

PEMODELAN NUMERIK PELIMPAH SAMPING WADUK TELAGAWAJA BALI KABUPATEN KARANGASEM DENGAN ANALISA KOMPUTASI FLUIDA DINAMIS

Anggara Cahyo Wibowo¹, Very Dermawan², Pitojo Tri Juwono²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

e-mail: anggaraamd@gmail.com

ABSTRAK Pembangunan bendungan Telagawaja merupakan suatu alternatif untuk mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan air, baik domestik maupun non domestik sebagai suatu upaya konservasi sumber daya air. Bendungan terdiri dari bangunan pelimpah, saluran peluncur dan kolam olak. Tujuannya adalah memberikan gambaran tentang pola hidrolika pada pelimpah samping (*side channel spillway*) yang terjadi pada *model test*. Dasar dari hasil kalibrasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah data hasil pengukuran *model test*. Hasil kalibrasi yang didapat untuk parameter kecepatan memenuhi kriteria yaitu kesalahan relatifnya dibawah 10%. Namun ada beberapa section yang tidak memenuhi standar KR, yaitu hasil parameter tekanan serta parameter tinggi muka air. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, hasil pemodelan hidraulika bisa menjadi lebih berkembang dalam penentuan sebuah alternatif desain spillway dan mempermudah dalam proses perencanaannya.

Kata Kunci: CFD, Skala Model, Model Fisik, Hidrolika, Pelimpah

ABSTRACT Construction of Telagawaja dams is an alternative to resolve the problem of fulfillment the water needs for both domestic and non-domestic in the area as the conservation of water resources. Dams consist of spillway, chute, and stilling basin. The aim of this study is to describe a detail of the hydraulics patterns of side channel spillway in model tests. Basic criteria of CFD (*Computational Fluid Dynamic*) calibrations is measurement data from model test. The calibration results for velocity parameter of relative error less than 10%. However, there are several sections that cannot be accepted by the standards relative error, such as the result of pressure parameters and the parameters of the water level. Expected the results of the hydraulics modeling could be more improved in the determination of an alternative spillway design and simplify the planning process.

Keywords: CFD, Scale Modelling, Physical Model, hydraulics, Spillway

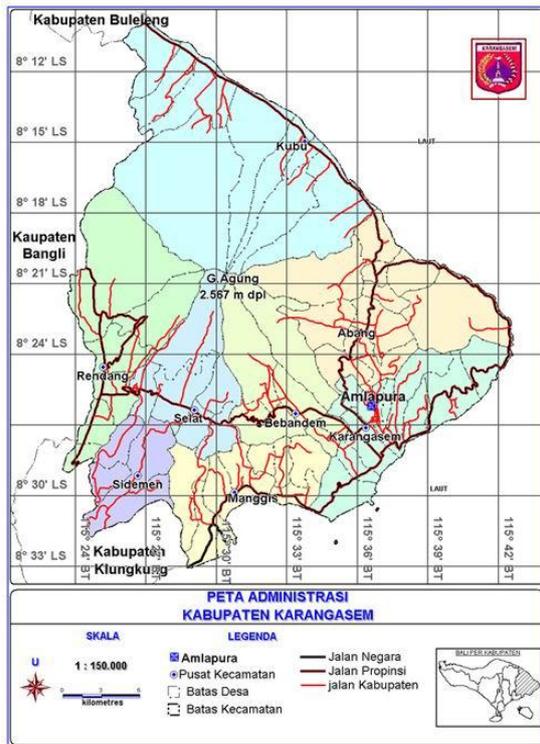
Dalam rangka pengembangan potensi sumber daya air, telah banyak bangunan -bangunan pengairan dibangun dengan baik dan berfungsi serta dapat mencapai sasaran sebagaimana yang direncanakan. Dengan tetap memperhatikan keterkaitan dan kesinambungan program pengembangan sumber daya air di wilayah Provinsi Bali serta upaya - upaya yang sudah pernah dilaksanakan, maka harus segera dilakukannya upaya - upaya untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan tenaga listrik, khususnya di wilayah Bali

Timur dan air baku Bali Selatan/Denpasar menjelang tahun 2025.

Pembangunan waduk merupakan suatu alternatif untuk mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan air, baik domestik maupun non domestik di daerah tersebut serta sebagai suatu upaya konservasi sumber daya air.

Salah satu pekerjaan dalam kegiatan tersebut adalah Uji model Hidraulika. Dengan adanya dukungan uji model fisik hidraulika serta dengan bantuan *software Ansys* ini diharapkan bisa memantapkan hasil perencanaan, sehingga keamanan bendungan

dapat dipenuhi. Dengan bantuan *software Ansys* ini bisa memunculkan hasil alternatif yang akurat.



Gambar 1. Peta administrasi Kabupaten Karangasem Provinsi Bali

Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu mempelajari perilaku hidrolika pada tipe pelimpah saluran samping (*side channel spillway*) yang meliputi pelimpah (*spillway*), saluran pelimpah samping (*side channel*), saluran transisi, saluran peluncur, dan peredam energi (*stilling basin*) yang terjadi di hilir *stilling basin* agar dapat didekati dengan model CFD (*Computational Fluid Dynamic*), sehingga dapat mendekati kondisi hasil uji model.

Pemasukan udara disaluran terbuka akan mempertinggi aliran dan harus diperhitungkan dalam perencanaan bangunan pelimpah (*spillway*) dan dinding samping saluran peluncur (*chute side walls*) (Falvey 1980 dalam Chanson, 1993)

Pemodelan ini memberikan gambaran tentang pola hidrolika dengan parameter kecepatan, tekanan dan tinggi muka air pada saluran pelimpah samping (*side channel spillway*), saluran transisi, saluran peluncur dan peredam energi. Dari gambaran tersebut, bisa didapatkan penyempurnaan hasil yang ingin dicapai yaitu keamanan dari segi

hidrolika terhadap konstruksi bendungan itu sendiri.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai adalah memberikan gambaran pola perilaku hidrolika yang terjadi dari model dengan hasil CFD (*Computational Fluid Dynamic*), sehingga dari gambaran tersebut bisa didapatkan penyempurnaan hasil yang ingin dicapai dari segi hidrolika terhadap konstruksi bendungan itu sendiri.

Maksud dari kajian ini adalah untuk mempelajari perilaku hidrolika pada sistem pelimpah tipe pelimpah saluran samping (*side channel spillway*) model uji fisik Waduk Telagawaja.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisa Hidraulika pada Pelimpah

Bangunan pelimpah samping (*side spillway*) adalah suatu bangunan pelimpah yang saluran peluncurnya berposisi menyamping terhadap saluran pengatur aliran di hulunya (Sosrodarsono, 1989).

Aliran yang melintasi bangunan pelimpah samping tersebut, seolah-olah terbagi menjadi dua tingkatan dengan dua buah peredam energi, yaitu yang pertama terletak pada bagian akhir saluran pengatur yang disebut saluran samping dan yang kedua adalah peredam energi di bagian akhir dari bangunan pelimpah tersebut.

Persyaratan yang perlu diperhatikan pada bangunan pelimpah tipe ini adalah agar debit banjir yang melintasinya, tidak menyebabkan aliran yang menenggelamkan bendung (*submerged flow*) pada saluran pengatur, maka saluran samping dibuat cukup rendah terhadap bendung tersebut.

Untuk dapat memenuhi persyaratan tersebut, maka bangunan pelimpah direncanakan sedemikian rupa, agar pada saat mengalirkan debit banjir abnormal, perbedaan elevasi permukaan air di hulu dan di hilir bendung pengatur tidak kurang dari 2/3 kali tinggi air di atas mercu bendung tersebut (Sosrodarsono, 1989).

Koefisien Debit Pelimpah

Rumus yang digunakan untuk menghitung debit di atas pelimpah adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1989)

$$Q = C.B.H^{3/2} \quad (1)$$

dengan :

Q = Debit yang melewati pelimpah (m³/dt)

C = Koefisien limpahan

B = Lebar efektif mercu pelimpah (m)

H = Total tinggi tekanan air di atas mercu pelimpah (termasuk tinggi tekanan kecepatan aliran pada saluran pengarah aliran) (m)

Besarnya koefisien debit limpahan (C) dari tipe standar suatu bendung dapat diperoleh dengan Rumus Iwasaki sebagai berikut (Sosrodarsono, 1989)

$$C_d = 2,200 - 0,0416(H_d / P)^{0,9900} \quad (2)$$

$$C = 1,60 \frac{1 + 2\alpha(h / H_d)}{1 + \alpha(h / H_d)} \quad (3)$$

dengan :

C = Koefisien debit limpahan

C_d = Koefisien debit limpahan pada saat
h = H_d

h = Tinggi air di atas mercu bendung (m)

H_d = Tinggi tekanan rencana di atas mercu bendung (m)

P = Tinggi bendung (m)

α = Konstanta

Lebar Efektif Pelimpah

Pada saat terjadi pelimpahan air melintasi mercu suatu pelimpah terjadi kontraksi aliran baik pada kedua dinding samping pelimpah maupun di sekitar pilar - pilar yang dibangun di atas mercu pelimpah tersebut, sehingga secara hidraulik lebar efektif suatu pelimpah akan lebih kecil dari lebar keseluruhan pelimpah yang sebenarnya. Dan debit air yang melintasi mercu pelimpah yang bersangkutan selalu didasarkan pada lebar efektifnya, yaitu dari hasil pengurangan lebar sesungguhnya dengan jumlah seluruh kontraksi yang timbul pada aliran air yang melintasi mercu pelimpah tersebut (Sosrodarsono 1989).

$$B = B' - 2(N.K_p + K_a).H \quad (4)$$

dengan :

B = Lebar efektif pelimpah (m)

B' = Lebar pelimpah sebenarnya (m)

N = Jumlah pilar - pilar di atas mercu

K_p = Koefisien kontraksi pilar

K_a = Koefisien kontraksi dinding samping

H = Tinggi tekanan total di atas mercu pelimpah (m)

Tinggi Muka Air di atas Pelimpah (Crest) dan Tubuh Pelimpah

Kecepatan aliran teoritis pada pelimpah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Chow, 1997):

$$V_1 = \sqrt{2g(Z + H_d - h_z)} \quad (5)$$

$$\frac{Q}{B} = V_z . h_z \quad (6)$$

$$F_z = \frac{V_z}{\sqrt{g . h_z}} \quad (7)$$

dengan :

Q = Debit aliran (m³/dt)

B = Lebar efektif pelimpah (m)

V_z = Kecepatan aliran (m/dt)

g = Percepatan gravitasi (m/dt²)

Z = Tinggi jatuh atau jarak vertikal dari permukaan hulu sampai lantai kaki hilir (m)

H_d = Tinggi tekan air hulu (m)

h_z = Kedalaman aliran di kaki pelimpah (m)

F_z = Bilangan Froude

Aliran Getar

Aliran getar merupakan fenomena hidrolika yang harus diperhatikan dalam bangunan saluran peluncur. Apabila hal ini timbul, akan mengakibatkan ketidak-rataan aliran sehingga gaya hidrodinamis yang ditimbulkan membahayakan stabilitas konstruksi. Selain itu akibat aliran yang tidak rata tersebut, kecepatan aliran di kaki saluran peluncur tidak merata sehingga mengurangi efektifitas peredaman.

Pada suatu saluran peluncur yang panjang terdapat bahaya Deganidak stabilan dalam aliran yang disebut sebagai aliran getar (*slug/pulsating flow*). Apabila panjang saluran tersebut lebih dari 30 meter, maka harus dikontrol dengan cara menghitung bilangan "Vendernikov (V)" dan bilangan "Montuori (M)" (Anonim, 1986).

Bilangan Vendernikov (V)

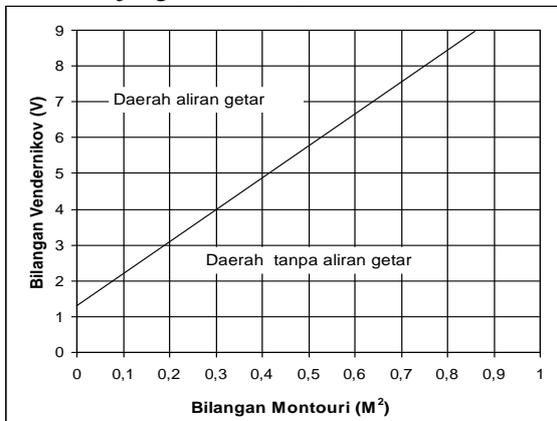
$$\underline{V} = \frac{2bv}{3P\sqrt{gh \cos \theta}} \quad (8)$$

Bilangan Montuori (M)

$$\underline{M}^2 = \frac{V^2}{gIL \cos \theta} \quad (9)$$

dengan :

- b = Lebar dasar saluran (m)
 v = Kecepatan aliran (m/dt)
 g = Percepatan gravitasi ($=9,81 \text{ m/dt}^2$)
 P = Keliling basah (m)
 h = Kedalaman hidraulik (m)
 I = Kemiringan rerata gradien energi
 (= $\tan \Theta$)
 Θ = Sudut gradien energy
 L = Panjang saluran (m)



Gambar 2. Kriteria aliran getar.

Sumber: Anonim, 1986.

Kavitasi

Kavitasi adalah suatu kejadian yang timbul dalam aliran dengan kecepatan begitu besar, sehingga tekanan air menjadi lebih kecil dari pada tekanan uap air maksimum di temperatur itu. Proses ini menimbulkan gelembung - gelembung uap air yang dapat menimbulkan erosi pada konstruksi. (Patty, 1995).

Kontrol Kavitasi

Satu cara untuk mencegah kavitasi adalah dengan menghilangkan sumber dari penurunan tekanan tersebut. Desain formasi dasar dapat pula digunakan untuk mengurangi penurunan tekanan yang terjadi. Mengurangi kecepatan aliran dengan nilai yang lebih rendah juga merupakan salah satu cara untuk mengurangi tingkat kavitasi. Ada beberapa cara untuk menghindari gejala kavitasi yaitu:

1. Daerah batas dimana gejala kavitasi muncul, didesain sedemikian sehingga pada daerah tersebut terjadi tekanan tinggi yang dapat mereduksi penurunan tekanan yang terjadi.
2. Penggunaan material dasar yang lebih tahan terhadap kavitasi seperti stainless steel, beton berlapis fiber yang dapat

mengurangi angka kavitasi meskipun gejala tersebut masih tetap ada.

3. Dengan menggunakan sistem pengudaraan kedalam aliran sehingga dapat mengurangi kemunculan letupan - letupan udara yang dapat menyebabkan kavitasi.

Untuk mengontrol dan mereduksi munculnya gejala kavitasi pada dinding dan dasar bangunan, penggunaan sistem pengudaraan lebih tepat digunakan karena dapat menghindari terjadi penurunan tekanan sampai pada tekanan uap yang dapat menyebabkan kavitasi.

Indeks Kavitasi

Suatu bentuk persamaan untuk memperkirakan kavitasi berupa para-meter tak berdimensi, merupakan hubungan antara gaya pelindung terhadap kavitasi (*ambient pressure*) dan penyebab kavitasi (*dynamic pressure*) disebut indeks kavitasi. Perhitungan kavitasi dengan persamaan berikut (Roberson, Cassidy, Chaudry, 1998):

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\rho \frac{V_o^2}{2}} \quad (10)$$

$$C_p = \frac{P_g - P_o}{\rho \frac{V_o^2}{2}} \quad (11)$$

Jika $P \approx P_v$, maka $\sigma_1 = -C_p$

dengan :

σ = Indeks kavitasi

P_o = Ambient pressure (kPa) \rightarrow

$$1 \text{ kPa} = 1000 \text{ N/m}^2 = \text{Pa} + P_g$$

P_a = Tekanan atmosfer ($=101 \text{ kPa}$)

P_g = Tekanan setempat (kPa)

$$= \rho \cdot g \cdot h$$

h = Tinggi muka air (m)

P_v = Tekanan uap (kPa)

ρ = Massa jenis cairan (kg/m^3)

V_o = Kecepatan aliran (m/dt)

C_p = Koefisien kavitasi

σ_1 = Angka batas kavitasi

Kriteria kavitasi:

- $\sigma > \sigma_1$: Tidak terjadi kavitasi
- $\sigma \leq \sigma_1$: Terjadi kavitasi

CFD (*Computational Fluids Dynamic*)

Penelitian hingga desain untuk berbagai fenomena menarik tersebut membutuhkan suatu cara yang mampu memprediksi hasil dari berbagai macam atau jenis karakteristik fluida yang diteliti atau disimulasi dengan akurat dan

cepat. Maka berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) (Tuakia, F. 2008).

Secara umum langkah kerja CFD terdiri dari tiga tahapan sebagai berikut:

a. Pre-Processor

Pada tahapan ini proses yang dilakukan adalah:

- Mendefinisikan geometri model untuk menjadi domain komputasi
- Pembuatan grid
- Mendefinisikan properties fluida

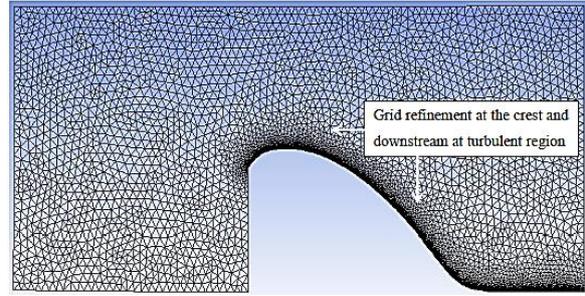
b. Solver

Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan salah satu metode numerik:

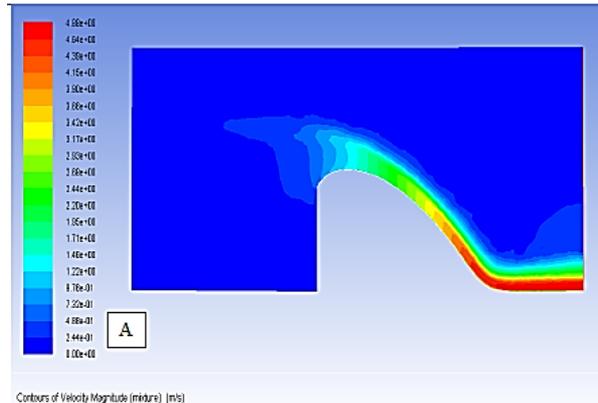
- Pendekatan variabel yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana
- Diskritisasi dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran
- Solusi dari persamaan aljabar

c. Post Processor

Pada tahapan ini hasil - hasil komputasi numerik divisualisasikan dan didokumentasikan untuk melakukan analisa dan lainnya.



Gambar 4. Meshing Boundary ANSYS
 Sumber : Kanyabujinja, Placide Nshuti, 2015

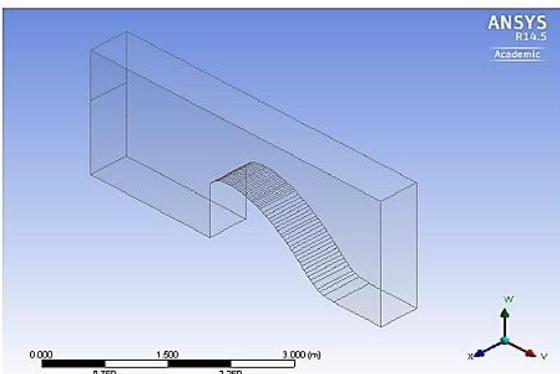


Gambar 5. Hasil Distribusi Kecepatan pada ANSYS
 Sumber : Kanyabujinja, Placide Nshuti, 2015

ANSYS (Analysis System)

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah numerik yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statistik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik.

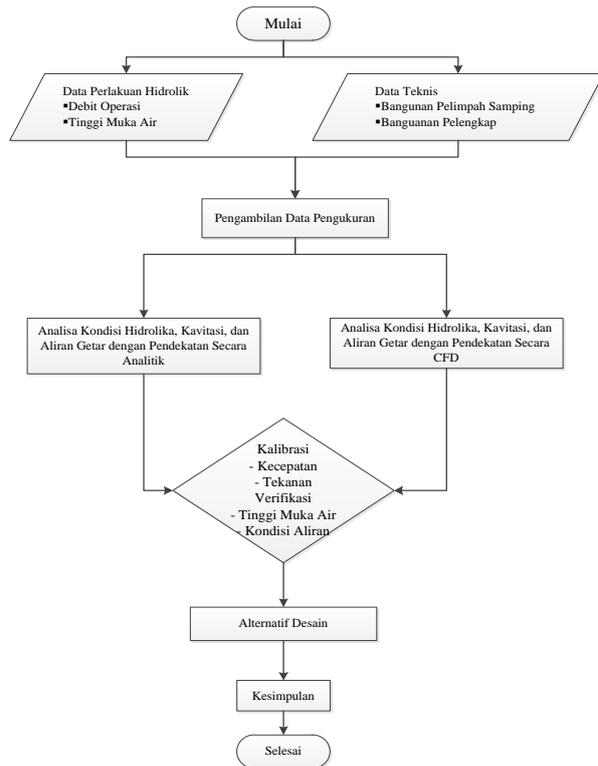
Berikut adalah tampilan dari ANSYS 15.0.7.



Gambar 3. Profil Geometri ANSYS Workbench

Sumber : Kanyabujinja, Placide Nshuti, 2015

METODE PENELITIAN



Gambar 6. Flowchart Analisa Perhitungan Pengambilan Data

Data yang diukur adalah data tinggi muka air, kecepatan aliran, dan tekanan. Muka air yang terjadi akibat adanya aliran dengan debit Q_2 , Q_{100} , dan Q_{1000} diukur dengan menggunakan meteran taraf (*point gauge*), sedangkan kecepatannya diukur dengan menggunakan tabung pitot, sedangkan tekanan diukur menggunakan *pizometer*.

HASIL PEMBAHASAN

Perhitungan Muka Air

Perhitungan tinggi muka air menggunakan alat ukur *point gauge* dengan ketelitian 0,1 mm yang dipasang pada alat ukur debit dan pada titik - titik pengukuran yang ditinjau.

Elevasi muka air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = EPG + \left[(b - IPG) \times \left(\frac{skala}{100} \right) \right] \tag{12}$$

dengan skala model 1:50, maka:

$$E = EPG + \left[(b - IPG) \times \left(\frac{50}{100} \right) \right] \tag{13}$$

dengan:

- E = elevasi muka air prototipe
- EPG = elevasi yang dipakai sebagai indeks alat ukur (m)
- IPG = bacaan *point gauge* pada elevasi indeks
- b = bacaan *point gauge* pada titik yang ditinjau

Perhitungan Kecepatan

Pengukuran distribusi kecepatan ini dengan menggunakan alat *pitot tube*. Untuk menghitung kecepatan di prototipe menggunakan persamaan:

$$V_m = C_p \cdot \sqrt{2gh} \tag{14}$$

$$V_p = V_m \cdot n_h \tag{15}$$

dengan:

- V_m = Kecepatan di model (m/dt)
- C_p = Koefisien pitot tube = 0,98
- h = Beda tinggi air pada pitot tube (m)
- V_p = Kecepatan di prototipe (m/dt)
- n_h = Skala model

Perhitungan Tinggi Tekan

Pengukuran tinggi tekan dengan menggunakan pizometer. Untuk menghitung tinggi tekan di prototipe menggunakan persamaan berikut:

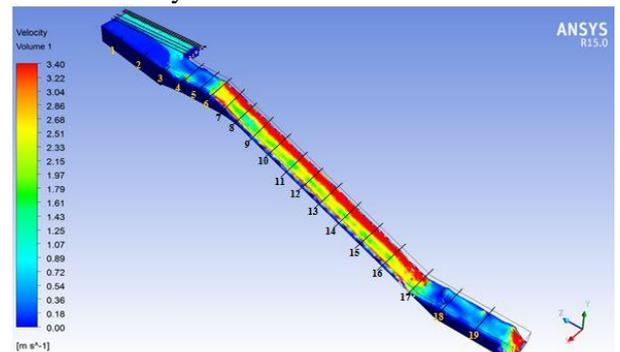
$$H_p = H_m \times n_h \tag{16}$$

dengan:

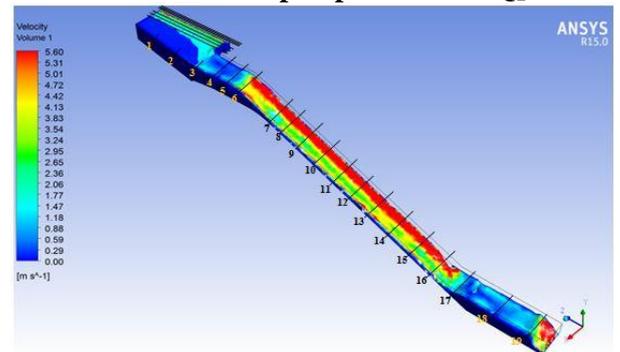
- H_p = Tinggi tekan di prototipe (m)
- H_m = Tinggi tekan di model (m)
- n_h = Skala model

Analisa ANSYS

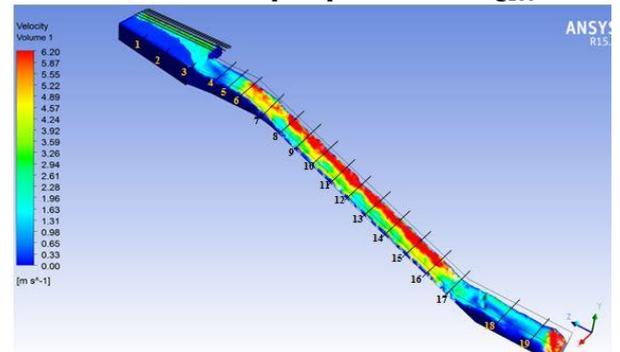
Analisa ANSYS digunakan sebagai kalibrasi antara hasil pengukuran model test dengan software ANSYS 15.0.7, berikut adalah hasil analisisnya :



Gambar 7. Kecepatan,tinggi Muka Air dan Tekanan di Pelimpah pada Aliran Q_2



Gambar 8. Kecepatan,tinggi Muka Air dan Tekanan di Pelimpah pada Aliran Q_{100}



Gambar 9. Kecepatan,tinggi Muka Air dan Tekanan di Pelimpah pada Aliran Q_{1000}

Berdasarkan hasil perbandingan antara model test dengan analisa ANSYS dapat diketahui hasil Kesalahan Relatifnya. Berikut ini adalah hasil rekapitulasinya :

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi perbandingan antara Model Test dengan Hasil ANSYS

Saluran	No sec	Debit Q ₂			Debit Q ₁₀₀			Debit Q ₁₀₀₀		
		Kecepatan ANSYS (m/dt)	Muka Air ANSYS (cm)	Tekanan ANSYS (Pa)	Kecepatan ANSYS (m/dt)	Muka Air ANSYS (cm)	Tekanan ANSYS (Pa)	Kecepatan ANSYS (m/dt)	Muka Air ANSYS (cm)	Tekanan ANSYS (Pa)
Pengaruh Hulu	III	0,17			0,23			0,4		
	II	0,17			0,23			0,4		
	I	0,23			0,3			0,4		
Pelimpah	0	0,55	210,53	0,8		185,5	0,9		103,5	
	1	0,9	184,21	1,1		175,5	1		112,4	
	2	1,25	206,54	1,4		180,2	1,1		148,37	
Sal. Samping	1	0,16	157,89	0,29		145,3	0,33		125,49	
	2	0,28	70,54	0,38		63,4	0,3		85	
	3	0,45	78,95	0,54		89,2	0,5		240,17	
Transisi	4	0,6	157,89	0,88		326,58	0,9		435,79	
	5	0,65	9,1	157,89	0,92	13,1	314,21	1	13	411,69
	6	0,7	9,6	112,15	0,96	12,5	261,84	1,2	11	363,16
Peluncur	7	0,98	6,5	112,15	1,32	12	209,47	1,58	10,6	290,53
	8	1,43	4	6,2	1,77	9,2	65,3	1,89	7,5	102,6
	9	2,1	2	33,8	2,35	5,2	52,37	2,5	4	82,99
	10	2,33	2,8	473	2,8	4	20	3,4	2,5	49
	11	2,5	2,6	473	3,1	2,5	78,37	3,8	3,1	105,87
	12	2,8	2,2	131,58	3,6	2,5	942,63	4	3	111,51
	13	3	2,6	52,63	4,1	2	104,74	5,5	3	132,02
	14	3,1	2,5	3,3	4,5	2,5	3,23	5,7	2,9	16,2
	15	3,2	3	13,1	4,8	2	62,2	5,8	3,2	102,6
	16	3,4	2,2	52,63	5,5	5	85,26	6	3	104,41
	17	0,28	20	131,58	5,6	3,1	3,1	6,2	2,2	15,34
Peredam energi	18	0,3	12	473,68	1,31	9	995	1,7	10	72,63
	19	0,28	11,5	500	1,35	11	995	1,8	9	15,34

Sumber : hasil perhitungan

Perhitungan Kavitas

Perhitungan kavitas pada pelimpah dan saluran peluncur untuk menentukan terjadinya kavitas. Kavitas mengakibatkan kerusakan terhadap lantai dasar saluran yang dikarenakan adanya penghisapan akibat kecepatan yang tinggi.

Tabel 2. Perhitungan Kavitas

Saluran	No sec	σ	Cp		Kondisi
			10	11	
Pengaruh Hulu	III	0,24342	0,16590		Tidak terjadi kavitas
	II	0,24342	0,16590		Tidak terjadi kavitas
	I	0,13598	0,09298		Tidak terjadi kavitas
Pelimpah	0	0,01585	0,01502		Tidak terjadi kavitas
	1	0,00801	0,00598		Tidak terjadi kavitas
	2	0,00306	0,00222		Tidak terjadi kavitas
Sal. Samping	1	0,23110	0,16590		Tidak terjadi kavitas
	2	0,06905	0,04696		Tidak terjadi kavitas
	3	0,02860	0,01817		Tidak terjadi kavitas
Saluran Transisi	4	0,01481	0,01033		Tidak terjadi kavitas
	5	0,01189	0,00857		Tidak terjadi kavitas
	6	0,01119	0,00803		Tidak terjadi kavitas
Saluran Peluncur	7	0,00570	0,00448		Tidak terjadi kavitas
	8	0,00233	0,00202		Tidak terjadi kavitas
	9	0,00108	0,00102		Tidak terjadi kavitas
	10	0,00077	0,00077		Tidak terjadi kavitas
	11	0,00068	0,00066		Tidak terjadi kavitas
	12	0,00053	0,00053		Tidak terjadi kavitas
	13	0,00049	0,00049		Tidak terjadi kavitas
	14	0,00045	0,00045		Tidak terjadi kavitas
	15	0,00048	0,00039		Tidak terjadi kavitas
	16	0,00045	0,00036		Tidak terjadi kavitas
	17	0,10414	0,06477		Tidak terjadi kavitas
Peredam Energi	18	0,08902	0,05198		Tidak terjadi kavitas
	19	0,11052	0,06477		Tidak terjadi kavitas
	20	0,06108	0,04649		Tidak terjadi kavitas
Keluar	21	0,00930	0,00807		Tidak terjadi kavitas

Sumber : hasil perhitungan

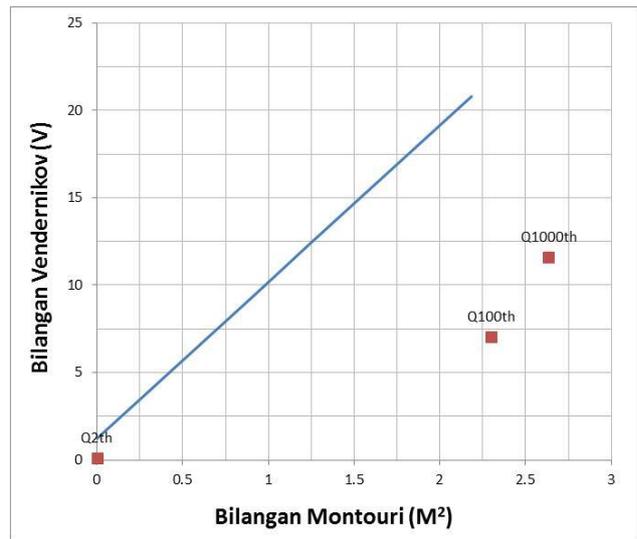
Perhitungan Aliran Getar

Perhitungan Aliran getar pada saluran peluncur dilakukan dengan menggunakan bilangan Moutori dan bilangan Vandernikov, dan dilakukan dikoreksi dengan menggunakan grafik untuk mengetahui kriteria aliran getar untuk menentukan batas terjadinya aliran getar.

Tabel 3. Perhitungan Aliran Getar

Kala Ulang	Debit (m ³ /dt)	b (m)	d (m)	V (m/dt)	P (m)	L (m)	θ	I	Bilangan		Keterangan
									V	M ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q _{2th}	155,62	20	6,550	1,768	33,100	185	22,62	0,417	0,092	0,004	Tidak terjadi aliran getar
Q _{100th}	471,20	20	1,267	40,120	22,533	185	22,62	0,417	7,010	2,306	Tidak terjadi aliran getar
Q _{1000th}	759,45	20	0,600	42,932	21,200	185	22,62	0,417	11,584	2,641	Tidak terjadi aliran getar

Sumber : hasil perhitungan

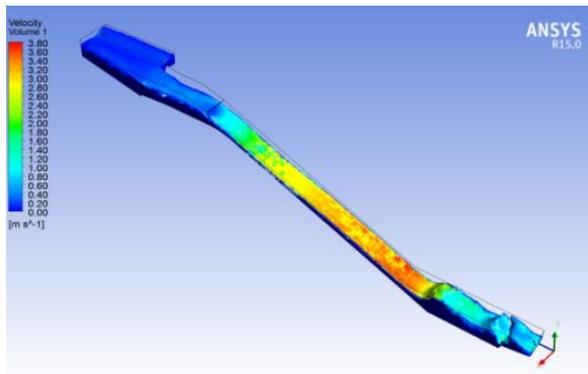


Gambar 10. Evaluasi aliran getar pada Q_{2th}, Q_{100th}, dan Q_{1000th}

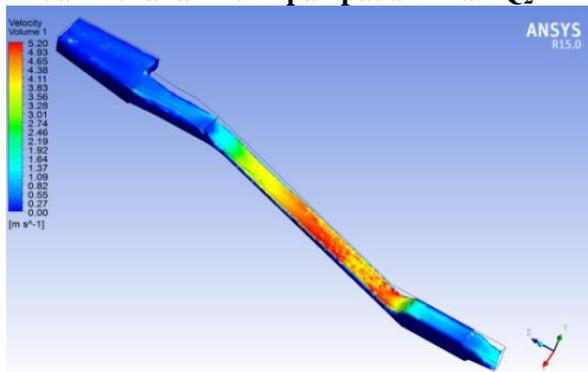
Alternatif Desain

Dari hasil analisa original desain maka bisa dibuat beberapa alternatif agar kondisi aliran di pelimpah berjalan dengan optimal. Berikut hasil alternatif yang didapat :

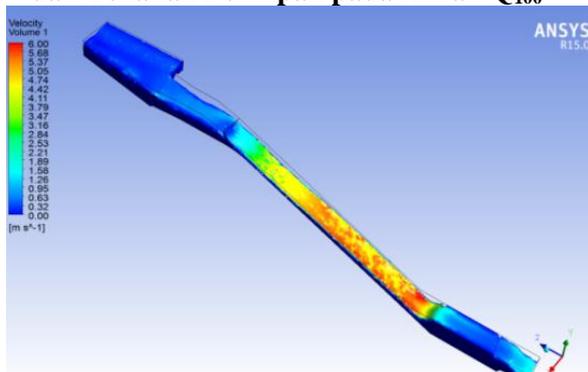
- Menurunkan elevasi dasar saluran *stilling basin* dari el + 333,00 menjadi + 331,00.
- Melebarkan ambang pelimpah yang semula 70 m menjadi 72 m.
- Menurunkan elevasi dasar saluran samping bagian hulu dari el + 411,20 menjadi + 409,27; bagian hilir dari el + 408,70 menjadi + 406,70.
- Menurunkan elevasi dasar saluran transisi bagian hulu dari el + 410,2 menjadi + 407,70; bagian hilir dari el + 410,07 menjadi + 407,57.
- Merubah sudut saluran transisi yang semula 7,13° menjadi 5,50°



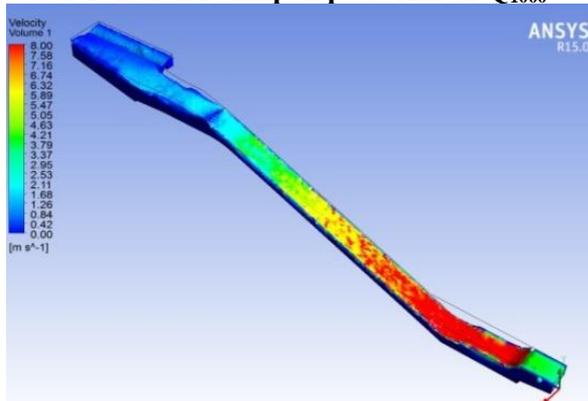
Gambar 11. Kecepatan, Tinggi Muka Air dan Tekanan Pelimpah pada Aliran Q_2



Gambar 12. Kecepatan, Tinggi Muka Air dan Tekanan Pelimpah pada Aliran Q_{100}



Gambar 13. Kecepatan, Tinggi Muka Air dan Tekanan Pelimpah pada Aliran Q_{1000}



Gambar 14. Kecepatan, Tinggi Muka Air dan Tekanan Pelimpah pada Aliran Q_{PMF}

Dari hasil alternatif desain menggunakan *software Ansys* didapatkan hasil yang lebih stabil pada pelimpah samping, terutama pada bagian saluran peluncur. Aliran pada saluran peluncur stabil dan rata.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisa perhitungan dan pengujian pada model tes Bendungan Telagawaja dengan skala 1:50 yang dilakukan sesuai dengan rumusan masalah pada kajian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil kondisi aliran pada original desain pelimpah samping masih dalam kondisi baik, tidak terjadi tekanan negatif. Pada saluran samping kondisi kondisi kurang baik karena terjadinya efek *backwater* di hilir saluran samping. Pada saluran transisi dalam keadaan baik, dimana bilangan *Froude* sama dengan 1. Pada saluran Peluncur untuk semua debit Q_2 , Q_{100} , dan Q_{1000} terjadi aliran yang tidak merata (lebih condong kebagian kiri saluran). Pada *Stilling Basin* kurang efektif dalam meredam kecepatan, karena olakan tidak terjadi dalam olakan, sehingga berpotensi terjadinya penggerusan dibagian hilir. Pada debit rancangan Q_2 , Q_{100} , dan Q_{1000} kavitasi dan aliran getar tidak terjadi. Aliran getar dari semua debit bila di plot terhadap grafik bilangan Moutori dan Vandernikov masih dalam kondisi aman, yaitu $Q_{2th} \frac{V}{M} = 0,092$, $Q_{100th} \frac{V}{M} = 7,010$, $Q_{1000th} \frac{V}{M} = 2,306$ dan $Q_{1000th} \frac{V}{M} = 11,584$, $M = 2,641$.
2. Dari hasil kalibrasi yang didapat ada beberapa section yang tidak memenuhi standar KR yang digunakan yaitu $\leq 10\%$, dari hasil tekanan pada debit Q_2 , Q_{100} di section 4, 7, 8, dan Q_{1000} , serta tinggi muka air pada untuk Q_2 section 10–18 untuk, untuk Q_{100} pada section 13–19 dan untuk Q_{1000} terjadi pada section 9-19
3. Hasil alternatif yang direkomendasikan agar kondisi pelimpah samping menjadi baik yaitu:
 - a. Menurunkan elevasi dasar saluran *stilling basin* dari el + 333,00 menjadi + 331,00.
 - b. Melebarkan ambang pelimpah yang semula 70 m menjadi 72 m.

- c. Menurunkan elevasi dasar saluran samping bagian hulu dari el + 411,20 menjadi + 409,27; bagian hilir dari el + 408,70 menjadi + 406,70.
- d. Menurunkan elevasi dasar saluran transisi bagian hulu dari el + 410,2 menjadi + 407,70; bagian hilir dari el + 410,07 menjadi + 407,57.
- e. Merubah sudut saluran transisi yang semula $7,13^\circ$ menjadi $5,50^\circ$

Saran

Berdasarkan analisa perhitungan dan pengujian pada model test Bendungan Telagawaja dengan skala 1:50 pada kajian ini, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Data Pengukuran kecepatan, muka air, dan tekanan pada saluran pelimpah harus akurat agar dalam proses kalibrasi dengan *software ANSYS* bisa berjalan dengan baik.
2. Dalam penggunaan *software ANSYS* perlu ketelitian pada saat pembuatan *geometry* bangunan serta *meshing boundary* harus presisi. Apabila hal tersebut tidak terpenuhi maka proses analisa menjadi tidak akurat.
3. Pengukuran tekanan aliran menggunakan pizometer buatan perlu memperhatikan kebersihan air dan selang pizometer yang

digunakan. Hal ini disebabkan dengan sedikit gangguan kotoran akan mengakibatkan hasil pengukuran yang tidak akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te. 1992. *Hidraulika Saluran Terbuka, terjemahan E.V. Nensi Rosalina. Jakarta: Erlangga.*
- Kanyabujinja, Placide Nshuti *CFD Modelling of Ogee Spillway Hydraulics and Comparison with Physical Model Tests.* March 2015 Thesis presented in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Engineering in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University
- Roberson, John A., Cassidy, John J., Chaudhry, M. Hanif *Hydraulic Engineering 2nd (second) edition published by Wiley (1998)*
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 2002. *Bendungan Type Urugan*, Jakarta: Erlangga.
- Patty, O.F. 1995. *Tenaga Air.* Erlangga : Surabaya
- Tuakia, F. "Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent", Informatika, Bandung, 2008.