



The Effect of Meshing on the Performance of
the Dynamic Fluid Computational Model
Results of the Tiu Suntuk Dam Spillway

Agus Kaspun Nuri, Junaidi Idi, Yusron Saadi and I Wayan Yasa

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

July 8, 2024

Pengaruh *Meshing* Terhadap Kinerja Hasil Model Komputasi Fluida Dinamis Pelimpah Bendungan Tiu Suntuk

Agus Kaspun Nuri¹, Junaidi¹, Yusron Sa'adi², dan I wayan Yasa²

¹Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit No.62, Gomong, Selaparang, Mataram City, West Nusa Tenggara 83126

²Dosen Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit No.62, Gomong, Selaparang, Mataram City, West Nusa Tenggara 83126
Email : aguskaspun@gmail.com,

Abstrak

Pelimpah Bendungan Tiu Suntuk didesain dengan tipe side spillway dengan tipe olakan sky jump. Untuk mendapatkan konstruksi spillway yang tepat dan layak sesuai dengan teknis terutama terhadap aspek hidrolika yang telah dianalisis perlu dilakukan simulasi perilaku hidrolika. Simulasi numerik hidraulika pelimpah bendungan menggunakan perangkat lunak ANSYS CFD Fluent. Simulasi numerik ini diharapkan mampu menyederhanakan model hidraulika yang ada. Dasar kalibrasi hasil simulasi numerik ini berdasarkan hasil uji model test yang telah dilaksanakan dimana simulasi numerik ini dipengaruhi oleh jenis mesh dan kualitas meshing pada perangkat lunak komputer. Dari simulasi tersebut diperoleh berupa data kecepatan aliran, ketinggian muka air dan koefisien pressure yang memiliki tingkat persentase error < 10%. Semakin bagus kualitas mesh menghasilkan tingkat presentase error yang sedikit namun akan berpengaruh terhadap lama atau tidaknya proses running simulasi.

Kata Kunci : *Pelimpah samping, Simulasi Numerik, ANSYS CFD*

1. Pendahuluan

Bendungan Tiu Suntuk terletak di Desa Mujahidin, Kecamatan Brang Ene, Kabupaten Sumbawa Barat. Bendungan ini didesain dengan tipe urugan batu inti tegak, tinggi 58 m, panjang 380 m dengan kapasitas tampungan 59.06 juta m³. Manfaat bendungan yaitu mengairi areal irigasi 1,900 ha, pemenuhan kebutuhan air baku 68 lt/dt, PLTMH kapasitas 0.81 MW serta sebagai sarana konservasi, pariwisata dan perikanan darat. Bangunan pelimpah didesain tipe pelimpah samping dengan lebar ambang bebas 40.00 m dan pelimpah berpintu 2x10 m. Didesain dengan kapasitas Q_{1000th} sebesar 953.21 m³/dt, tipe kolam olak *sky jump* dengan panjang total pelimpah 430.00 m [1].

Sebagai salah satu usaha untuk mendapatkan konstruksi bangunan *spillway* yang layak secara teknis, terutama pada aspek hidrolik yang telah direncanakan secara analitik perlu dilakukan Uji Model Test Hidrolika di Laboratorium. Dengan dilakukannya Uji Model Test tersebut diharapkan dapat diperoleh desain *spillway* yang secara hidrolika memberikan kinerja hidrolika yang terbaik dari aspek teknis [2].

Selain Uji Model Hidrolika dapat juga dilakukan analisis menggunakan aplikasi berbasis elemen hingga dan menggunakan persamaan fluida yang disebut CFD (*Computational Fluid Dynamic*). CFD ini memprediksi perilaku dinamik fluida dengan menggunakan perangkat komputer. Metode CFD mampu menangani berbagai macam kasus aliran fluida, mulai dari aliran *incompressible*, aliran *compressible*, hingga aliran-aliran yang cukup kompleks [3].

Salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil simulasi CFD adalah *meshing* atau *gridding*. Proses ini secara umum menghabiskan waktu 70-80% dari keseluruhan proses pembuatan model CFD. *Meshing* adalah proses diskritisasi domain fluida yang kontinyu menjadi domain komputasi yang diskrit sehingga dapat diselesaikan persamaan-persamaan (dalam kasus ini aliran fluida) di dalamnya dan menghasilkan solusi. Kualitas mesh sangatlah penting untuk menjamin hasil simulasi yang kita buat sesuai dengan yang

diharapkan, visualisasi bagus, atau bahkan pada kondisi tertentu *mesh* yang berkualitas rendah dapat membuat simulasi menjadi divergen [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai ukuran *meshing* atau *gridding* yang digunakan dalam model CFD untuk menghasilkan model yang mendekati dari hasil Uji Model Hidrolika yang telah dilakukan di laboratorium terhadap model pelimpah pada Bendungan Tiu Suntut.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Analisa Hidrolika pada Spillway

Bangunan pelimpah samping (*side spillway*) adalah suatu bangunan pelimpah yang saluran peluncurnya berposisi menyamping terhadap saluran pengatur aliran di hulunya [4].

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.

Rumus yang digunakan untuk menghitung debit di atas pelimpah sebagai berikut [4]:

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

dengan :

Q = debit yang lewat pelimpah (m³/dt),

C = koefisien limpahan,

L = lebar efektif ambang pelimpah (m),

H = tinggi air diatas ambang pelimpah (m)

Perhitungan lebar efektif pelimpah dihitung berdasarkan persamaan [4]:

$$L = L' - 2 [n \cdot K_p + K_a] \cdot H \quad (2)$$

dengan :

L =lebar efektif pelimpah (m),

L' =lebar pelimpah yang sesungguhnya (m),

n =jumlah pilar-pilar di atas mercu pelimpah,

K_p =koefisien kontraksi pada pilar,

K_a =koefisien kontraksi pada dinding samping,

H =tinggi air diatas mercu pelimpah (m)

Kecepatan aliran pada pelimpah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$v_1 = \sqrt{2g \left(\frac{1}{2} H_1 + Z \right)} \quad (3)$$

$$q = \frac{Q}{B_{eff}} \quad (4)$$

$$y_1 = \frac{q}{v_1} \quad (5)$$

$$F_r = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}} \quad (6)$$

dengan:

v₁ = kecepatan awal lompatan (m/dt)

g = percepatan gravitasi (9,81 m²/dt)

H₁ = tinggi energi di atas mercu (m)

Z = tinggi jatuh (m)

q = debit per satu meter lebar efektif (m³/dt/m)

Q = debit pengaliran (m^3/dt)
 B_{eff} = lebar efektif mercu pelimpah (m)
 y_1 = kedalaman air di awal loncatan air (m)
 Fr = bilangan *froude*
 y_2 = kedalaman air di akhir loncatan air (m)

2.2 Model Test Hidrolika

Model test Hidrolika dikembangkan berdasarkan pada kesetaraan (kesebangunan) antara dua fenomena yang berbeda ukurannya. Pembuatan skala model merupakan pekerjaan teknik dimana kompromi dibuat dengan hukum kesetaraan untuk menyusun cara praktis dalam menyelesaikan permasalahan teknik yang sangat kompleks untuk dianalisis secara teoritis [5].

Keuntungan utama yang diperoleh dengan pembuatan skala model antara lain adalah [5]:

- Kondisi batas yang kompleks tidak dapat dianalisis dengan metode analitik secara sempurna, walaupun telah muncul komputer dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi, yang mampu memperluas pemakaian metode analitik, pemodelan fisik (*model test*) tetap diperlukan. Karena kondisi batas yang kompleks akan lebih baik dianalisis dengan skala model.
- Pengaruh non linier belum dapat diselesaikan secara sempurna dengan metode matematik. Sedangkan model test membuka kemungkinan untuk mereproduksi pengaruh dan gaya linier maupun non linier dengan baik.
- Turbulensi dapat direproduksi dengan model secara baik.
- Hasil pengamatan dalam model dapat ditransfer kedalam kondisi yang ada pada prototipe

Dalam merencanakan skala model ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi, yaitu antara lain [5]:

- Skala model harus disimulasi secara akurat untuk dapat mereproduksi dengan tepat fenomena aliran yang distudi.
- Skala model harus konsisten dan dapat memberikan hasil yang sama untuk kondisi yang sama
- Skala model harus sensitif, yang maksudnya adalah bahwa sensitivitas skala model harus disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan dalam mereproduksi proses aliran yang diamati.
- Skala model harus ekonomis, mengandung pengertian bahwa model yang terbaik bukanlah model yang terbesar, tetapi skala model yang juga memperhitungkan pertimbangan ekonomi.

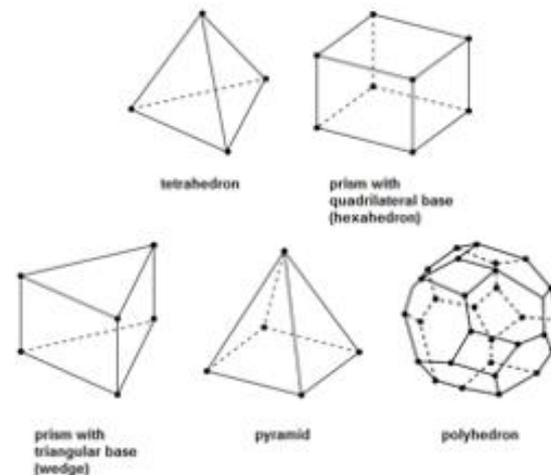
2.3 CFD (*Computational Fluids Dynamic*)

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) [3].

Salah satu tahapan awal dalam proses CFD adalah pembuatan *mesh* atau *grid*. *Meshing* atau diskritisasi adalah proses membagi domain fluida yang kontinyu menjadi domain komputasi yang diskrit, sehingga persamaan-persamaan mekanika fluida yang pada umumnya dalam bentuk persamaan diferensial parsial non-linear dapat diselesaikan secara numerik [3].

Secara umum, semakin kecil ukuran *mesh* akan menghasilkan hasil komputasi yang lebih detail dan akurat, namun akan menambah jumlah elemennya, sehingga akan membutuhkan effort komputasi yang lebih tinggi. Beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan saat akan membuat *mesh* antara lain : resolusi atau ketelitian dari *mesh*, jenis mesh yang akan digunakan, dan *hardware* komputer yang kita gunakan.

Bentuk dari control volume tergantung kapabilitas dari *solver* yang kita gunakan, *structured-grid code* menggunakan *quadrilateral* pada aliran 2D, dan *hexahedron* pada aliran 3D. Sedangkan *unstructured-grid* menggunakan segitiga pada aliran 2D dan *tetrahedron* pada aliran 3D [6].



Gambar 1. Jenis-jenis bentuk mesh
(sumber: ANSYS workbench help [1])

Salah satu perangkat lunak yang bisa digunakan untuk pemodelan numerik yaitu ANSYS. ANSYS adalah perangkat lunak komputasi fluida dinamis umum menggunakan teknik numerik yang dikembangkan secara khusus untuk menyelesaikan persamaan gerak fluida agar diperoleh solusinya dalam tiga dimensi. Gerakan fluida dijelaskan dengan persamaan non-linier, dinamis, diferensial orde kedua. Solusi numerik dari persamaan ini melibatkan pendekatan dari berbagai bentuk ekspresi aljabar. Persamaan yang dihasilkan kemudian diselesaikan dengan proses simulasi untuk menghasilkan solusi pendekatan terhadap masalah asli. Solusi persamaan turbulen yang dapat diaplikasikan dalam perangkat lunak ANSYS adalah persamaan $k-\epsilon$, $k-\omega$, RNG (*Re-Normalization Group*) dan *Large Eddy Simulation* [7].

3. Metode Penelitian

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 geometri model untuk menjadi domain komputasi menggunakan perangkat lunak yang dinamakan ANSYS.
- Pembuatan grid atau *mesh*

Semua persamaan yang digunakan untuk memodelkan daerah geometris kompleks diformulasikan dengan fungsi luas dan fungsi porositas volume yang disebut *Fractional Area Volume Obstacle Representation (FAVORTM)* dan secara umum fungsi *FAVORTM* adalah didasarkan waktu independent. Salah satu keunggulan dari aplikasi ANSYS dibandingkan dengan aplikasi CFD lainnya adalah kemampuannya untuk mendefinisikan dan membentuk *mesh* secara baik dari bentuk geometri

model dengan penerapan *FAVOR™* (Abrari, 2015). Pembuatan *mesh* dengan ukuran *cell* (0,25x0,25x0,25) m memanfaatkan fasilitas *FAVOR* dari perangkat lunak *ANSYS* memberikan detail model numerik yang bisa merepresentasikan bangunan peredam energi secara baik karena tidak ada celah kosong dari geometri yang dibuat [3].

- Mendefinisikan properties fluida dan material kondisi batas lainnya
Nilai kekasaran permukaan ekuivalen yang diseragamkan biasanya direpresentasikan dengan nilai koefisien Manning. *Software ANSYS* memakai nilai tipe kekasaran Nikuradse yang berdimensi panjang, sehingga perlu dikonversikan menggunakan persamaan berikut [8]:

$$ks = \left(n \frac{m^{1/6}}{0.0389}\right)^6$$

Dengan:

n = nilai koefisien Manning

m = bernilai 1 jika satuan meter

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

Pada tahapan ini persamaan-persamaan yang akan digunakan pada simulasi CFD diselesaikan secara iterasi hingga tercapai kondisi konvergen. Tingkat keakuratan *solver* ditentukan antara lain oleh keakuratan kondisi batas atau asumsi yang dipakai, meshing dan kesalahan numerik (baik karena keterbatasan perangkat lunak maupun karena kekeliruan pengguna perangkat lunak).

c. Post Processor

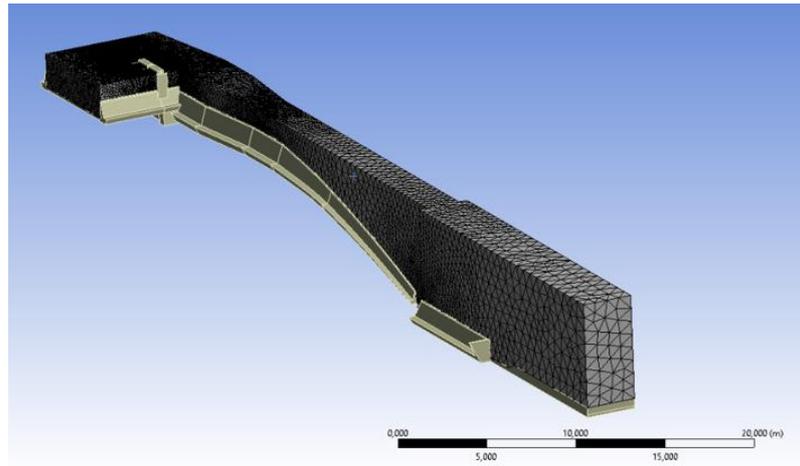
Pada langkah ini hasil-hasil komputasi numerik dibuat visualisasi dan didokumentasi. Bila perlu dilakukan pengujian lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat sehingga menjawab pertanyaan tentang kesesuaian geometri model, pemenuhan kondisi batas dan kecukupan ukuran mesh.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada analisa CFD ini dianalisa dengan debit kala ulang Q1000 sebesar 367.38 m³/dt dan menggunakan pendekatan jenis *meshing tetrahedron* yang dihasilkan langsung dari program CFD *Fluent* manual. *Meshing* yang digunakan dapat menganalisis pola aliran 3D untuk geometri yang kompleks. Skala yang digunakan pada simulasi ini yaitu 1:2.5 untuk memudahkan membentuk geometri. Adapun jumlah *cells*, *face* dan *nodes* yang dihasilkan pada masing – masing *mesh* dapat dilihat pada tabel berikut.

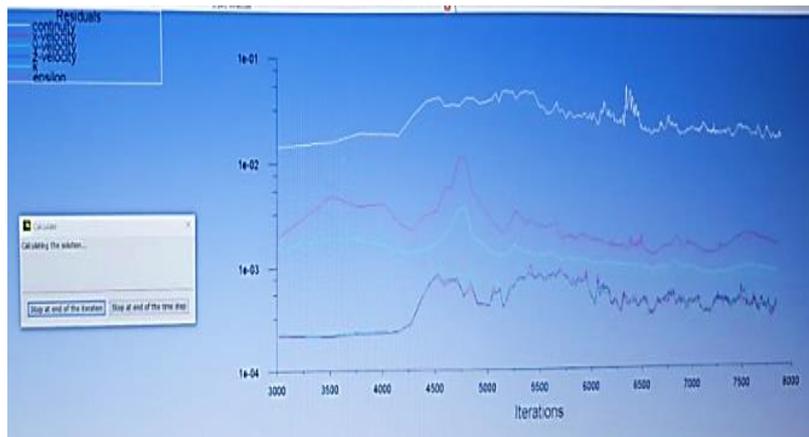
Tabel 1. Jumlah *Cells*, *Faces* dan *Nodes*

No.	Bagian	Jumlah
Mesh 1	Cells	3,991,623
	Faces	7,983,247
	Nodes	997,906
Mesh 2	Cells	6,414,685
	Faces	12,829,370
	Nodes	1,603,671



Gambar 2. Meshing Geometri Pelimpah
 Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan tabel diatas, *mesh 1* menghasilkan jumlah 37000 iterasi sehingga waktu yang diperlukan untuk running simulasi lebih cepat, sedangkan pada *mesh 2* jumlah 60000 iterasi sehingga waktu untuk komputasi lebih lama. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah *cells*, *nodes* dan *face* pada *mesh 1* lebih sedikit dibandingkan dengan pada *mesh 2*. Pada analisis CFD, tingkat keakurasian hasil simulasi ditentukan pada ukuran *mesh* dan ukuran geometri.



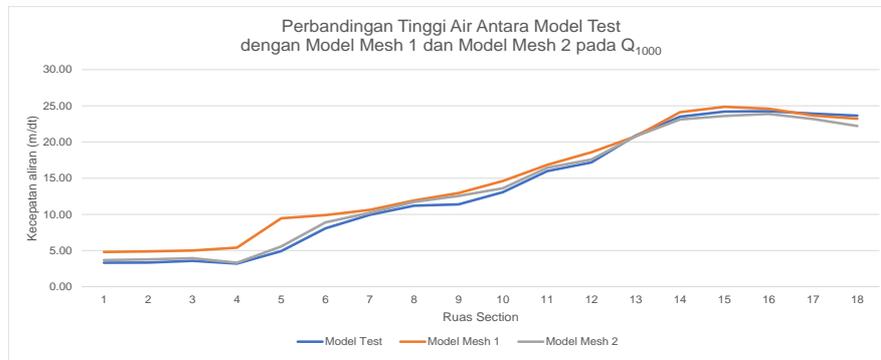
Gambar 3. Grafik konvergen dan iterasi
 Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik tersebut menjelaskan bahwa tingkat konvergen antara kecepatan aliran baik arah melintang dan memanjangnya diwakili oleh kurva merah dan biru (*x* dan *y velocity*), sedangkan untuk tinggi muka air ditandai dengan kurva warna biru (*z velocity*) sedangkan tekanan yang diberikan akibat turbulensi atau disebut (*k-epsilon*) ditandai dengan kurva warna putih. Semakin rapat atau rendah kurva tersebut akan semakin dekat hasil atau lama waktu yang dihabiskan untuk komputasi. Adapun hasil dari masing masing *mesh* menunjukkan nilai kecepatan, tinggi muka air, dan koefisien *pressure* (*Cp*) dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini.

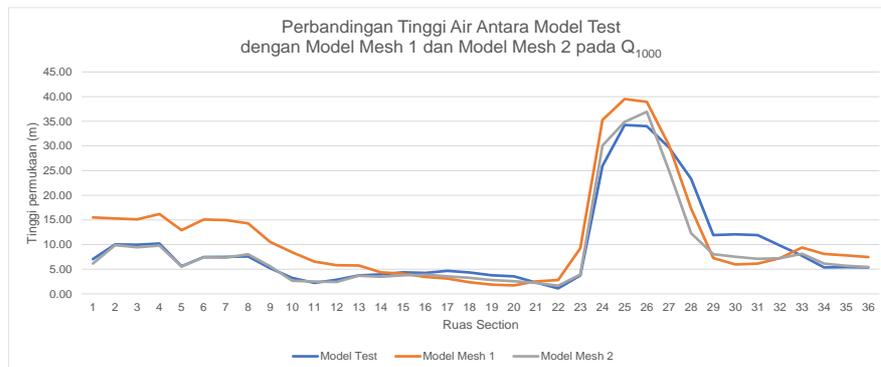
Tabel 2. Perbandingan Nilai Kecepatan, Tinggi Muka Air dan Tekanan

Ruas	Section	Q1000														
		Kecepatan					Tinggi Muka Air					Tekanan				
		Model Test	Model Numerik (Skala Mesh 1)	Model Numerik (Skala Mesh 2)	Model Test	Model Numerik (Skala Mesh 1)	Model Numerik (Skala Mesh 2)	Model Test	Model Numerik (Skala Mesh 1)	Model Numerik (Skala Mesh 2)	Model Test	Model Numerik (Skala Mesh 1)	Model Numerik (Skala Mesh 2)			
Saluran Samping	1	3.57					7.04	15.52	220%	6.15	87%	7.20	4.43	62%	6.62	92%
	2	2.12					10.02	15.31	153%	9.89	99%	7.20	4.48	62%	6.69	93%
	3	2.03					9.97	15.13	152%	9.47	95%	7.20	4.52	63%	6.74	94%
	4	2.17					10.21	16.19	159%	9.79	96%	7.40	4.41	60%	6.59	89%
	5	3.32	4.81	145%	3.67	111%	5.62	12.93	230%	5.54	99%	7.44	5.57	75%	8.31	112%
Saluran Transisi	6	3.33	4.88	147%	3.78	114%	7.47	15.09	202%	7.41	99%	7.44	5.12	69%	7.64	103%
	7	3.58	5.01	140%	3.93	110%	7.50	14.98	200%	7.34	98%	3.00	2.76	92%	3.09	103%
	8	3.19	5.41	170%	3.31	104%	7.59	14.32	189%	8.05	106%	2.00	2.57	128%	2.31	116%
	9	4.93	9.45	192%	5.55	113%	5.20	10.54	203%	5.61	108%	1.64	2.41	147%	2.17	132%
Saluran Peluncur	10	8.08	9.89	122%	8.89	110%	3.24	8.44	260%	2.65	82%	1.60	2.24	140%	2.02	126%
	11	9.94	10.61	107%	10.21	103%	2.24	6.54	292%	2.51	112%	1.60	2.17	136%	1.95	122%
	12	11.20	11.92	106%	11.72	105%	2.87	5.83	203%	2.42	84%	1.60	2.24	140%	2.02	126%
	13	11.39	12.96	114%	12.55	110%	3.73	5.76	154%	3.68	99%	1.44	2.28	158%	2.05	142%
	14	13.07	14.61	112%	13.61	104%	3.96	4.37	110%	3.46	87%	1.52	2.84	187%	2.56	168%
	15	15.98	16.84	105%	16.44	103%	4.36	4.11	94%	3.77	86%	1.80	3.33	185%	2.99	166%
	16	17.17	18.58	108%	17.58	102%	4.26	3.43	80%	3.89	91%	1.72	2.96	172%	2.67	155%
	17	20.90	20.79	99%	20.79	99%	4.68	3.10	66%	3.57	76%	1.28	2.59	202%	2.07	162%
	18	23.49	24.12	103%	23.12	98%	4.33	2.36	54%	3.27	76%	1.52	2.79	184%	2.51	165%
	19	24.20	24.87	103%	23.59	97%	3.76	1.88	50%	2.81	75%	0.28	1.31	468%	0.53	189%
	20	24.26	24.60	101%	23.87	98%	3.56	1.73	49%	2.58	72%	0.88	1.55	176%	1.40	159%
	21	23.93	23.67	99%	23.17	97%	2.31	2.53	110%	2.25	97%	0.76	1.34	177%	1.21	159%
	22	23.64	23.21	98%	22.21	94%	1.12	2.80	250%	1.65	147%	0.20	2.31	1155%	0.54	270%
	Peredam Energi	23						3.74	9.26	248%	3.92	105%	0.88	1.93	219%	1.74
24							25.95	35.28	136%	30.07	116%	0.24	1.44	600%	0.72	300%
25							34.27	39.51	115%	34.88	102%	1.60	6.10	381%	1.79	112%
26							34.03	38.94	114%	36.94	109%	1.24	6.67	538%	1.39	112%
27							29.71	30.17	102%	25.03	84%	6.96	8.81	127%	8.77	126%
28							23.33	17.29	74%	12.29	53%	6.44	8.77	136%	8.73	136%
29							11.92	7.27	61%	8.03	67%					
30							12.08	5.96	49%	7.54	62%					
31		1.23					11.93	6.14	51%	7.11	60%					
32		2.23					9.81	7.23	74%	7.23	74%					
33		2.40					7.73	9.41	122%	8.14	105%					
34		2.96					5.36	8.12	151%	6.14	115%					
Sungai	35	2.75					5.43	7.81	144%	5.69	105%					
	36	2.88					5.37	7.48	139%	5.47	102%					

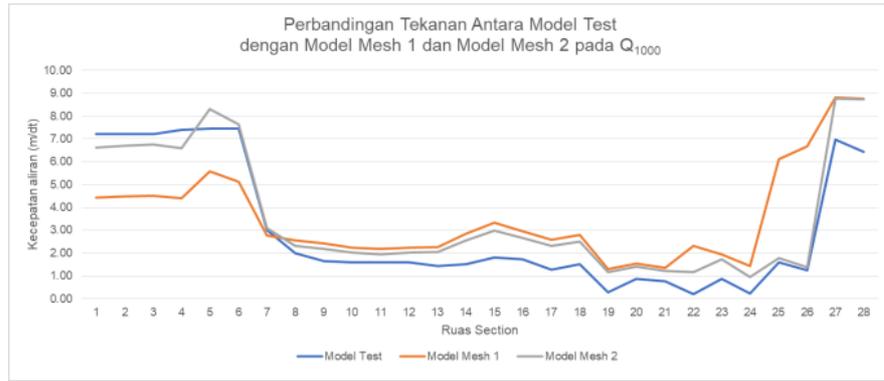
Sumber : Hasil Perhitungan



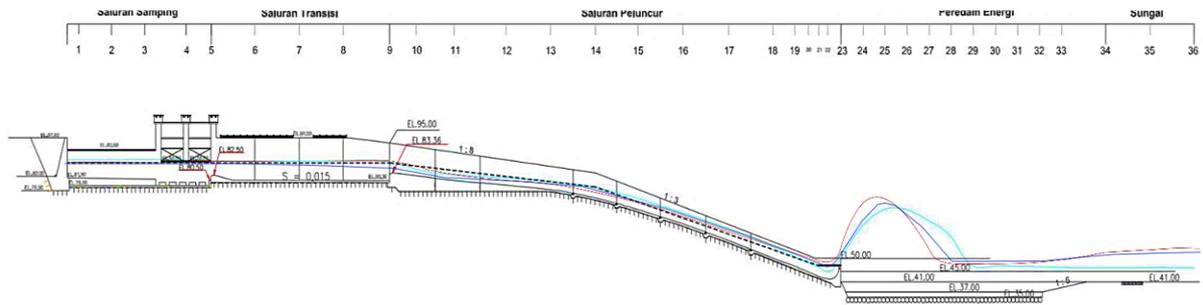
Gambar 5. Grafik Perbandingan Kecepatan
Sumber : Hasil Perhitungan



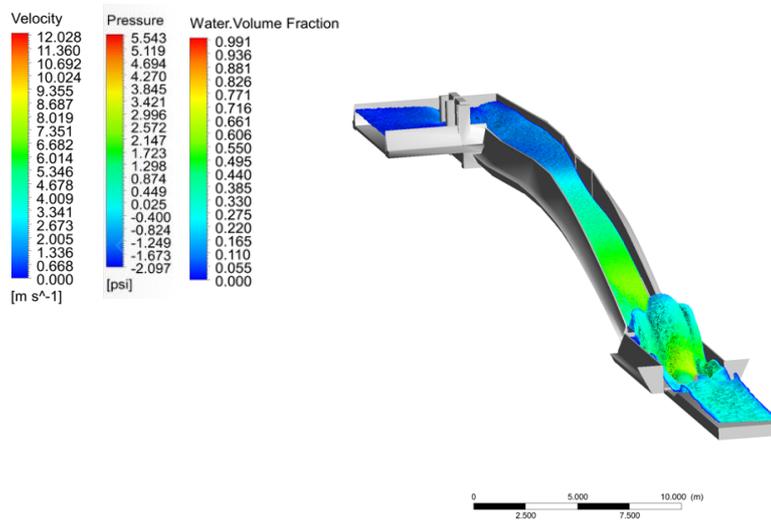
Gambar 6. Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tekanan
Sumber : Hasil Perhitungan



Uji Model Test Simulasi Mesh 1 Simulasi Mesh 2
Gambar 8. Profil muka air Q_{1000} pada pelimpah antara model tes dan model numerik
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 9. Kecepatan, tinggi muka air dan tekanan di pelimpah Q_{1000} pada ANSYS CFD
Sumber : Hasil Perhitungan

Dapat ditentukan nilai kecepatan pada kontur label *velocity* untuk *section 5* sebesar 1.336, yang kemudian dikalikan dengan koefisien skala 2.5 sehingga mendapatkan nilai kecepatan 3.67 m/dt begitu juga untuk ketinggian muka air dan juga untuk tekanan yang terjadi. Dari hasil diatas menunjukkan bahwa *mesh 2* menunjukkan tingkat hasil simulasi yang mendekati dengan kondisi dilapangan dengan persentase *error* 10%.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa simulasi numerik dengan *ANSYS CFD Fluent* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Mesh Tetrahedrons* cocok digunakan untuk geometri yang memiliki banyak detail dan komponen yang kompleks.
- b. Semakin bagus kualitas dan jumlah mesh yang dihasilkan akan semakin mendekati nilai error terhadap uji model test.
- c. Mesh yang ke 2 memberikan hasil simulasi yang rata – rata memiliki persentase error 10% dengan uji model test.

Beberapa saran untuk untuk melengkapi kajian sebagai berikut:

- a. Semakin bagus kualitas dan jumlah mesh yang dihasilkan lebih banyak memberikan waktu iterasi yang sangat lama dalam komputasinya.
- b. Untuk pengkalibrasian antara hasil uji model test dengan hasil simulasi numerik CFD dapat dilakukan dengan skala yang sama untuk mendapatkan hasil yang teliti.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada:

1. Dr. Ir. Hendra Ahyadi, MT, IPM selaku Kepala BWS NT I,
2. Ir. Asrul Pramudya, ST., MT., IPM selaku Kepala Satker SNVT Pembangunan Bendungan BWS NT I,
3. Ir. Agus Sugito, ST., MT selaku PPK Bendungan III (Bendungan Tiu Suntuk) BWS NT I
4. Edden Umaga Dinata, ST., MT selaku Project Manager Pembangunan Bendungan Tiu Suntuk (Paket I) dan tim,
5. Aldy Febrian, ST selaku Project Manager Pembangunan Bendungan Tiu Suntuk (Paket II) dan tim,
6. H. Saefudin Zuhri, ST selaku Team Leader Konsultan Supervisi Pembangunan Bendungan Tiu Suntuk dan tim.

Daftar Pustaka

1. PT. Indra Karya (Persero). 2019. *Laporan Akhir Sertifikasi Desain Bendungan Tiu Suntuk di Kabupaten Sumbawa Barat*. Dinas Pekerjaan Umum Penataan Ruang Perumahan dan Permukiman Kabupaten Sumbawa Barat. Taliwang.
2. Paksi, R.S Jatayu. 2021. *Kajian Hidrolika Bangunan Pelimpah Samping (Side Channel Spillway) Bendungan Pomalaa Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara Dengan Uji Model Fisik 1:40*. Malang : Universitas Brawijaya
3. Tuakia, F. 2008. *Dasar – Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Informatika. Bandung.
4. Sosrodarsono, Suyono dan Tekeda, Kensaku. 2016. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta : Erlangga
5. PT. Inakko Internasional Konsulindo, KSO. 2021. *Laporan Akhir Model Test Spillway Bendungan Tiu Suntuk Skala 1:40*. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. Mataram.
6. <https://www.aeroengineering.co.id/2021/05/kualitas-mesh-pada-computational-fluid-dynamics-cfd/>
7. Babaali H., Shamsai A., Vosoughifar H., 2014, *Computational Modeling of the Hydraulic Jump in the Stilling Basin with Convergence Walls Using CFD Codes*, *Arabian Journal for Science and Engineering Volume 40*, Issue 2, pp 381– 395, Springerlink.com
8. Yen, Ben Chie (1991)., *Channel flow resistance: centennial of Manning's formula*, Water Resources Publications.