

ANALISIS KERUNTUHAN BENDUNGAN PACAL

Paska Wijayanti ¹⁾, Mamok Suprpto ²⁾, Agus P. Saido ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2) 3)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126. Telp. 0271647069

pascawijayanti@gmail.com

Abstract

Dam besides having great benefits, also holds the potential dangers are great. The dam break can cause flooding which can result in a devastating loss of life. The purpose of this study was to determine the extent of inundation that may occur as a result of dam break and determine the sensitivity of the flood peak discharge generated by dam break to breach parameter. Simulation modeling floods performed using HEC - RAS software 4.1.0. Analysis of the mean daily maximum rainfall areas conducted by the Thiessen Polygon method . Frequency agihan test results qualify the Log Pearson Type III method . PMP DAS Pacal of 518,179 mm . A flood discharge plan that meets the criteria in the chart Creager is a Synthetic Unit Hydrograph method (HSS) Kanazawa with PMF at 2047,71 m³/Sec . Furthermore , the mapping flooding from overtopping collapse using HEC - GeoRAS 3.4.93 software that diintegrasikan in ArcGIS software version 9.3. The sensitivity analysis showed that the peak flood discharge (Qoutflow) generated by a dam break sensitive to changes in the parameters (b and z) and the coefficient of variation n manning. Inundation maps analysis of the results shows flood affected areas of highest risk is Sukosewu village , subdistrict Kapas.

Keywords: Dam Break Analysis, PMF Discharge, Floodplain Mapping

Abstrak

Bendungan disamping memiliki manfaat yang besar, juga menyimpan potensi bahaya yang besar. Bendungan yang runtuh dapat menimbulkan banjir dahsyat yang akan mengakibatkan banyak korban. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui luasan genangan yang mungkin terjadi akibat dari runtuhnya bendungan dan mengetahui sensitivitas debit puncak banjir yang dihasilkan oleh keruntuhan bendungan terhadap parameter keruntuhan. Simulasi pemodelan banjir dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS 4.1.0. Analisis hujan maksimum harian rerata daerah dilakukan dengan metode Polygon Thiessen. Hasil uji agihan frekuensi yang memenuhi syarat yaitu Metode Log Pearson Type III. PMP DAS Pacal sebesar 518,179 mm. Debit banjir rancangan yang memenuhi kriteria pada grafik *Creager* adalah metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dengan PMF sebesar 2047,71 m³/dt. Selanjutnya, dilakukan pemetaan banjir akibat keruntuhan *overtopping* dengan menggunakan *software* HEC-GeoRAS 4.3.93 yang diintegrasikan dalam *software* ArcGIS versi 9.3. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa debit puncak banjir (*Qoutflow*) yang dihasilkan oleh keruntuhan bendungan sensitive terhadap perubahan parameter keruntuhan (b dan z) dan variasi koefisien n manning. Hasil analisis pemetaan genangan menunjukkan daerah yang terkena resiko banjir paling tinggi adalah desa Sukosewu, kecamatan Kapas.

Kata Kunci : Keruntuhan Bendungan, Debit PMF, Peta Genangan.

PENDAHULUAN

Bendungan Pacal terletak di Desa Kedungsumber, Kecamatan Temayang, Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur, berdaya tampung air sekitar 23 juta m³ juga memiliki potensi runtuh. Bendungan Pacal adalah menyerupai jenis bendungan urugan batu membran beton (bendungan UBM). Kekurangan pada bendungan urugan batu adalah lemahnya daya tahan bendungan terhadap *overtopping*. Oleh karena itu, bendungan harus diimbangi dengan bangunan pelimpah yang kapasitasnya mampu mengalirkan debit besar. Kejadian kemungkinan runtuhnya bendungan Pacal menarik untuk dikaji.

Dari latar belakang di atas maka timbul beberapa perumusan masalah dalam studi ini, yaitu:

1. Bagaimana kemungkinan genangan akibat keruntuhan bendungan?
2. Bagaimana hasil simulasi hidrologi dan hidraulika akibat *dam break*?

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Keruntuhan bendungan biasanya diawali dengan rekahan (*breach*) yang terbentuk pada tubuh bendungan. Rekahan adalah bukaan yang terbentuk pada proses runtuhnya tubuh bendungan. Sebenarnya mekanisme tidak begitu dipahami baik untuk bendungan urugan tanah maupun beton (Yanuar, 2012). Upaya sebelumnya pernah dilakukan peneliti yang menganggap tubuh bendungan runtuh seluruhnya, serentak dan sesaat. Untuk meramal banjir di hilir akibat keruntuhan bendungan, biasanya dianggap bendungan runtuh total dan mendadak (Fread, 1988 dalam Yanuar, 2012).

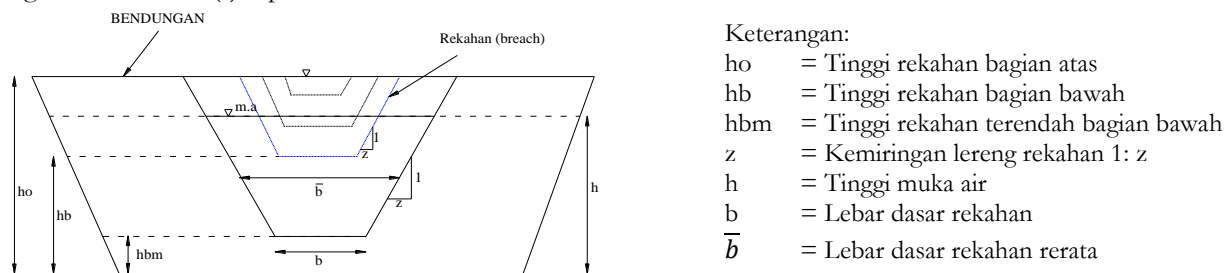
Pada skenario keruntuhan bendungan Evinos, Kotsovinos N.E. (1998) menyatakan bahwa ukuran, bentuk dan waktu yang dibutuhkan untuk pengembangan keruntuhan tergantung pada erodibilitas material urugan dan karakteristik aliran. Karakteristik keruntuhan yang diperlukan sebagai *input* program DAMBRK yang digunakan adalah: 1) ukuran ter-

tinggi dari lebar dasar keruntuhan, 2) elevasi tertinggi dari dasar keruntuhan, 3) bentuk keruntuhan, 4) waktu yang diperlukan untuk mengembangkan keruntuhan, dan 5) elevasi air permukaan waduk di mana keruntuhan dimulai.

Menurut Jeremy Franz (2010), empat elemen penting dari setiap analisis keruntuhan bendungan antara lain: Pendugaan parameter keruntuhan (ukuran, bentuk dan waktu keruntuhan), 2) Keruntuhan debit puncak dan estimasi hidrograf keruntuhan, 3) Keruntuhan penelusuran banjir, 4) Estimasi kondisi hidrolik di lokasi kritis.

Menurut Brad Newlin, PE (2007), Metode pendekatan keruntuhan bendungan meliputi: 1) Analisis hidrologi, meliputi: penentuan *Probable Maximum Precipitation* (PMP), penentuan parameternya, dan mengkalibrasi dengan input hidrograf, 2) Detail keruntuhan bendungan, meliputi: ukuran, bentuk, tinggi dan waktu formasi keruntuhan dan prediksi parameter keruntuhan, USBR(1998), 3) Penelusuran gelombang banjir (*floodwave*), meliputi: penelusuran hidrologi dan penelusuran hidraulika, 4) Pemetaan daerah tergenang (berbahaya).

Pada deskripsi rekahan oleh Freed (1988), parameter keruntuhan bendungan yang mempengaruhi sifat hidrograf banjir di hilir bendungan terdiri atas durasi proses keruntuhan (τ), lebar dasar bukaan bagian yang runtuh (b) dan kemiringan lereng bentuk bukaan (z) seperti Gambar 1.



Sumber: Abinet Kutie Asrate, 2010

Gambar1. Model Proses Keruntuhan Bendungan

Nilai z tergantung pada sudut gesek material bendungan, dapat bernilai dari 0 sampai 1 atau lebih. Bentuk rekahan keruntuhan tergantung pada kombinasi nilai b dan z . Jika $b > 0$ dan $z > 0$, maka bentuk rekahan keruntuhan adalah trapesium. Jika $b > 0$ dan $z = 0$, maka bentuk rekahan keruntuhan adalah segi empat dan jika $b = 0$, $z > 0$, maka bentuk rekahan keruntuhan segitiga. Parameter keruntuhan tersebut untuk mewakili rekahan sebagai ulasan yang sederhana/umum, pemakaian luas, serta adanya ketidakpastian pada mekanisme rekahan yang sebenarnya (Freed, 1988 dalam Yanuar, 2012).

Penelusuran banjir pada debit aliran melalui bangunan *spillway* (Q_s) tergantung pada lebar bangunan *spillway* (B), tinggi peluap (H) dan koefisien debit ($C = 1,7 - 2,2 \text{ m}^{1/2}/\text{dt}$ (diambil $2,2 \text{ m}^{1/2}/\text{dt}$) dengan persamaan berikut:

$$Q_s = C \cdot B \cdot (H)^{3/2} \dots \dots \dots [1]$$

Saat terjadi *overtopping* aliran mengalir melalui *spillway* hanya sebatas lebar *spillway*, sehingga persamaan untuk debit yang melebihi mercu bendungan (Q_o) diuraikan sebagai berikut:

$$Q_o = Q_s + C \cdot (L_1 + L_2) \cdot H \dots \dots \dots [2]$$

dengan:

L_1, L_2 = Panjang aliran yang melewati bendungan (m)

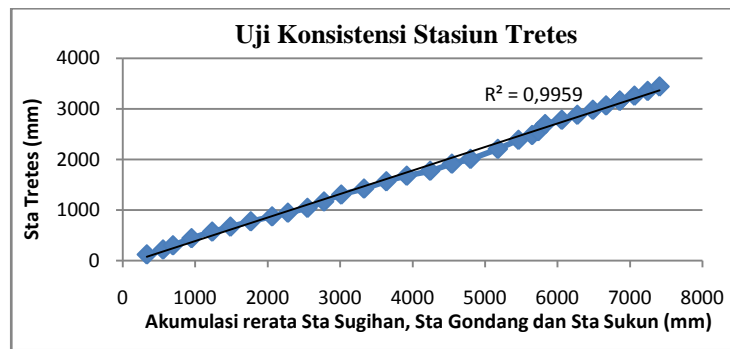
METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di bendungan Pacal, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur. Data yang digunakan meliputi: Peta Rupabumi (RBI) digital Bakosurtanal skala 1:25.000, data hujan harian tahun 1979 – 2010, gambar *main dam Pacal*. Alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: *software HEC-HMS 3.2* untuk pengolahan data hidrologi, *Hec-RAS 4.1* untuk pengolahan simulasi model keruntuhan bendungan, dan *HEC-GeoRAS 4.3.93* yang diintegrasikan dalam *software ArcGIS 9.3* untuk pemetaan genangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pengolahan hidrologi

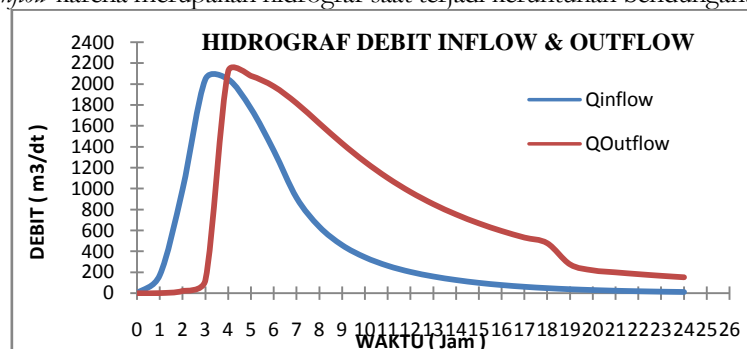
1. Data hujan yang tersedia adalah data hujan harian dari stasiun penakar hujan Sukun, sta Gondang, sta Sugihan, dan sta Tretes yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Data hujan harian yang diperoleh dari ke-empat stasiun yaitu 32 tahun (1979 – 2010).
2. Uji kepenggahan data dilakukan dengan menggunakan lengkung massa ganda. Hasil uji konsistensi untuk stasiun Tretes ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Uji Konsistensi Stasiun Tretes

Hasil uji kepenggahan data menunjukkan bahwa hujan konsisten dan data hujan pada setiap stasiun panggah.

3. Hujan maksimum harian rerata daerah dilakukan dengan metode Polygon Thiessen. Koefisien Thiessen diperoleh dengan pembagian luasan DAS berdasarkan Polygon Thiessen.
4. Agihan frekuensi hujan dihitung dengan beberapa metode untuk menghitung besarnya hujan rancangan antara lain, Metode Normal, Log Normal, E.J. Gumbel dan Log Pearson Type III. Dari hasil perhitungan, maka dipilih agihan yang memenuhi syarat adalah metode agihan Log Pearson III. Selanjutnya dilakukan uji *chi square* dan *smirnov-kolmogorov* untuk menguji kecocokan agihan data apakah memenuhi syarat untuk perencanaan atau tidak. Dari hari uji kecocokan agihan, maka agihan Log Pearson Type III dapat diterima.
5. Hujan Rencana dihitung dengan periode ulang tertentu dilakukan dengan metode Log Pearson Type III dan metode isohyet. Kemudian kedua metode tersebut dibandingkan dan dipilih hasil yang terbesar. Dari perbandingan dipilih hujan rencana dengan metode Isohyet.
6. Hujan Maksimum Boleh Jadi (*Probable Maximum Precipitation*-PMP) dihitung untuk DAS Pacal dihitung dengan metode Isohyet dan *statistical Hershfield*, yang selanjutnya akan dibandingkan dan dipilih hasil yang terbesar. Hasil perhitungan PMP, hujan terbesar yaitu 518,179 mm dengan metode *Hershfield*.
7. Intensitas Hujan Pola Agihan Hujan Jam-jaman untuk mendapatkan debit rancangan berdasarkan hujan rancangan diperlukan data hujan jam-jaman. Berhubung data hujan jam-jaman tidak tersedia untuk wilayah penelitian, maka hujan jam-jaman diturunkan dari hujan harian berdasarkan perkiraan lama hujan atau waktu konsentrasi dengan membandingkan persamaan waktu konsentrasi metode Kirpich dan metode ARR (*Australian Rainfall and Runoff*) yang kemudian dipilih nilai terbesar. Waktu konsentrasi yang digunakan yaitu metode ARR sebesar 4,1 jam dan dibulatkan menjadi 4,0 jam. Penetapan hujan jam-jaman menggunakan persamaan intensitas hujan dengan metode *modified Mononobe*.
8. Debit Banjir Rancangan dalam analisis menggunakan 2 metode yaitu Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dan *Clark Unit Hydrograph*, kemudian kedua metode tersebut dibandingkan dengan grafik *Creager* untuk mendapatkan nilai debit banjir rancangan yang paling akurat. Hasil pengeplotan grafik *Creager* maka debit banjir rancangan yang memenuhi dengan nilai debit terbesar yaitu Metode HSS Nakayasu sebesar 2047,71 m³/dt.
9. Penelusuran banjir bertujuan untuk mengetahui debit *outflow* maksimum dan tinggi air maksimum di hilir pelimpah. Hidrograf banjir akibat keruntuhan bendungan disajikan pada Gambar 3. Hidrograf debit *outflow* pada Gambar 3 lebih besar dari debit *inflow* karena merupakan hidrograf saat terjadi keruntuhan bendungan.



Gambar 3. Grafik Hidrograf Banjir Q PMF

Analisis Hidraulika

1. Tampang lintang sungai

Pada setiap penampang sungai, HEC-RAS menggunakan beberapa parameter masukan untuk menggambarkan bentuk, elevasi, dan lokasi relatif sepanjang sungai. *Input* parameter simulasi keruntuhan bendungan mengikuti data yang ada yaitu peta digital RBI Bakosurtanal, namun hal ini tidak mempengaruhi perbedaan

pada hasil data perhitungan hidrologi dan hidraulika pada HEC-RAS. Untuk sisi hulu bendungan tidak disimulasi karena simulasi keruntuhan bendungan mulai dari bendungan hingga hilir. Dikarenakan peta RBI Bakosurtanal memiliki keterbatasan interval kontur sehingga batas hilir yang disimulasi hingga 40 km dari bendungan. Hal ini disebabkan setelah km 40, kontur sungai berada pada elevasi yang relatif datar.

2. Bendungan Pacal

Data teknis bendungan Pacal yaitu: Tinggi bendungan = 35 m, elevasi mercu bendungan = + 117 m, dan panjang bentang pada Pacal = 90 m.

3. Penentuan Nilai n manning

sungai alam berceruk, melapuk pada dasar sungai, kerikil dan sedikit tanaman mempunyai nilai n manning 0,02 untuk hulu. Sedangkan untuk hilir, saluran alam, tanah, berkelok-kelok, banyak tanaman pengganggu, bertebing dan saluran tidak beraturan mempunyai nilai n manning 0,03 (Ven Te Chow, 1959).

Perkiraan Parameter Rekahan

1. Bentuk rekahan, dalam studi ini diasumsikan rekahan berbentuk trapesium.
2. Elevasi dasar rekahan (h_b), diasumsikan menjadi sama dengan elevasi minimum bendungan yaitu 108 meter.
3. Lebar dasar rekahan (b), dianggap sama dengan lebar lembah sungai adalah 70 meter.
4. Kemiringan sisi rekahan (z), merupakan karakteristik sudut geser dalam material longsor dan diasumsi pada sudut geser dalam material bendungan yang berupa breksi yakni (h/v) = 0,73 (42°)
5. Waktu keruntuhan (τ), dalam penelitian ini τ tidak dilakukan analisis sensitivitas

Pemetaan Banjir dan Pengolahan Hidraulika

Keruntuhan bendungan menyebabkan terjadinya banjir bandang dan genangan pada daerah hilir bendungan. Pemetaan banjir diselesaikan dalam GIS (*Geographic Information Systems*) menggunakan *software Hec-GeoRAS*. Informasi GIS di ekspor dari Hec-Ras dan dibaca ke dalam GIS dengan GeoRAS. HEC-GeoRAS menghasilkan peta genangan banjir untuk tingkat kedalaman. Data DTM yang digunakan pada peneliti ini adalah data TIN (*Triangulated Irregular Network*). Peta dasar yang digunakan dalam penelitian ini berupa data digital Rupa Bumi Indonesia (RBI) Bakosurtanal skala 1:25000 dalam bentuk *shapefile*.

Langkah untuk memetakan banjir diuraikan sebagai berikut:

a) Mengkonversi TIN di *ArcMap 9.3.1*

1. Membuat data DEM dengan membuka *ArcToolbox*, klik *3D Analyst Tools* → *Raster Interpolation* → *Topo to Raster*.
2. Mengkonversi data DEM menjadi kontur dengan interval kontur 2 meter dengan membuka *ArcToolbox*, klik *3D Analyst Tools* → *Raster Surface* → *Contour*.
3. membuat data TIN dengan cara, pada toolbar *3D Analyst* klik *3D Analyst* → *Create/Modify TIN* → *Create TIN from Features*.

b) Mengaktifkan Ekstensi *Hec-GeoRAS 4.1.1*

Lakukan dengan mengklik *Customize* → *Toolbar* → *HEC-GeoRAS*.

c) Membuat Layer RAS (*Geospatial*) Simulasi Sungai di *ArcMap*

Layer RAS yang digunakan untuk membuat set geometris yang dimodelkan dalam *HEC-RAS* meliputi: Sungai (*Stream Centerline*), bantaran sungai (*Bank Lines*), jarak tempuh aliran (*Flow Path Centerline*), tampang lintang (*XS Cut Lines*), geometri bendungan (*Inline Structures*), dan waduk (*Storage Area*).


d) Mengekspor Data GIS ke *HEC-RAS 4.1.1*

1. Memilih data yang akan diekspor dengan pilih *RAS Geometry* → *Layer Setup* → *Required Layers tab*.
2. Mengekspor data GIS dilakukan dengan pilih *RAS Geometry* → *Export RAS Data*.

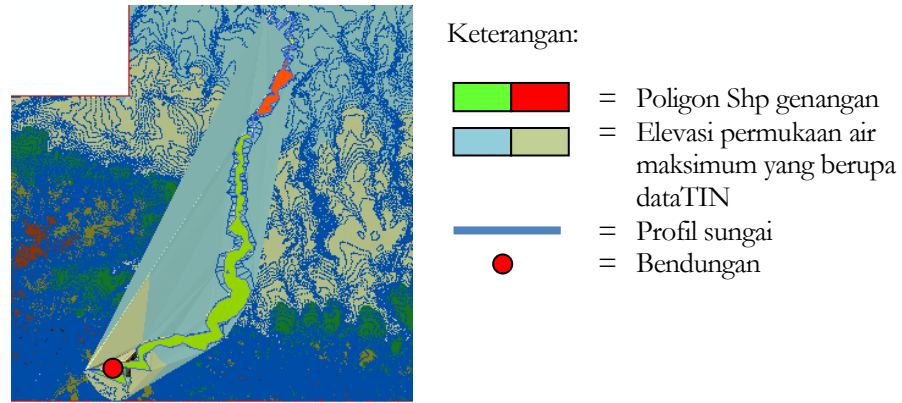
e) Pengolahan Hidraulika di *HEC-RAS 4.1.0*

1. Masuk ke *HEC-RAS*, buat data kosong dan simpan. Kemudian lakukan *import* data dari GIS ke *HEC-RAS* dengan menu *Edit* → *Geometric Data* → pilih menu *File* → *Import Geometry Data* → *GIS Format*
2. Masukkan nilai n'manning dengan klik *Geometric Data* → *Tables menu* → *Manning's n or k values*
3. Mengedit struktur bendungan, Klik editor *Inline Structure*. Selanjutnya lakukan:
 - a. Klik *Weir/Embankment* untuk *input* parameter struktur bendungan
 - b. Klik *breach (plan data)* untuk memasukkan parameter keruntuhan bendungan
 - c. Klik *Rules (unsteady data)* untuk memasukkan data syarat batas dan kondisi awal.
4. Setting Running Simulasi (*Perform Unsteady Flow Analysis*)
5. Ekspor ke ArcGIS untuk melakukan deliniasi area genangan. untuk mengekspor klik *File* → *Export GIS Data* → Klik *Export Data*, file *sdf* akan muncul di *director* kerja. Keluar dari *HEC-RAS* dan masuk ke ArcGIS.

f) Mengimport Data dari *HEC-RAS 4.1.0*

1. Kembali ke proyek sebelumnya di ArcMap dan impor data dari model hidrolika *HEC-RAS*, pada toolbar *HEC-GeoRAS*, klik tombol  *Impor RAS SDF File*

2. Klik pada *RAS Mapping* → *Layer Setup* untuk menganalisis genangan berdasarkan data *HEC-RAS*.
 3. Klik *RAS Mapping* → *Import RAS Data*. Ini akan membuat poligon batas dengan menyambungkan titik akhir dari XS Cut Lines.
- g) Pemetaan Banjir menggunakan GIS
1. Klik *RAS Mapping* → *Inundation Mapping* → *Water Surface Generation*. Pilih Max WS sebagai profil dan klik OK, hal tersebut akan membuat permukaan dengan elevasi permukaan air untuk profil yang dipilih.
 2. Klik *RAS Mapping* → *Inundation Mapping* → *Floodplain Delineation Using Rasters*, pilih pada Max WS sebelumnya. TIN yang tadi akan dikonversi ke GRID dan kemudian *surface terrain* di kurangkan dari grid urface air. Hasil akhir adalah poligon genangan banjir, dan GRID yang merepresentasikan kedalaman air seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Poligon Ge

Hasil Analisis Sensitivitas Debit Puncak Terhadap Parameter Keruntuhan

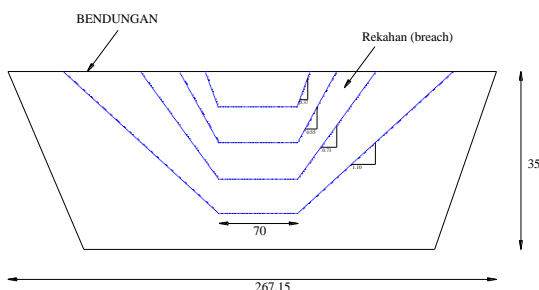
Pertumbuhan rekahan pada tubuh bendungan tergantung sifat-sifat material penyusunnya. Sifat tersebut dalam *software HEC-RAS 4.1.0* dikenal sebagai parameter keruntuhan seperti lebar dasar bukaan keruntuhan (*b*) bendungan pada *HEC-RAS* digunakan untuk menguji sensitivitas antara parameter keruntuhan dan *Q_{max}*. Hasil analisis dirangkum dalam Tabel 1. Model ilustrasi skenario keruntuhan bendungan Pacal disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 1. Perbandingan Debit Maksimum dan Parameter Keruntuhan

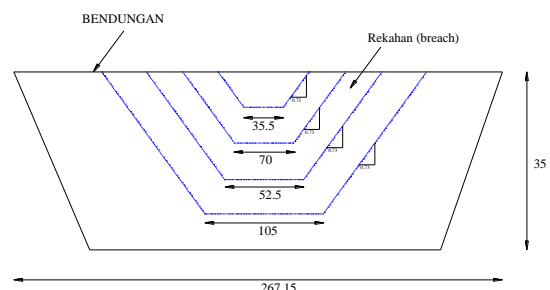
Skenario	Parameter keruntuhan		Debit Maksimum (m ³ /s)
	Lebar dasar rekahan (m)	Kemiringan sisi rekahan (1:z)	
1	70	0,73	305821,9
2	70	0,37	305821,9
3	70	0,55	305821,9
4	70	1,1	305821,9
5	35	0,73	305821,9
6	52,5	0,73	305821,9
7	105	0,73	305821,9

Tabel 2. Presentase Perubahan Debit Maksimum dan Parameter Keruntuhan

Perbandingan Skenario	Parameter keruntuhan (%)		Debit Maksimum (%)
	Lebar dasar rekahan	Kemiringan sisi rekahan	
1 dan 2	0	-49,32	0,00
1 dan 3	0	-24,66	0,00
1 dan 4	0	50,68	0,00
1 dan 5	-50	0,00	0,00
1 dan 6	-25	0,00	0,00
1 dan 7	50	0,00	0,00



Gambar 5. Ilustrasi Skenario Keruntuhan 1,2,3, dan 4



Gambar 6. Ilustrasi Skenario Keruntuhan 5,6, dan 7.

Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dijelaskan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada kondisi b tetap, perubahan pengurangan z sampai dengan 49,32% dan peningkatan sampai 50,68% mengakibatkan perubahan debit puncak banjir yang dihasilkan tetap/tidak ada perubahan. Dari hasil perbandingan ini disimpulkan bahwa debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang dihasilkan tidak sensitive terhadap perubahan kemiringan lereng rekahan keruntuhan (z).
2. Pada kondisi z tetap, perubahan pengurangan b sampai dengan 50% dan peningkatan sampai 50%. Dari hasil perbandingan ini disimpulkan bahwa debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang dihasilkan tidak sensitive terhadap perubahan lebar rekahan keruntuhan (b).
3. Dari kedua kesimpulan tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan parameter b dan z tidak mengakibatkan perubahan pada debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang dihasilkan, sehingga skenario tersebut tidak sensitive. Debit maksimum pada setiap skenario terjadi pada stationing sungai yang sama yaitu 39+166,59. Ini terjadi karena data topografi RBI Bakosurtanal dalam menginterval kontur pada daerah sungai kurang sempurna serta tidak adanya ketersediaan data pengukuran.

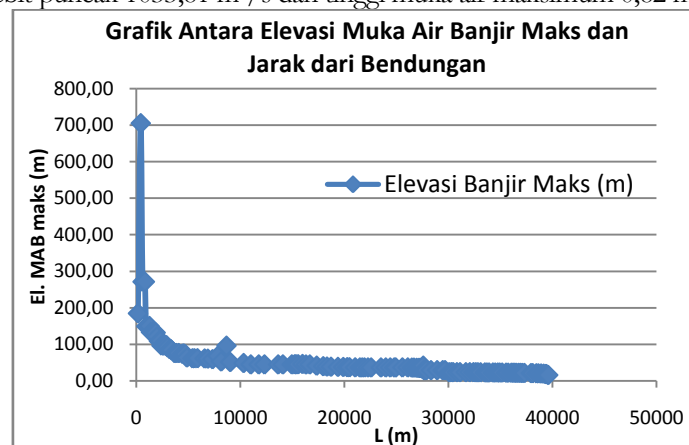
Hasil Analisis Sensitivitas Debit Puncak Terhadap Koefisien n'Manning

Dalam simulasi penelusuran aliran *unsteady*, hasilnya sangat sensitif terhadap nilai n manning karena salah satu parameter fisik model yang tidak pasti. Dalam kasus ini n manning dianggap tetap untuk sepanjang sungai dan elevasi air yang berbeda dan diasumsikan sama untuk kiri saluran, kanan saluran dan saluran utama, karena sulitnya menentukan koefisien n manning yang disebabkan oleh banyaknya faktor yang mempengaruhi. Dalam analisis ini tinjauan dilakukan di hilir bendungan.

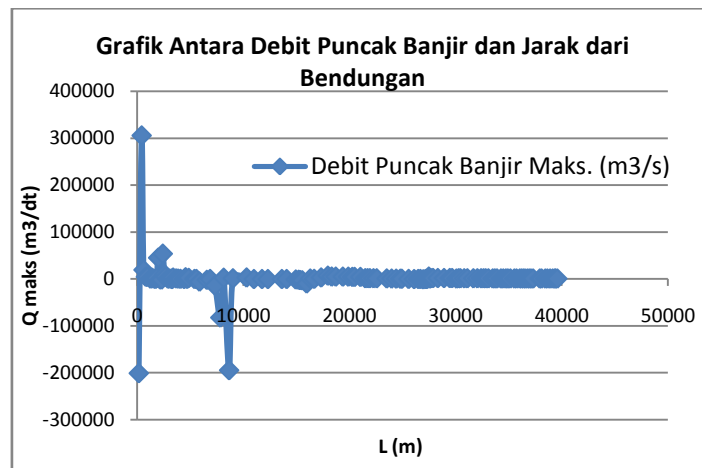
Pada analisis sensitivitas ini, untuk hulu bendungan ditetapkan nilai n manning adalah 0,15 dan di hilir digunakan 5 variasi nilai n manning bendungan yaitu 0,02 dan 0,03; 0,03 dan 0,04; 0,03 dan 0,045; 0,035 dan 0,04; 0,035 dan 0,045. Hasil perbandingan 5 variasi tersebut mengakibatkan debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang dihasilkan sensitive. Hasil perbandingan 5 variasi koefisien n manning mengalami peningkatan sampai 434,25% (0,02 -0,03 dan 0,03 -0,045) sehingga mengakibatkan debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang dihasilkan sensitive. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakserasian antara data sebenarnya dengan data topografi RBI Bakosurtanal disertai pula ketidaksempurnanya interval pada kontur sungai dalam menggambarkan tampang lintang sungai.

Penelusuran Banjir Hasil Simulasi

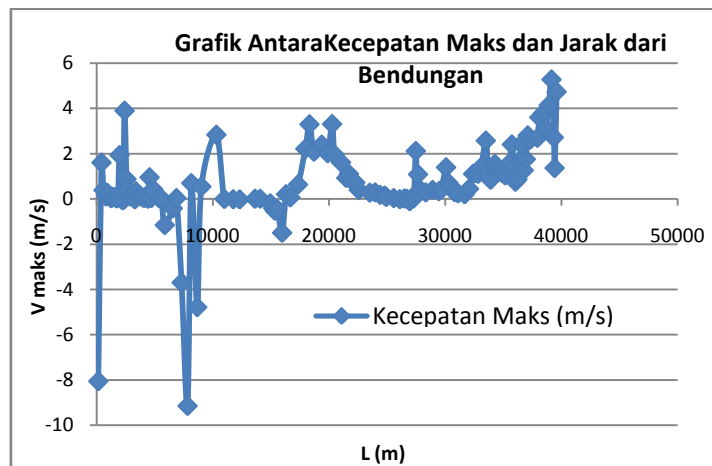
Simulasi aliran banjir akibat keruntuhan bendungan menelusuri sungai kalipacal kearah hilir hingga batas simulasi. Dari hasil simulasi, ujung banjir mencapai km 39,578 (RS 0+340) dalam waktu keruntuhan 0,15 jam (9 menit) yakni pada pukul 00:01 sejak mulai terjadi keruntuhan, sedangkan puncak banjir terjadi pada pukul 04:23 atau dalam waktu 4,37 jam (262 menit) dengan debit puncak 1033,81 m³/s dan tinggi muka air maksimum 0,82 meter dari dasar sungai.



Gambar 5. Elevasi Muka Air Banjir Maksimum Hasil Simulasi



Gambar 6. Debit Puncak Banjir Hasil Simulasi



Gambar 7. Kecepatan Banjir Maksimum Hasil Simulasi

Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 dapat dijelaskan hal-hal sebagai berikut:

1. Gambar 5 mengalami penurunan elevasi muka air banjir maksimum, hal ini disebabkan oleh penurunan elevasi dasar sungai yang sedikit drastis dan kecepatan banjir yang meningkat.
2. Gambar 6 mengalami penurunan debit puncak banjir yang besar, hal ini disebabkan oleh efek tampungan pada bantaran sungai, dan adanya gesekan pada bagian dasar dan tebing sungai. Debit puncak mengalami peningkatan disebabkan oleh perubahan tampang lintang yang cukup besar dengan kemiringan sisi tebing sungai yang semakin melebar disertai tampang sungai yang berkelok tajam.
3. Gambar 7 mengalami penurunan dan peningkatan kecepatan banjir disebabkan oleh efek sungai yang berkelok tajam disertai pengaruh jarak tempuh aliran pada bantaran sungai.

Daerah Tergenang

Penyusunan peta genangan berdasarkan administrasi daerah yang tergenang (desa dan kecamatan), jarak dari bendungan (L), tinggi genangan (H), luas genangan (A), dan volume genangan (V). Berdasarkan hasil analisis daerah yang terkena resiko banjir paling tinggi adalah desa Sukosewu, kecamatan Kapas. Sedangkan daerah yang terkena resiko dengan volume yang paling besar adalah desa Temayang, kecamatan Temayang. Hasil tersebut menunjukkan tinggi, luas, dan volume genangan yang tidak linier disebabkan efek elevasi dasar sungai.

SIMPULAN

Dari proses analisis terhadap parameter keruntuhan dan pengujian sensitivitas diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemungkinan genangan akibat keruntuhan bendungan yaitu menuju hilir bendungan ke sungai kalipacal sepanjang 40 km. Berdasarkan hasil analisis daerah yang terkena resiko banjir paling tinggi adalah desa Sukosewu, kecamatan Kapas. Sedangkan daerah yang terkena resiko dengan volume yang paling besar adalah desa Temayang, kecamatan Temayang. Hasil tersebut menunjukkan tinggi, luas, dan volume genangan yang tidak linier disebabkan efek elevasi dasar sungai.
2. Simulasi pemodelan banjir dilakukan menggunakan *software HEC-RAS 4.1.0*. Hidrograf banjir diperoleh dengan menganalisis aspek hidrologi terkait. Hasil simulasi hidrologi *dam break* antara lain: analisis hujan maksimum harian rerata daerah dilakukan dengan metode Polygon Thiessen. Hasil uji agihan frekuensi yang memenuhi syarat yaitu

Metode Log Pearson Type III. PMP DAS Pacal sebesar 518,179 mm. Debit banjir rancangan yang memenuhi kriteria pada grafik *Creager* adalah metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu sebesar 2047,71 m³/dt.

3. Hidraulika akibat *dam break* antara lain dilakukan analisis penelusuran aliran puncak banjir dengan aliran *unsteady* disimulasi dengan *software HEC-RAS 4.1*. Terkait dengan keterbatasan data dan informasi yang diperoleh, data tampang lintang di hilir bendungan sungai diinterpretasikan dari peta topografi Rupa Bumi Indonesia (RBI) Bakosurtanal skala 1:25000 tahun 2001. Pemodelan simulasi sungai dilakukan di HEC-GeoRAS terlebih dahulu kemudian diinterpretasikan ke dalam HEC-RAS.
4. Debit puncak banjir (*Qoutflow*) yang dihasilkan oleh keruntuhan bendungan tidak sensitive terhadap perubahan parameter keruntuhan (*b* dan *z*) dan sensitive terhadap variasi koefisien *n* manning.
5. Aliran banjir yang mengalir kearah hilir mengalami penurunan elevasi muka air banjir maksimum, hal ini disebabkan oleh penurunan elevasi dasar sungai yang sedikit drastis dan kecepatan banjir yang meningkat.
6. Aliran banjir yang mengalir kearah hilir mengalami penurunan debit puncak banjir yang besar, hal ini disebabkan oleh efek tampungan pada bantaran sungai, adanya gesekan pada bagian dasar dan tebing sungai. Debit puncak juga mengalami peningkatan yang disebabkan oleh perubahan tampang lintang yang cukup besar dengan kemiringan sisi tebing sungai yang semakin melebar.
7. Aliran banjir yang mengalir kearah hilir mengalami penurunan dan peningkatan kecepatan banjir disebabkan oleh efek sungai yang berkelok tajam disertai pengaruh jarak tempuh aliran pada bantaran sungai.
8. Penulis menyadari bahwa penelitian ini banyak digunakan asumsi dan mengikuti data yang ada yaitu data topografi RBI Bakosurtanal dalam melakukan simulasi karena keterbatasan data dan informasi yang terukur. Simulasi penelitian ini dapat dikatakan tidak sempurna, karena ketidaksesuaian pada data teknis bendungan Pacal dan data topografi RBI Bakosurtanal. Hambatan pada data topografi adalah keterbatasan interval kontur pada peta digital RBI Bakosurtanal. Namun hasil akhir menunjukkan bahwa bendungan Pacal mengalami keruntuhan *overtopping*.

REKOMENDASI

Rekomendasi yang dapat kami berikan untuk menindaklanjuti hasil penelitian adalah:

1. Sebaiknya data untuk simulasi di HEC-RAS dan HEC-GeoRAS sesuai dengan data lapangan yang ditinjau.
2. Dalam mengkonversi data DEM menjadi data TIN harus teliti dalam pengecekan kontur dan garis sungai.
3. Sebaiknya juga memperhitungkan transpor sedimen sehingga diperoleh hasil yang lebih efektif dalam pendekatan kejadian keruntuhan bendungan.
4. Sebaiknya saat mensimulasi tampang lintang sungai di Hec-RAS, jarak per station dibuat lebih detail agar mendapatkan hasil yang lebih efisien dalam pendekatan simulasi keruntuhan bendungan.
5. Perlu penelitian lanjutan dengan data dan informasi yang lebih terukur sehingga hasil simulasi lebih efektif dan mendekati kondisi lapangan yang sebenarnya.

REFERENSI

- Asrate, Abinet Kutie., 2010. *Sensitivity Analysis of Dam Breach Parameter*. California State University. Sacramento.
- A.Salajegheh., M.Bakhshaei., S.Chavoshi., 2009. *Floodplain mapping using HEC-RAS and GIS in semi-arid regions of Iran*. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Franz, Jeremy., Blair, John G., Gavin, Matt., McCormick, Bill., 2010. *Guidelines for Dam Breach Analysis*. Office of The State Engineer Dam Safety Branch. State of Colorado.
- Istiarto, 2012. *Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika Hec-Ras. Modul Pelatihan Dam Breach Analysis*. Yogyakarta.
- Kotsovinos N.E., D.Andreakou., P.B. Angelidis., 2011. *Dam Break Analysis of Evros Earth Dam: Forecasting The Characteristics of The Downstream Flood Wave*. School of Civil Engineering Democritus University of Thrace. Greece
- Tony A.Atallah, 2002. *A Review on Dams and Breach Parameters Estimation*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Blacksburg.
- Yanuar Tri Kurniawan., 2012. *Simulasi 1-d Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Alam (Studi Kasus Bencana Banjir Bandang Di Sungai Kaliputih Kabupaten Jember Tahun 2006)*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.