada EL. +40.00 m.

Luas genangan banjir dari hasil simulasi menggunakan program Zhong Xing HY21 yang paling ekstrem pada simulasi overtopping adalah sebesar 7167,817 ha; piping atas 4438,818 ha; piping tengah 4520,637 ha; piping dasar 4560,342 ha dan luas genangan hasil BOOS DAMBRK adalah 5029,317 ha.

Output dari program ini dipilih di 14 titik pada alur sungai dan 46 titik pada desa yang tergenang di mana poin ekstrak yang di pilih adalah kedalaman banjir, debit banjir, elevasi muka air banjir dan kecepatan banjir.

Perbandingan inflow dan outflow keruntuhan bendungan antara untuk BOOS DAMBRK dan Zhong Xing HY21 adalah untuk BOOS DAM-BREAK inflow PMF adalah sebesar 1.358 m³/dt dan outflow adalah sebesar 2.087,8 m³/dt. Untuk Zhong Xing HY21 inflow 968,448 m³/dt dan outflow adalah sebesar 11.263 m³/dt yang terjadi pada jam ke 2,13.

Waktu data banjir yang tercepat adalah 0,15 jam dan terlama adalah 4,5 jam; waktu puncak banjir terjadi pada 2,13 jam dan untuk waktu surut banjir yang tercepat adalah 5 jam dan yang terlama adalah 72 jam.

Saran

Terkait dengan simulasi keruntuhan bendungan, maka hasil analisis hidrologi memberikan rekomendasi beberapa hal berikut ini.

Simulasi keruntuhan bendungan hendaknya dilakukan berdasarkan kondisi batas atas berupa hidrograf banjir inflow PMF dengan kondisi *overtopping*

(diasumsikan terjadi penurunan tubuh bendungan akibat gempa ± 2 m), *piping* pada elevasi pelimpah EL. 38,00 m, *piping* pada elevasi bangunan cofferdam EL. 29,00 m, *piping* pada elevasi dasar waduk di EL. 26,00 m dan *piping* tanpa inflow yang diharapkan dapat mewakili kondisi terjadinya keruntuhan akibat bencana lain selain hujan badai.

Dalam simulasi keruntuhan Bendungan Gondang tidak terdapat pengaruh lateral inflow dan bangunan air seperti bendung, kecuali beberapa jembatan di hilir waduk.

Kapasitas alir Sungai Gondang bagian hilir waduk saat ini adalah $\pm 111,57$ m³/dt atau setara dengan banjir kala ulang 5 tahunan, sehingga apabila dilakukan peningkatan kinerja bendungan dengan cara pengerukan (*dredging*), maka diharapkan kapasitas peredaman banjir menjadi meningkat.

Kemampuan software dalam menganalisa keruntuhan bendungan dengan posisi keruntuhan tertentu misalnya piping pada joint antara spillway dengan tubuh bendungan diharapkan bisa lebih disempurnakan mengingat tidak ada software keruntuhan bendungan yang mampu menganalisa keruntuhan bendungan di posisi-posisi tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Soemarto, C.D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Sinotech Engineering Group. 2011. *User Manual Zhong Xing-HY21*. Taiwan: Sinotech Engineering Group.
- Sinotech Engineering Group. 2011. *Step By Step Zhong Xing-HY21*. Jakarta: Sinotech Engineering Group.
- PT. Caturbina Guna Persada. 2011. *Peta Isohit R 1000, R 100 dan PMP Indonesia Wilayah barat*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, Balai Bendungan. Tidak diterbitkan.
- Balai Bendungan. Ditjen Sumber Daya Air. 2011. *Draft Revisi Keputusan Ditjen Pengairan No. 108/KPTS/A/1998 tentang Klasifikasi Bahaya Bendungan*. Jakarta. Maret 2011.