



Prosiding

SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI*

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

Ambon, 07 Mei 2014

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

VISUALISASI JEBOLNYA TANGGUL DANAU ALAM WAE ELA NEGERI LIMA AMBON

Victor HM Sinaga, Ibrahim Jalri Mony, Robert Hutagalung

Jurusan Fisika, Universitas Pattimura Ambon, Maluku

e-mail: vqvilovyu@yahoo.co.id, fisikafotonkeren@gmail.com, robert_hutagalung@yahoo.com

ABSTRAK

Jebolnya danau alam Wae Ela yang terjadi di Negeri Lima Ambon memberikan dampak kerusakan yang besar terhadap pemukiman masyarakat yang berada di jalur sungai. Dengan volume air sekitar 16 juta liter, telah memberikan dampak kerugian yang besar bagi masyarakat yang terkena bencana tersebut, karena hampir semua pemukiman yang berada di Negeri Lima ikut hanyut terbawa gelombang air dari dampak jebolnya danau alam Wae Ela ini. Penelitian ini bertujuan untuk dapat membuat visualisasi jebolnya danau alam serta dapat mengetahui perbandingan kecepatan air, tekanan air, debit air dan ketebalan air ketika sampai ke pemukiman masyarakat sebelum dan sesudah bencana terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat diketahui bahwa selisih ketika danau alam Wae Ela setelah dan sebelum jebol kecepatan air sebesar 35.36 m/s, tekanan air sebesar 1746.18 Pa, debit air sebesar 10963.66 m³/s, ketebalan air sebesar 6.37 m ketika sampai di pemukiman masyarakat. Dengan demikian dari data yang telah didapat dari penelitian ini, dibuat visualisasi yang dapat menunjukkan jebolnya danau alam Wae Ela Negeri Lima, Ambon.

Kata kunci : Visualisasi, Danau Alam, Risiko dan Pemukiman.

PENDAHULUAN

Salah satu wilayah di pulau Ambon yaitu desa Negeri Lima terletak secara geografis berada pada posisi 4°- 5° Lintang Selatan dan 125° - 126° Bujur Timur, memiliki penduduk sekitar 900 kk atau 4500 jiwa. Terdapat sungai-sungai yang melintasi daerah tersebut di setiap tahunnya yang selalu mengalir karena sebagian besar wilayah Negeri Lima ini adalah wilayah perbukitan yang berpotensi terjadinya pengikisan material-material di sekitar sungai seperti pasir, kerikil, dan batuan kecil dari daratan ke laut. Pada wilayah Negeri Lima ini terdapat dua sungai yang menyatu di suatu lembah yang bertebing di sisi-sisi pada jalur aliran sungai tersebut (Anonim, 2010).

Hanya sedikit daerah daratan rendah yang datar dari keseluruhan luas wilayah pulau Ambon, yakni hanya sekitar 17%. Daerah dataran rendah yang datar, ada di sepanjang pesisir pantai yang merupakan tempat pemukiman penduduk pulau Ambon. Demikian pula dengan desa ini, kebanyakan penduduk Negeri Lima bermukim di daerah dataran rendah yang dekat dengan pesisir pantai karena banyak masyarakat yang berprofesi atau mengantungkan hidupnya pada hasil laut, sehingga ada masyarakat yang pemukimannya berada di hilir bendungan. Total penduduk yang terdapat di bagian hilir bendungan alam tersebut sekitar 900 kk atau 4500 jiwa. Sangat berisiko besar menelan korban jiwa ketika terjadi jebolnya tanggul alam di Wae Ela yang akan langsung menghancurkan pemukiman masyarakat desa Negeri Lima. Bisa dibayangkan dengan volume air lebih dari 16 juta meter kubik jika jebol, maka hanya dalam

waktu empat hingga tujuh menit saja, seluruh bangunan dan fasilitas di Negeri Lima sudah rata dengan tanah dan airnya telah mencapai hilir sungai atau laut.

Upaya mengurangi volume air pada danau alam (*natural dam*) ini telah dilakukan oleh pemerintah (Dep PU/SDA/BNPB) seperti mengeluarkan air dari danau dengan menggunakan mesin pompa air dan membangun *spillway*, yaitu bangunan pelimpah air danau dan lain sebagainya. Namun itu tidak cukup, karena masih banyak hal yang masih perlu dikaji atau diperhitungkan kembali mengingat besarnya risiko dan dampak yang ditimbulkan dari jebolnya tanggul alam terhadap wilayah pemukiman Negeri Lima, Ambon. Maka perlu untuk dilakukan penelitian secara langsung dan dengan bantuan program komputer, dapat memperlihatkan simulasi (animasi) jebolnya tanggul Dam alam Wae Ela, guna mengkaji dan menganalisis dampak risiko jebolnya tanggul Dam alam terhadap wilayah pemukiman Negeri Lima, Ambon.

LANDASAN TEORI

A. Tekanan Air

Ketidakmampuan fluida (air) untuk menolak gaya-gaya tangensial (tegangan geser) memberi kemampuan karakteristik kepada fluida tersebut akan merubah bentuknya atau untuk mengalir. Tekanan ditransmisikan kepada lapisan-lapisan batasan melalui lapisan-lapisan sebarang dari fluida di dalam arah gerak lurus kepada batas-batas atau pada bagian-bagian di setiap titik (Hutagalung, 1999).

Untuk mencari tekanan hidrostatik pada kedalaman tertentu (h) dapat ditentukan dengan persamaan (Halliday dan Resnick, 1988):

$$P = \rho gh \quad (1)$$

dimana : P tekanan (Pa), ρ rapat massa jenis zat cair (kg/m^3), g percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), dan h kedalaman (m).

B. Debit Air

Debit sungai diperoleh setelah mengukur kecepatan air dengan alat pengukur atau pelampung untuk mengetahui data kecepatan aliran sungai dan kemudian dikalikan luas melintang (luas potongan lintang sungai) pada lokasi pengukuran kecepatan tersebut (Sosrodarsono dan Tominaga, 1984).

Debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 1995).

$$Q = v \times A \quad (2)$$

dimana : Q debit aliran sungai (m^3/s), A Luas bagian penampang basah (m^2), v kecepatan aliran (m/s).

C. Kecepatan Gelombang Air

Gelombang air bergerak dengan kecepatan sama dengan akar kuadrat hasil perkalian antara percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan kedalaman air.

$$v = \sqrt{g \times d} \quad (3)$$

dimana: v kecepatan (m/s), g percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), d kedalaman (m).

D. Ketebalan Lapisan

Ketebalan lapisan disini dibuat dengan menganggap bahwa permukaan air pada Dam datar/rata (tidak bergelombang) dan bergantung pada panjang lintasan yang dilalui air.

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4,64}{\text{Re}_x^{1/2}} \quad (4)$$

dimana: δ ketebalan lapisan batas, x jarak dari ujung pelat.

Angka Reynold didapat dari pekalian rapat massa dengan jarak dibagi dengan viskositas seperti berikut:

$$\text{Re}_x = \frac{\rho \cdot x}{\nu} \quad (5)$$

dimana: Re Angka Reynold, ρ rapat massa air, x jarak dari ujung pelat, ν viskositas air.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat pengambilan data primer sebagai input data untuk visualisasi jebolnya tanggul danau alam (*natural dam*) berada di Dam Wai Ela pasca bencana, Negeri Lima, Ambon.

Pembuatan Program

Sesuai dengan prosedur penelitian, maka dapat dibuat program komputer untuk menampilkan simulasi jebolnya tanggul Dam alam Wae Ela. Untuk itu, dipilih bahasa program yang menyediakan sejumlah fasilitas yang memungkinkan untuk membuat program terstruktur, yaitu program yang mudah dipahami dan dikembangkan, selanjutnya menyediakan sarana simulasi atau animasi dengan tampilan yang baik. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka program ini dibuat dengan bahasa pemrograman basic versi Visual Basic 6.0. Program dibuat untuk menampilkan perhitungan atau penyelesaian, guna mempermudah perkiraan berdasarkan teori-teori yang dipakai, kemudian ditampilkan simulasi jebolnya tanggul yang disesuaikan dengan tempat jebolnya.

Visual Basic merupakan penggabungan dari Microsoft Quick Basic dan Microsoft Basic (dikenal juga dengan Basic Compiler) yang memiliki bahasa pemrograman tingkat tinggi dibandingkan dengan bahasa pemrograman Assembly, Pascal dan Delphi.

Uraian Program

1. Input Program

Parameter-parameter yang digunakan untuk membuat program ini antara lain:

- a) h = Tinggi permukaan pemukiman (m)
- b) h = Tinggi permukaan danau (m)
- c) h = Kedalaman danau (m)
- d) A = Luas penampang (m^3)

2. Output Program

Output yang dihasilkan dari program ini, berupa tampilan simulasi jebolnya tanggul Dam alam Wae Ela di Negeri Lima yang menampilkan seberapa jauh lokasi pemukiman yang terkena dampak jebolnya tanggul. Selain itu program ini juga menampilkan hasil perhitungan perkiraan nilai dari kecepatan gelombang air, tekanan air, debit air dan ketebalan air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

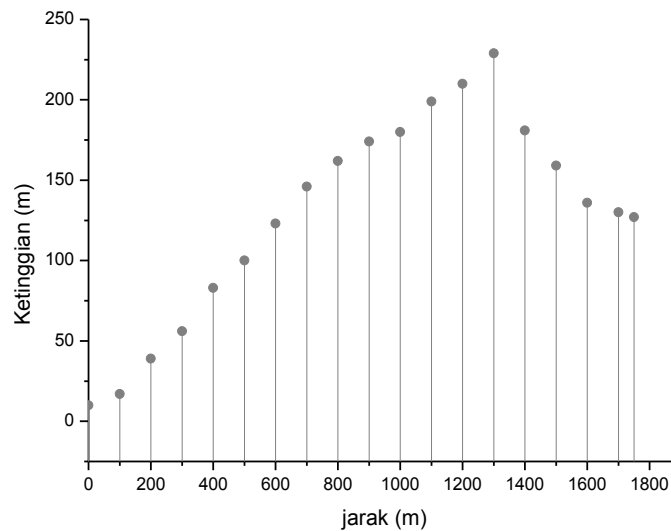
1. Ketinggian

Dengan menggunakan GPS, diambil data ketinggian dari lokasi pemukiman hingga sampai di lokasi danau Wae Ela dengan mencatat data ketinggian tersebut setiap jarak perjalanan 100 meter. Hasil pengukuran tersebut dirangkumkan pada Tabel 1 .

Tabel 1. Data Ketinggian

no	Jarak (m)	Ketinggian (m)	Koordinat Latitude dan Longitude	Keterangan
1	0	10	S 03037'45.7" E 127038'01.5"	Wilayah Pemukiman
2	100	17	S 03037'45.9" E 127038'01.9"	Wilayah Pemukiman
3	200	39	S 03037'48.9" E 127039'21.9"	Wilayah Pemukiman
4	300	56	S 03037'49.9" E 127041'11.9"	Wilayah Perbukitan
5	400	83	S 03037'50.9" E 127042'44.9"	Wilayah Perbukitan
6	500	100	S 03037'55.9" E 127044'24.9"	Wilayah Perbukitan
7	600	123	S 03038'01.9" E 127046'17.9"	Wilayah Perbukitan
8	700	146	S 03038'14.9" E 127047'57.9"	Wilayah Perbukitan
9	800	162	S 03038'21.9" E 127049'29.9"	Wilayah Perbukitan
10	900	174	S 03038'30.9" E 127051'38.9"	Wilayah Perbukitan
11	1000	180	S 03038'35.9" E 127053'58.9"	Wilayah Perbukitan
12	1100	199	S 03038'47.9" E 127057'18.9"	Wilayah puncak bukit Dam alam
13	1200	210	S 03038'51.9" E 127058'30.9"	Wilayah puncak bukit Dam alam
14	1300	229	S 03038'58.0" E 127059'08.4"	Wilayah puncak bukit Dam alam
15	1400	181	S 03038'59.7" E 127059'09.6"	Wilayah Lembah Dam alam
16	1500	159	S 03039'07.8" E 127059'10.4"	Wilayah Lembah Dam alam
17	1600	136	S 03039'11.3" E 127059'11.0"	Wilayah Dam Alam
18	1700	130	S 03039'17.9" E 127059'11.9"	Wilayah Dam alam
19	1750	127	S 03039'19.2" E 127059'12.0"	Wilayah Dam Alam

Berdasarkan data ketinggian di setiap titik pengambilan data pada tabel 1, dapat dibuat grafik dengan bantuan *software Originpro 8* sebagai berikut (gambar 1).



Gambar 1. Grafik Ketinggian dari Pemukiman hingga Dam Wae Ela.

Dari hasil diatas dapat di tentukan selisih ketinggian antara daerah pemukiman dengan Dam alam Wae Ela yang nantinya juga digunakan dalam pengolahan data yaitu 117 m.

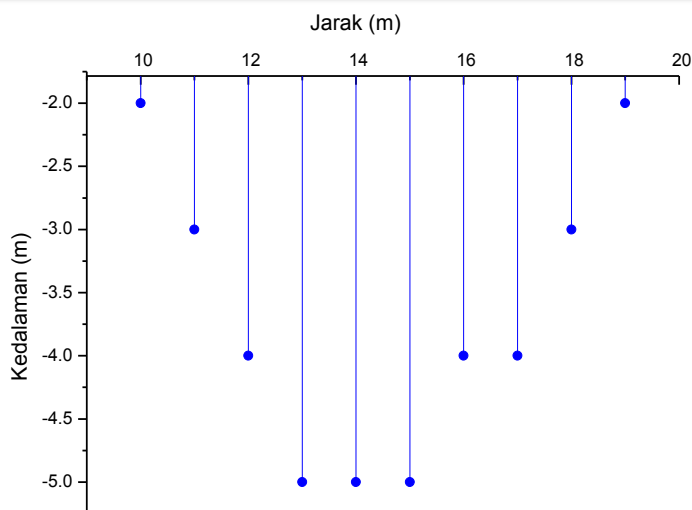
2. Kedalaman

Mulai jarak 10 m dari titik data ketinggian ke danau digunakan tali ukur utuk dapat mengambil data kedalaman air danau seperti berikut:

Tabel 2. Data Kedalaman Dam Alam Wae Ela.

No	Jarak (m)	Kedalaman (m)	Koordinat Latitude dan Longtitude
1	10	2	S 03039' 19.2'' E 127059' 12.1''
2	11	3	S 03039' 19.2'' E 127059' 12.2''
3	12	4	S 03039' 19.2'' E 127059' 12.3''
4	13	5	S 03039' 19.3'' E 127059' 12.4''
5	14	5	S 03039' 19.3'' E 127059' 12.5''
6	15	5	S 03039' 19.3'' E 127059' 12.6''
7	16	4	S 03039' 19.3'' E 127059' 12.7''
8	17	4	S 03039' 19.4'' E 127059' 12.8''
9	18	3	S 03039' 19.4'' E 127059' 12.9''
10	19	2	S 03039' 19.4'' E 127059' 13.0''

Berdasarkan data tabel kedalaman pada table 2, dapat dibuat grafik dengan memasukan data tersebut kedalam program *Originpro 8*, seperti berikut:

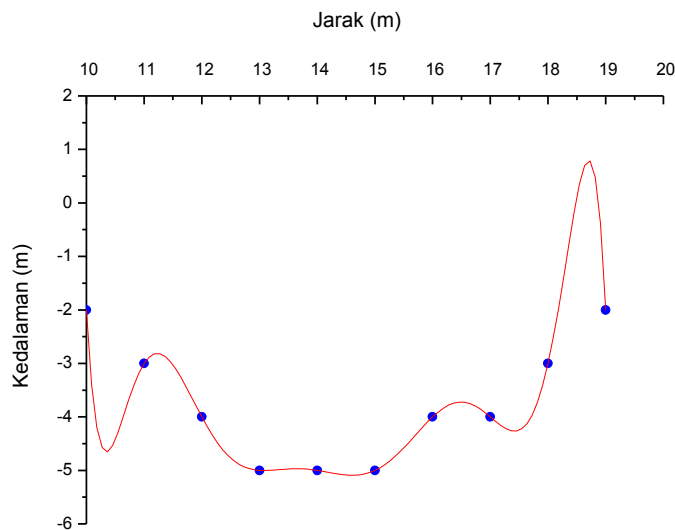


Gambar 2. Grafik Kedalaman Dam Wae Ela.

Sehingga, dari data kedalaman di atas akan diambil kedalaman yang paling besar nilainya untuk pengolahan data yaitu kedalaman 5 meter.

3. Luas penampang

Sebelum melakukan perhitungan luas penampang sungai pertama-tama yang harus dilakukan adalah fitting data. Data yang diperoleh pada hasil penelitian pengukuran lebar dan kedalaman sungai untuk 10 titik dilakukan proses fitting menggunakan fitting polynomial orde 9 dengan bantuan *software Origin 8*, seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Luas Penampang Bagian Hilir Dam Wae Ela.

Ekspresi polynomial dari hasil fitting 10 titik pengukuran dirangkumkan pada tabel 3.

No	Ekspresi Polynomial	
1	Intercept	5.21E+06
2	B1	-3.39E+06
3	B2	975525.2418
4	B3	-162806.6761
5	B4	17370.51447
6	B5	-1228.79782
7	B6	57.63715
8	B7	-1.72867
9	B8	0.03008
10	B9	-2.31E-04
11	l	9

Tabel 3. Ekspresi Polynomial Luas Penampang Hilir Dam Wae Ela.

Luasan penampang dapat dihitung menggunakan integral hasil ekspresi polynomial, sebagai berikut:

$$A = \int_0^l y(l) dl$$

$$A = \int_0^l (\text{intercept} + B1l + B2l^2 + B3l^3 + B4l^4 + B5l^5 + B6l^6 + B7l^7 + B8l^8 + B9l^9) dl$$

$$= \text{intercept} \cdot l + B1 \frac{l^2}{2} + B2 \frac{l^3}{3} + B3 \frac{l^4}{4} + B4 \frac{l^5}{5} + B5 \frac{l^6}{6} + B6 \frac{l^7}{7} + B7 \frac{l^8}{8} + B8 \frac{l^9}{9} +$$

$$B9 \frac{l^{10}}{10} \Big|_0^l$$

$$= 5,20835 E6 \times 9 + (-3,3907 E6) \frac{9^2}{2} + (975525,24181) \frac{9^3}{3} + (-162806,67614) \frac{9^4}{4}$$

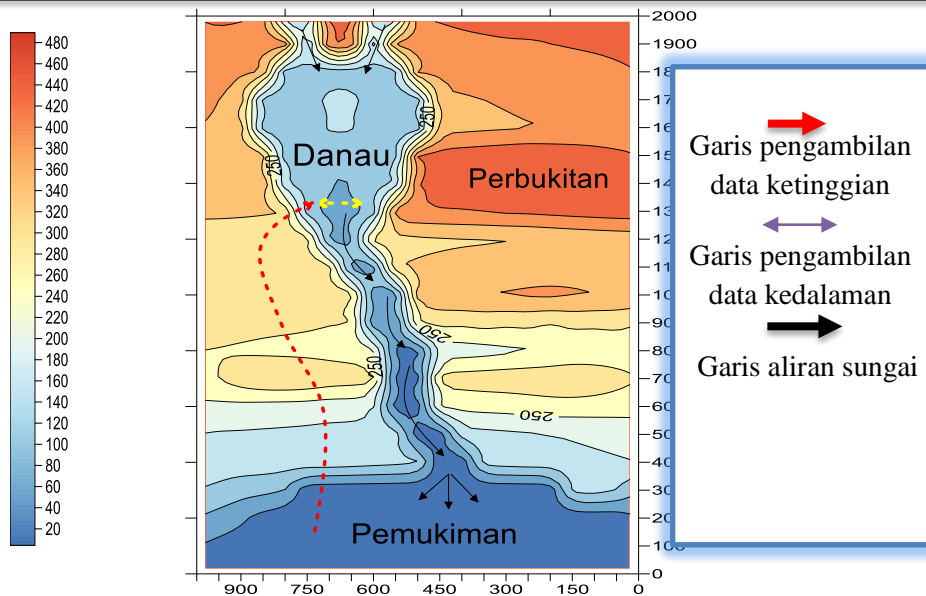
$$+ (17307,51447) \frac{9^5}{5} + (-1228,79782) \frac{9^6}{6} + (57.63715) \frac{9^7}{7} + (-1,72867) \frac{9^8}{8} +$$

$$(0,03008) \frac{9^9}{9} + (-2.31481 E(-4)) \frac{9^{10}}{10} + 0$$

$$= 310,486 \text{ m}$$

Maka dari data kedalaman di atas akan diambil luas penampang hilir Dam Wae Ela sebesar 310 meter.

Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat dibuat peta topografi dari daerah pemukiman sampai daerah Dam Wae Ela, seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Peta Topografi Daerah Sekitar Dam Wae Ela

1. Kecepatan air

Berdasarkan persamaan 3, kecepatan air dapat dihitung sebagai berikut :

- a. Untuk kecepatan setelah bencana

$$v = \sqrt{(9,8 \text{ m/s}^2)(5 \text{ m})}$$

$$= 7,0035 \text{ m/s}$$

- b. Untuk kecepatan sebelum bencana

$$v = \sqrt{(9,8 \text{ m/s}^2)(183 \text{ m})}$$

$$= 42,3701 \text{ m/s}$$

2. Percepatan bidang miring

Percepatan bidang miring di dapat dari hasil bagi data selisih ketinggian dengan jarak antara daerah pemukiman ke daerah Dam Wae Ela yaitu:

$$\sin \theta = \frac{h}{l}$$

$$\sin \theta = \frac{117}{1750}$$

$$= 0,0668$$

Maka percepatan bidang miring adalah :

$$a = g \sin \theta$$

$$a = (9,8 \text{ m/s}) \sin 0,0668$$

$$= 0,65464 \text{ m/s}^2$$

3. Tekanan air

Berdasarkan persamaan 1, tekanan air dapat dihitung sebagai berikut (ρ air = 1000 kg/m³)

:

- a. Untuk tekanan air setelah bencana

$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} \\ &= 49.05 \text{ Pa} \end{aligned}$$

- b. Untuk tekanan air sebelum bencana

$$\begin{aligned} P &= 1 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 183 \text{ m} \\ &= 1795.23 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4. Debit air

Berdasarkan persamaan 2, debit air dapat dihitung sebagai berikut :

- a. Untuk debit air setelah bencana

$$\begin{aligned} Q &= 7.0035 \text{ m/s} \times 310 \text{ m}^2 \\ &= 2171.085 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- b. Untuk debit air sebelum bencana

$$\begin{aligned} Q &= 42.3701 \text{ m/s} \times 310 \text{ m}^2 \\ &= 13134.731 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

5. Ketebalan lapisan

Sebelum menghitung ketebalan lapisan air yang sampai ke pemukiman, nilai dari Angka Reynold harus dicari terlebih dahulu berdasarkan persamaan 4 dan 5, sebagai berikut :

- a. Untuk ketebalan lapisan air setelah bencana

$$\begin{aligned} Re &= (1 \times 1750 \times 7.0035) / (1.0 \times 10^{-3}) = 662.493243 \times 10^6 \\ \delta &= (4.64 \times 7.0035) / \sqrt{662493243} = 1.262538 \text{ m} \end{aligned}$$

- b. Untuk ketebalan lapisan air sebelum bencana

$$\begin{aligned} Re &= (1 \times 1750 \times 42.3701) / (1.0 \times 10^{-3}) = 4007.982432 \times 10^6 \\ \delta &= (4.64 \times 42.3701) / \sqrt{4007982432} = 7.638134 \text{ m} \end{aligned}$$

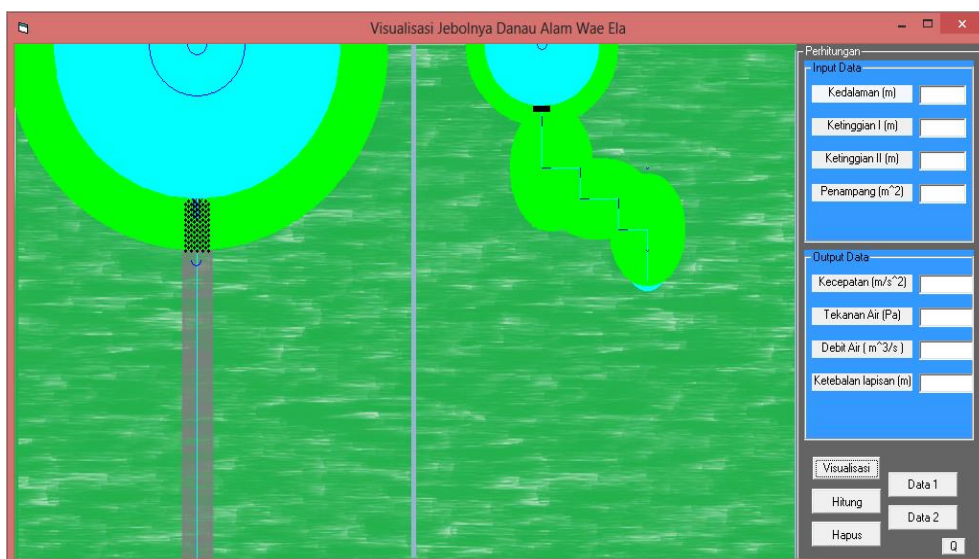
Hasil Visualisasi

Sebelum melakukan pembuatan visualisasi harus dibuat setting properti pada program terlebih dahulu untuk dapat menentukan setting program dan letak posisi-posisi dari animasi visualisasi dan perhitungan dari pengolahan data seperti pada tabel 4.

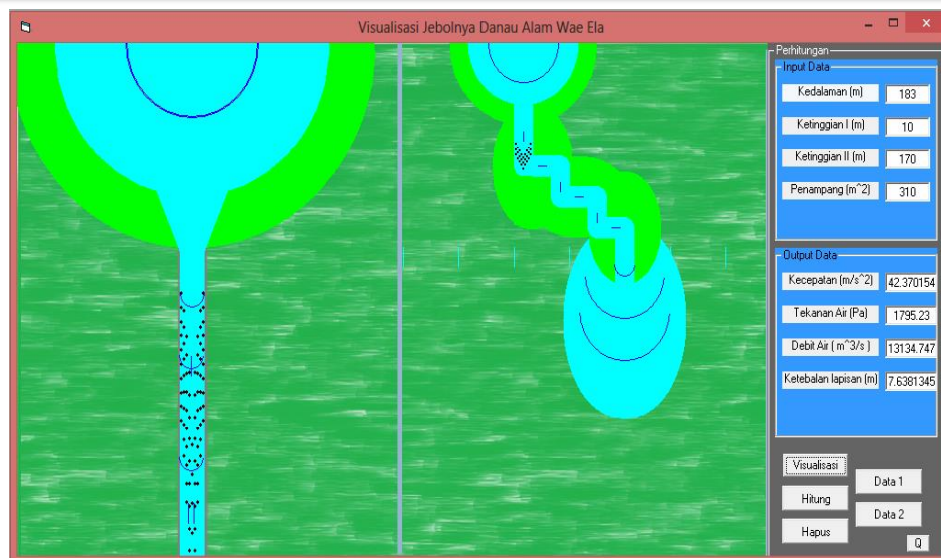
Tabel 4. Setting Properties Program Visualisasi

No	Kontrol	Properti	Seting	No	Kontrol	Properti	Seting
1	From1	AutoRedraw	TRUE	23	Comand2	Caption	Hitung
		ScaleMode	3-Pixel	24	Comand3	Caption	Hapus
		Caption	Visualisasi Jebol	25	Comand4	Caption	Data 1
2	Label1	Caption	Kedalaman (m)	26	Comand5	Caption	Data 2
3	Label2	Caption	Volume (m ³)	27	Comand6	Caption	Q
4	Label3	Caption	Ketinggian I (m)	28	Timer1	Interval	50
5	Label4	Caption	Ketinggian II (m)	29	Timer2	Interval	100
6	Label5	Caption	Penampang (m ²)	30	Timer3	Interval	150
7	Label6	Caption	Kecepatan (m/s ²)	31	Timer4	Interval	200
8	Label7	Caption	Jangkauan Max (m)	32	Timer5	Interval	250
9	Label8	Caption	Waktu (s)	33	Timer6	Interval	300
10	Label9	Caption	Tekanan Air (Pa)	34	Timer7	Interval	20
11	Label10	Caption	Debit Air (m ³ /s)	35	Timer8	Interval	400
12	Text1	Text	-	36	Timer9	Interval	100
13	Text2	Text	-	37	Timer10	Interval	100
14	Text3	Text	-	38	Timer11	Interval	400
15	Text4	Text	-	39	Timer12	Interval	100
16	Text5	Text	-	40	Timer13	Interval	500
17	Text6	Text	-	41	Timer14	Interval	500
18	Text7	Text	-	42	Timer15	Interval	800
19	Text8	Text	-	43	Timer16	Interval	100
20	Text9	Text	-	44	Frame1	Caption	Perhitungan
21	Text10	Text	-	45	Frame2	Caption	Input Data
22	Comand1	Caption	Visualisasi	46	Frame3	Caption	Output Data

Kemudian dari data hasil pengolahan data seperti kecepatan air, percepatan pada bidang miring, tekanan air, debit air dan jangkauan maksimal, maka dapat dibuat visualisasi jebolnya Dam alam Wae Ela, seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Visualisasi Sebelum Dieksekusi



Gambar 6. Hasil Visualisasi Setelah Dieksekusi

Dari hasil visualisasi diatas dapat dihitung selisih antara sebelum dan sesudah bencana seperti berikut:

1. Selisih kecepatan air

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= (\text{kecepatan air sebelum bencana}) - (\text{kecepatan air sesudah bencana}) \\ &= 42.3701 \text{ m/s} - 7.0035 \text{ m/s} \\ &= 35.3666 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. Selisih tekanan air

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= (\text{tekanan air sebelum bencana}) - (\text{tekanan air sesudah bencana}) \\ &= 1795.23 \text{ Pa} - 49.05 \text{ Pa} \\ &= 1746.18 \text{ Pa} \end{aligned}$$

3. Selisih debit air

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= (\text{debit air sebelum bencana}) - (\text{debit air sesudah bencana}) \\ &= 13134.731 \text{ m}^3/\text{s} - 2171.085 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 10963.646 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4. Selisih ketebalan lapisan air

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= (\text{ketebalan lapisan air sebelum bencana}) - (\text{ketebalan lapisan air sesudah} \\ &\quad \text{bencana}) \\ &= 7.638134 \text{ m} - 1.262538 \text{ m} \\ &= 6.375596 \text{ m} \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Kedalaman pada saat penelitian ± 5 meter, dengan besar selisih ketinggian permukaan antara Dam Wae Ela dengan pemukiman masyarakat sekitar 117 meter, dan besar luas penampang hilir sekitar 310 m^2 untuk data pembuatan visualisasi. Selisih kecepatan air sebelum dan sesudah bencana sebesar 35.36 m/s , selisih tekanan air sebelum dan sesudah bencana

sebesar 1746.18 Pa, selisih debit air sebelum dan sesudah bencana sebesar 10963.646 m³/s dan selisih ketebalan lapisan air sebelum dan sesudah bencana sebesar 6.37 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010. Negeri Lima., (cited 2013 January 09). Available at : <http://swatt-online.com/cuaca-ekstrem-ancam-waduk-wae-ela>
- Asdak, 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Halliday, D. dan Resnick, R., 1988. *Fisika Jilid I*, Edisi ke-empat. John Wiley and Sons, Inc.
- Hutagalung, R. 1999. *Oseanografi Pendahuluan dan Model Numerik*. Bandung : ITB-University Twenty.
- Sorsodarsono, S. dan Tominaga, M., 1984. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, terjemahan Ir. M. Yusuf Gayo, dkk. Jakarta : PT. Pradma Paramita.