

# EVALUASI DAN SIMULASI POLA OPERASI BENDUNG GERAK TEMPE PROVINSI SULAWESI SELATAN

A. Rifai<sup>1</sup>, Very Dermawan<sup>2</sup>, Dian Sisinggih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Sie Program dan Perencanaan Umum BBWS Pompengan Jeneberang

<sup>2</sup>Dosen, Program Studi Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan

Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

achox.pay@gmail.com

**Abstrak :** Bendung Gerak Tempe yang berada di hilir Danau Tempe diperuntukkan untuk menjaga elevasi muka air Danau Tempe. Elevasi muka air yang harus dipertahankan pada Danau Tempe adalah elevasi +5,00 m. Dari hasil evaluasi dan simulasi, bulan Januari sampai dengan bulan Agustus rata-rata muka air Danau Tempe dan Bendung Gerak adalah lebih tinggi dari elevasi +5,30 m, sehingga Pintu utama dan pintu navigasi dibuka penuh sehingga banjir tidak membahayakan daerah hulu Bendung Gerak Tempe. Sedangkan pada bulan September sampai dengan bulan Desember muka air pada Danau Tempe dan Bendung Gerak lebih rendah dari elevasi +5,00 m, sehingga muka air perlu dinaikkan sesuai yang harus dipertahankan yaitu pada elevasi +5,00 m, dengan jalan melakukan pengoperasian (penutupan) Pintu Utama maupun Pintu Navigasi.

**Kata Kunci:** Bendung Gerak Tempe, Pintu Sorong, Danau Tempe, Banjir, Simulasi HEC-RAS

*Abstract : Tempe Barrage is located on the downstream of Lake Tempe that it functioned to maintain water level of Lake Tempe. Water levels of Tempe Lake to be maintained at elevation of +5.00 m. The results of evaluation and simulation shown that from January to August the average water level of Lake Tempe and Tempe Barrage is higher than the elevation of +5,30 m, main gate and the navigation gate was fully opened to control flooding at upstream area of Tempe Lake. Furthermore, on September until December the water level on Tempe Lake and Tempe Barrage is lower than the elevation of +5,00 m, so that the water level should be increased to maintain the elevation of +5,00 m, by closed the Main Gate and Navigation Gate.*

**Keyword:** Tempe Barrage, Sluice Gate, Tempe Lake, Flood, HEC-RAS Simulation

Wilayah Sungai Walanae Cenranae merupakan kawasan dengan sumber air yang potensial bagi upaya pengelolaan sumber daya air dalam memenuhi berbagai keperluan dan kebutuhan antara lain untuk kebutuhan domestik, air baku, industri, irigasi dan lain-lain.

Danau Tempe merupakan Danau terbesar yang berada di tengah-tengah propinsi Sulawesi Selatan sebagai penghasil ikan air tawar terbesar di Indonesia.

Sistem Danau Tempe terdiri dari tiga danau, yaitu: Danau Tempe, Danau Sidenreng dan Danau Buaya dimana ukuran dan kedalamannya bervariasi sepanjang tahun. Pada musim hujan luas permukaan air Danau sekitar 28.000 ha sampai 43.000 ha dan elevasi muka

air meningkat dari elevasi +7,00 masl sampai +9,00 masl. Pada musim tersebut Danau Tempe bergabung dengan Danau Sidenreng dan Danau Buaya.

Danau Tempe memiliki permasalahan banjir tahunan. Fluktuasi muka air Danau Tempe dipengaruhi oleh fluktuasi curah hujan di daerah tangkapan air. Pada musim penghujan, muka air Danau Tempe meningkat dengan cepat akibat besarnya pasokan air dan tidak cukupnya kapasitas Sungai Cenranae.

Dampak berikutnya adalah Danau Tempe tidak dapat menampung air dari aliran sungai yang masuk dan akibat muka air danau yang sudah tinggi sehingga menyebabkan banjir di

sekitar Danau Tempe. Hal ini sangat berbeda dengan kondisi musim kemarau.

Pada musim kemarau elevasi muka air Danau Tempe turun sampai dengan elevasi +3,00 masl. Di musim kemarau kedalaman air adalah sekitar 0,50 m.

Pada kondisi ini tidak mungkin untuk melakukan kegiatan perikanan dan pertanian yang dilakukan masyarakat di sekitar bantaran Danau Tempe.

Muka air di Danau Tempe dipengaruhi oleh penurunan kapasitas tampungan danau akibat sedimentasi. Potensi erosi di daerah tangkapan air Danau Tempe adalah sebesar 600.000 m<sup>3</sup> pertahun atau setara dengan ketebalan sedimen sebesar 0,4 cm/tahun (Anonim, 2003).

Pembangunan Bendung Gerak Tempe di sungai Cenranae yang selesai dibangun pada tahun 2013 untuk menjaga elevasi muka air Danau Tempe. Elevasi muka air yang harus dipertahankan yaitu pada elevasi muka air +5,00 masl, dengan pembangunan Bendung Gerak Tempe Danau Tempe dapat menampung air sebesar 124,2 juta meter<sup>3</sup> dengan luas genangan 132,9 km<sup>2</sup>.

Operasi Bendung Gerak Tempe dilaksanakan berdasarkan 2 (dua) kondisi Elevasi Muka Air yaitu:

1. Musim Penghujan rata-rata yang terjadi pada bulan Januari sampai dengan bulan Agustus rata-rata muka air di Bendung Gerak Tempe dan Danau Tempe adalah lebih tinggi dari elevasi +5,00 masl. Pada Kondisi ini Pintu utama dan pintu navigasi terbuka penuh sehingga air banjir bisa mengalir melalui Bendung Gerak.
2. Musim Kemarau yang terjadi pada bulan September sampai dengan bulan Desember rata-rata muka air di Bendung Gerak Tempe dan Danau Tempe adalah lebih rendah dari elevasi +5,00 masl, sehingga muka air perlu dinaikkan sesuai yang harus dipertahankan yaitu pada elevasi +5,00 masl dengan jalan melakukan pengoperasian (penutupan) Pintu Utama maupun Pintu Navigasi.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perubahan Danau Tempe sebelum dan setelah pembangunan Bendung Gerak, mengetahui pola operasi Bendung Gerak Tempe yang efektif untuk menjaga elevasi muka air Danau Tempe pada musim penghujan dan musim kemarau.



Gambar 1. Bendung Gerak Tempe

Bendung Gerak Tempe terletak di Kelurahan Wiring palanai dan Kelurahan Madukelleng Kecamatan Tempe Kabupaten Wajo Provinsi Sulawesi Selatan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Bendung Gerak Tempe terletak pada 120.033611° BT dan -4.154073° LS.



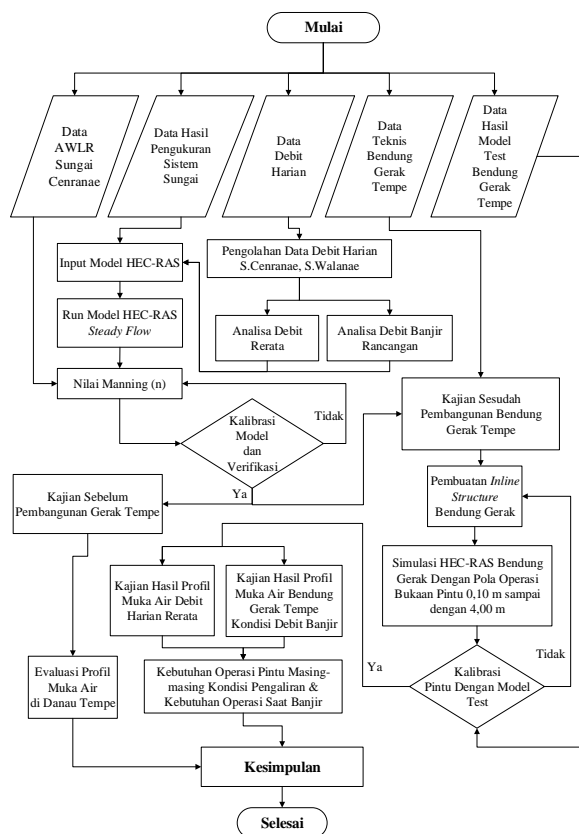
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

## METODE PENELITIAN

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Data debit harian sungai Walanae, sungai Cenranae dari tahun 1978 – tahun 2011.
- b. Data tinggi muka air Danau Tempe dari tahun 1978 – tahun 2011 dan tahun 2014
- c. Data pencatatan tinggi muka air Bendung Gerak Tempe tahun 2014.
- d. Data Pengukuran sungai Walanae, sungai Menraleng (*outflow* Danau Tempe) dan sungai Cenranae.
- e. Peta lokasi Bendung Gerak Tempe.
- f. Data teknis Bendung Gerak Tempe.
- g. Wawancara dengan petugas Bendung Gerak Tempe.

h. Foto-foto dokumentasi di lokasi penelitian.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**KAJIAN PUSTAKA**

**Analisis Frekuensi**

Analisis frekuensi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepat untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu, misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun dst yang akan datang. Dalam hidrologi, analisis tersebut dipergunakan untuk menentukan besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu (Limantara, 2010).

**Distribusi Gumbel**

$$x = \bar{x} + \frac{y_T - y_n}{S_n} S_d \tag{1}$$

Dengan:

- $x$  = nilai ekstrim
- $\bar{x}$  = nilai rata-rata
- $y_T$  = *Reduced variate*, merupakan fungsi dari probabilitas
- $y_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{Tr}{Tr-1} \right) \right]$  (2)
- $y_n$  = *Reduced variate mean*, rata - rata  $y_T$ , merupakan fungsi dari pengamatan

$S_n$  = *Reduced variated standard deviation*, merupakan koreksi dari penyimpangan  
 $S_d$  = Simpangan Baku (*Deviation Standard*)  

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{3}$$

**Uji Kesesuaian Distribusi**

Data-data hidrologi yang dipakai untuk mengestimasi banjir rancangan (*design flood*) maupun debit andalan (*dependable discharge*) menggunakan analisis frekuensi belum tentu sesuai dengan distribusi-distribusi yang dipilih. Untuk itu perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi (Limantara, 2010).

**Uji Smirnov Kolmogorof**

Sebelum melakukan uji kesesuaian terlebih dahulu dilakukan *plotting* data dengan tahapan:

1. Data diurutkan dari data terkecil sampai terbesar.
2. Hitung probabilitas dengan menggunakan rumus Weibull (Harto, 2000):

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \tag{4}$$

Dengan:

- $P$  = Probabilitas (%)
- $m$  = Nomor urut data
- $n$  = Jumlah data

3. *Plotting* data debit dengan probabilitas  $P$
4. Tarik garis durasi dengan mengambil 2 titik pada Metode Gumbel (garis teoritis berupa garis lurus) dan 3 titik pada Metode Log Pearson III (garis teoritis berupa garis lengkung kecuali untuk  $C_s = 0$ , garis teoritis berupa garis lurus).

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\Delta maks = [Pe - Pt] \tag{5}$$

Dengan:

- $\Delta maks$  = Selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis
- $Pe$  = Peluang empiris
- $Pt$  = Peluang teoritis
- $\Delta cr$  = Simpangan kritis

Kemudian dibandingkan antara  $\Delta maks$  dan  $\Delta cr$ , distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima apabila  $\Delta maks < \Delta cr$ .

**Uji Chi Square**

Uji chi square dilakukan untuk uji kesesuaian distribusi. Rumus chi square ( $\chi^2$ ) sebagai berikut (Limantara, 2010):

$$\chi^2_{hitung} = \sum_{i=1}^k \frac{(Fe - Ft)^2}{Ft} \tag{6}$$

Dengan:

- $x^2_{hitung}$  = Harga Chi Square hitung
- $Fe$  = Frekuensi pengamatan kelas  $j$
- $Ft$  = Frekuensi pengamatan kelas  $j$  dan
- $k$  = Jumlah kelas

derajat bebas  $d^k$  dirumuskan sebagai berikut:

1.  $d^k = k - 1$  jika frekuensi dihitung tanpa mengestimasi parameter dari sampel.
2.  $d^k = k - 1 - m$  jika frekuensi dihitung dengan mengestimasi  $m$  parameter dari sampel.
3. harga  $x^2$  dengan derajat bebas ( $\nu$ ) seperti tersebut di atas dibandingkan dengan  $x^2$  dari tabel dengan tingkat keyakinan ( $\alpha$ ) tertentu. Jika  $x^2_{hitung} < x^2_{tabel}$  berarti data sesuai dengan distribusi.

**Pemodelan Hidrolika dengan HEC-RAS**

Permodelan Hidrolik Bendung Gerak Tempe akan menggunakan perangkat lunak (*software*) HEC-RAS versi 4.1.0. sebagai paket program analisa dan pemodelan struktur hidrolik.

Paket model HEC-RAS adalah salah satu model yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers River Analysis System. Software* ini memiliki kemampuan penggunaan: perhitungan jenis aliran *steady flow* dan *unsteady flow* satu dimensi, dan *sediment transport*.

**Analisa Profil Muka Air**

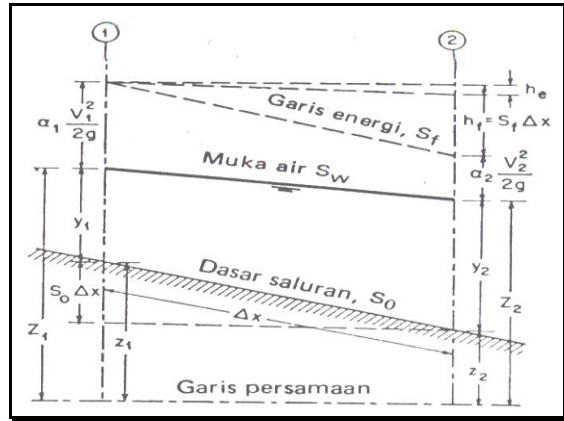
Profil muka air dihitung dari suatu penampang dengan Persamaan Energi melalui prosedur iterative yang disebut dengan *Standard Step Method*. Persamaan Energi yang dimaksud adalah (Chow, 1997):

$$Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f + h_e \tag{7}$$

Dengan:

- $Y_1$  = Kedalaman air pada penampang 1 (m)
- $Y_2$  = Kedalaman air pada penampang 2 (m)
- $Z_1, Z_2$  = Ketinggian Air dari Datum (m)
- $V_1, V_2$  = Kecepatan rata-rata aliran (m/detik)
- $\alpha_1, \alpha_2$  = Koefisien Energi
- $g$  = Percepatan Gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)
- $h_e$  = Kehilangan tinggi akibat perubahan penampang (m)
- $h_f$  = Kehilangan tinggi akibat gesekan (m)

Sketsa persamaan energi di saluran terbuka ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Energi dalam Saluran Terbuka

Sumber: Chow, 1997

Kehilangan tinggi energi antara 2 (dua) penampang akibat pelebaran atau penyempitan saluran adalah sebagai berikut (Anonim, 2010)

$$h_c = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \tag{8}$$

Dengan:

- $L$  = Jarak antara tanggul (m)
- $\bar{S}_f$  = Kemiringan garis energi
- $C$  = Koefisien kehilangan akibat pelebaran atau penyempitan alur

Panjang sungai rata-rata  $L$ , dihitung dengan rumus (Anonim, 2010):

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \tag{9}$$

Dengan:

- $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = Panjang memanjang penampang sungai kiri, utama dan kanan (m)
- $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$  = Rata-rata debit penampang sungai kiri, utama dan kanan (m<sup>3</sup>/dt)

**Analisa Pada Bendung Gerak**

HEC-RAS versi 4.1.0 dapat digunakan untuk memodelkan struktur *inline*, seperti *spillways*, bendungan, jembatan dan lain-lain. HEC-RAS memiliki kemampuan untuk model pintu radial, pintu sorong, pintu rangkap atau pintu *overflow*. *Spillway* yang dapat di modelkan adalah dengan puncak tipe Ogee, ambang lebar, dan ambang tajam.

Persamaan aliran melalui pintu sorong seperti Persamaan berikut (Anonim, 2010):

$$Q = Cd W a \sqrt{2g h1} \tag{10}$$

Dengan:

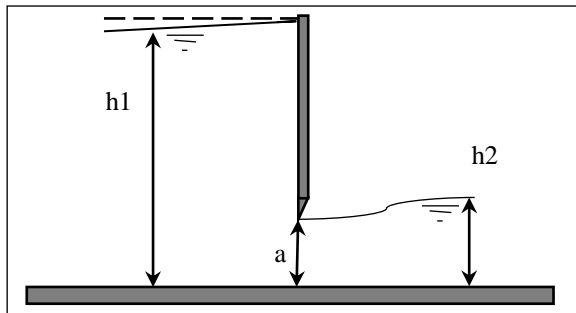
- $Q$  = debit (m<sup>3</sup>/detik)
- $Cd$  = koefisien debit
- $W$  = lebar pintu (m)

$a$  = tinggi bukaan pintu (m)  
 $h1$  = tinggi muka air hulu (m)

Ketika tailwater naik pada titik dimana aliran tidak dapat mengalir dengan bebas, maka persamaan diatas menjadi persamaan berikut (Anonim, 2010):

$$Q = Cd W a \sqrt{2 g \Delta H} \tag{11}$$

Dengan:  
 $\Delta H = h1 - h2$

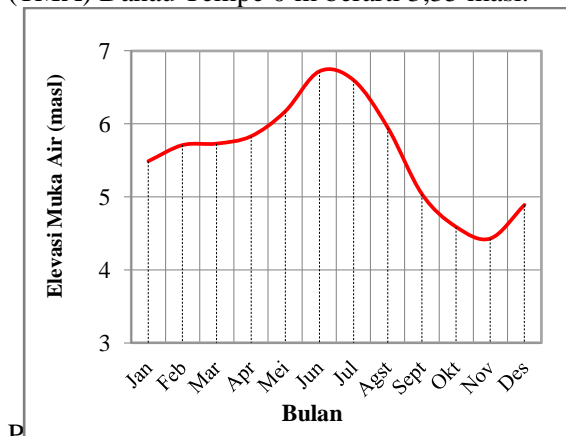


Gambar 5. Contoh aliran air pada pintu dengan ambang lebar Sumber: Anonim, 2010

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

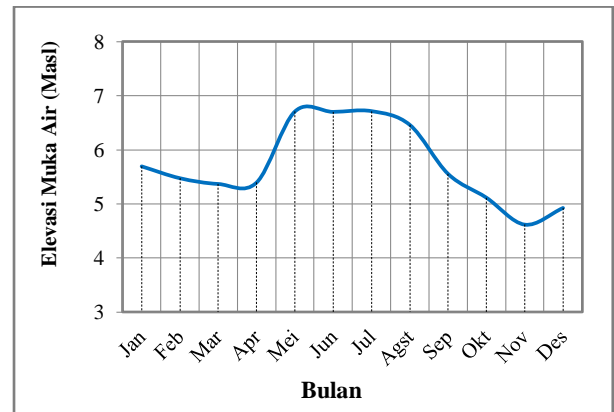
**Elevasi Muka Air Danau Tempe Sebelum Pembangunan Bendung Gerak Tempe**

Dari data pencatatan tinggi muka air Danau Tempe, mulai tahun 1978 sampai dengan 2011, yang ditunjukkan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 11 Danau Tempe memasuki periode air tinggi mulai pada bulan Mei sampai dengan bulan Agustus dan mencapai puncaknya pada bulan Juni sampai dengan bulan Juli, tinggi muka air Danau Tempe berada di rentang 3,00 m – 5,50 m (elevasi muka air Danau Tempe +6,35 masl – +8,85 masl). Data tinggi muka air (TMA) Danau Tempe 0 m berarti 3,35 masl.

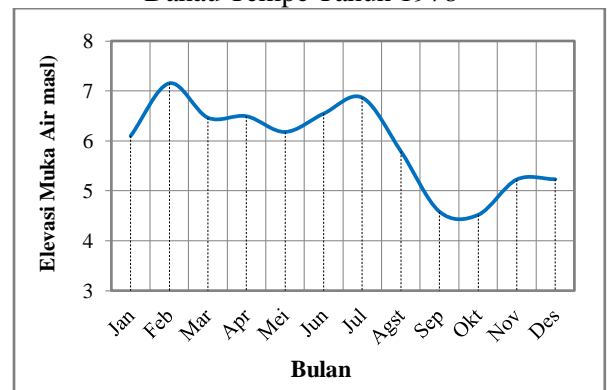


Gambar 6. Grafik Rerata Elevasi Muka Air

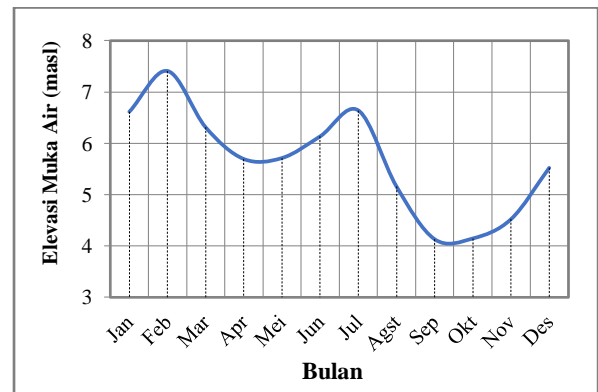
Danau Tempe eriode air rendah dimulai bulan September sampai dengan bulan Desember dengan level tinggi muka air terendah pada bulan Oktober – bulan November dengan TMA 0,35 m – 1,00 m (elevasi +3,50 masl – +4,35 masl), sedangkan periode rerata air terjadi pada bulan Januari sampai dengan bulan April dengan TMA berada di rentang 2,00 – 2.50 m (elevasi muka air +5,35 masl – +5,85 masl).



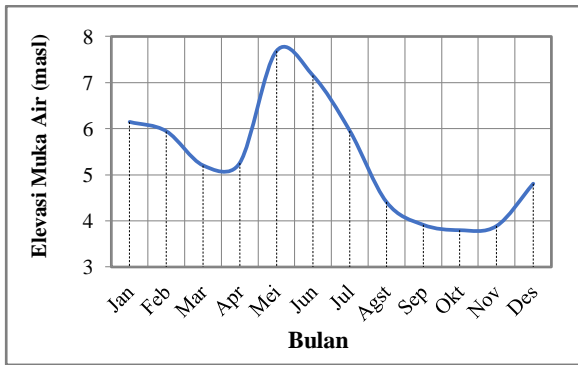
Gambar 7. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe Tahun 1978



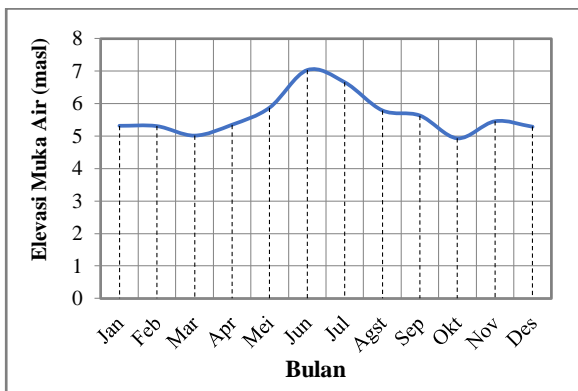
Gambar 8. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe Tahun 1986



Gambar 9. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe Tahun 1999



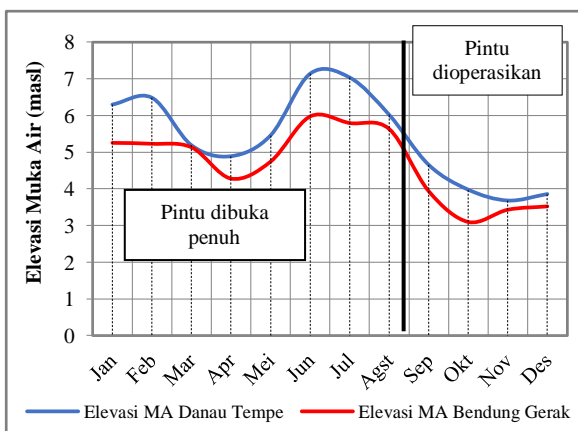
Gambar 10. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe Tahun 2002



Gambar 11. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe Tahun 2008

**Elevasi Muka Air Danau Tempe Setelah Pembangunan Bendung Gerak Tempe**

Pembangunan Bendung Gerak Tempe adalah untuk mempertahankan elevasi muka air pada Danau Tempe agar terjaga pada elevasi +5,00 masl sepanjang tahun. Desain muka air terendah Danau Tempe (*Tempe Low Water Level = TLWL*) yang harus dipertahankan adalah +5,00 masl (Anonim1, 2009).



Gambar 12. Grafik Elevasi Muka Air Danau Tempe setelah Pembangunan Bendung Gerak Tempe Tahun 2014

Berdasarkan dari data setelah pembangunan Bendung Gerak Tempe yang disajikan pada Gambar 12, profil elevasi muka air di Danau Tempe pada musim penghujan atau periode muka air tinggi, bulan Januari sampai dengan pertengahan bulan Agustus elevasi muka air berada di elevasi di atas +5,00 masl. Pada bulan Februari, Juni sampai dengan bulan Juli elevasi muka air meningkat menjadi +7,30 m, pada kondisi ini Bendung Gerak Tempe tidak beroperasi (pintu utama dan pintu Navigasi di buka penuh).

Pada musim kemarau atau periode muka air rendah di Danau Tempe masih berada di bawah +5,00 m yang direncanakan yaitu pada elevasi muka air +5,00, hal ini disebabkan karena seringnya pintu utama dibuka. Hasil wawancara dengan petugas penjaga bendung, pembukaan pintu utama karena permintaan dari masyarakat bantaran Danau Tempe maupun hilir Bendung Tempe.

Dalam perencanaan Bendung Gerak Tempe tujuan operasinya dapat menjaga kebutuhan di hilir Bendung Gerak Tempe. Untuk pemenuhan kebutuhan pada hilir Bendung Gerak Tempe ditetapkan sebesar 20 m<sup>3</sup>/detik.

Debit ini di-maksudkan untuk pemeliharaan sungai, lingkungan, pemandian, transportasi sungai dengan perahu, dan mencegah intrusi air laut.

**Debit Maksimum Tahunan**

Berdasarkan dari pencatatan data debit harian sungai Cenranae yang direkapitulasi dari tahun 1978 sampai dengan tahun 2011, data debit Harian maksimum tahunan pada sungai Cenranae dapat dilihat pada Gambar 13.

**Debit Banjir Rancangan**

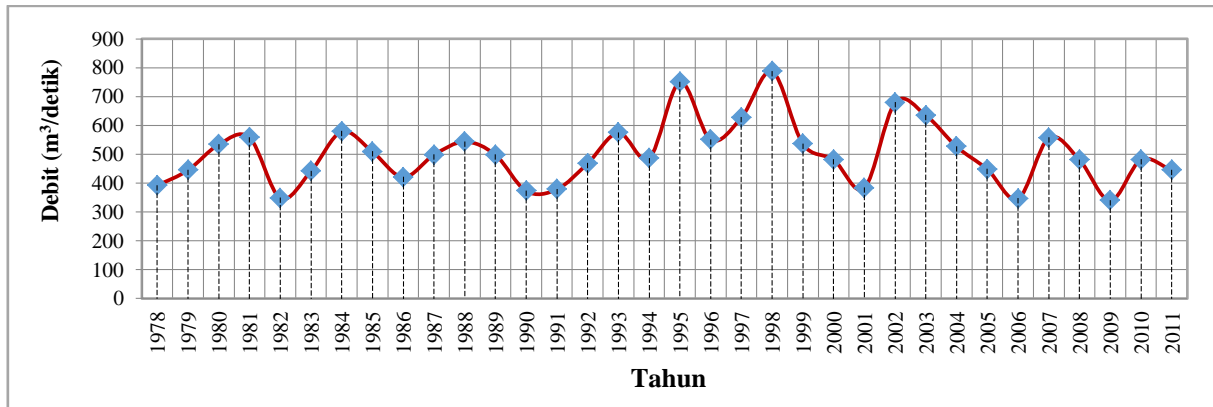
Berdasarkan hasil analisis frekuensi, maka dapat diketahui debit banjir rancangan dengan metode Gumbel pada Tabel 1.

Tabel 1. Debit Banjir Rancangan

No	Kala Ulang	Debit (m <sup>3</sup> /det)
1	1,05	343,83
2	2	486,18
3	5	609,71
4	10	693,23
5	20	773,35
6	25	798,76
7	50	877,05

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan dari hasil perhitungan analisis dan uji kesesuaian distribusi, menggunakan metode Gumbel debit 786,91 m<sup>3</sup>/detik setara dengan periode ulang 20 tahun.



Gambar 13. Grafik Debit Harian Maksimum Tahunan Tahun 1978 – Tahun 2011

**Uji Kesesuaian Distribusi**

1. Uji Smirnov-Kolmogorov

Syarat uji Smirnov-Kolmogorov  $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$  maka distribusi teoritis dapat diterima dan apabila  $\Delta_{maks} > \Delta_{cr}$  maka distribusi tidak dapat diterima.

Hasil perhitungan diketahui  $\Delta_{maks}$  sebesar 0,079 dan  $\Delta_{cr}$  dengan level of significance ( $\alpha$ ) 5% sebesar 0,233. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa  $\Delta_{maks} (0,079) < \Delta_{cr} (0,233)$  maka distribusi Gumbel dapat diterima.

2. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi. Hasil analisa  $X^2_{hitung}$  sebesar 0,588. Didapatkan  $X^2_{cr} = 5,991$   $\alpha=5\%$  pada tabel *Chi-Square*.  $X^2_{hitung} (0,588) < X^2_{cr} (5,991)$ , data sesuai dengan Distribusi Gumbel.

**Kapasitas Eksisting Sungai Cenranae Debit Maksimum Tahunan**

Pada analisis ini untuk mengetahui kapasitas eksisting sungai Cenranae berdasarkan debit maksimum tiap tahun sebelum pembangunan Bendung Gerak Tempe.

Dari hasil simulasi HEC-RAS kondisi debit harian maksimum mulai tahun 1978 sampai dengan tahun 2011 yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 14 sampai dengan Gambar 17.

Pada kondisi debit harian maksimum terendah yaitu 339 m³/detik, elevasi muka air pada hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +6,28 m, Pada kondisi ini kapasitas sungai Cenranae masih bisa menampung debit air sebesar 339 m³/detik akan tetapi pada hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) pada patok 358 ketinggian muka air melimpas di atas tanggul sungai.

Pada tahun 1998 yang merupakan banjir terbesar yang pernah terjadi di daerah Danau Tempe maupun pada sungai Cenranae. Debit inflow ke sungai Cenranae yang tercatat pada

AWLR Tampangeng yaitu sebesar 786,91 m³/detik. Dari hasil simulasi HEC-RAS diperoleh elevasi muka air pada hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +9,40 m.

**Kalibrasi dan Verifikasi Sungai Cenranae kondisi Eksisting.**

Dari laporan masterplan Walanae Cenranae tahun 2002 menyebutkan bahwa penurunan dasar sungai Cenranae dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2002 lebih dari setengah meter. Berdasarkan data pengukuran tahun 2011 dan membandingkan hasil pengukuran tahun 2002, dasar AWLR Tampangeng +0,693 m pada tahun 2002 dan dasar sungai AWLR pada tahun 2011 +0,350 m, sehingga terjadi penurunan dasar sungai +0,343 m, berdasarkan hal tersebut kalibrasi dan verifikasi dilakukan data tahun 2011.

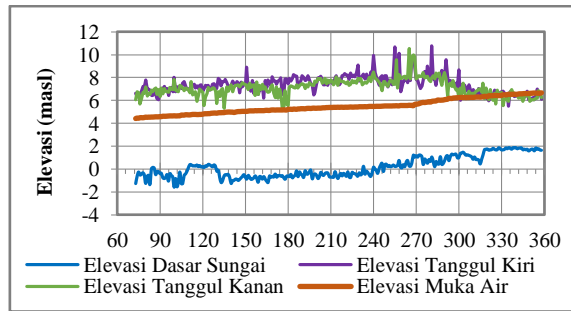
Data stasiun AWLR Tampangeng di Sungai Cenranae diketahui debit maksimum tahun 2011 sebesar 443,46 m³/detik elevasi muka air adalah +6,31 m, sedangkan hasil simulasi HEC-RAS elevasi profil muka air adalah +6,37 m, sehingga selisih muka air hasil HEC-RAS dan lapangan adalah 0,06 m.

Tabel. 2 Hasil Simulasi HEC-RAS Kondisi Eksisting Debit Maksimum Tahunan

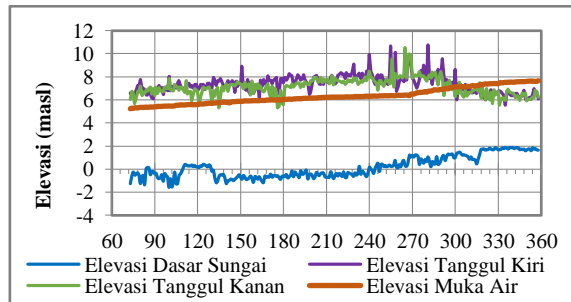
Tahun	Debit m³/det	Sungai Cenranae Patok 256 (AWLR )	Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng) Patok 358
		Masl	Masl
1990	372,51	5,81	6,70
1991	378,65	5,86	6,66
1992	468,51	6,55	7,33
1993	574,83	7,28	8,02

Tahun	Debit	Sungai Cenranae Patok 256 (AWLR)	Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng) Patok 358
	m <sup>3</sup> /det	Masl	Masl
1994	485,74	6,67	7,41
1995	749,86	8,19	9,01
1996	550,44	7,13	7,97
1997	627,22	7,59	8,47
1998	786,91	8,34	9,40
1999	536,01	7,03	8,39
2000	481,16	6,64	7,38
2001	382,98	5,90	6,71
2002	679,03	7,87	8,70
2003	634,86	7,63	8,56
2004	526,32	6,96	7,78
2005	345,72	5,59	6,29
2006	448,10	6,40	7,11
2007	556,61	7,17	7,88
2008	480,41	6,64	7,34
2009	339,20	5,54	6,28
2010	480,97	6,64	7,55
2011	444,93	6,37	7,08

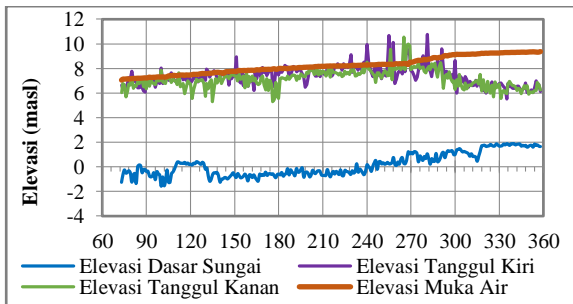
Sumber: Hasil Model HEC-RAS



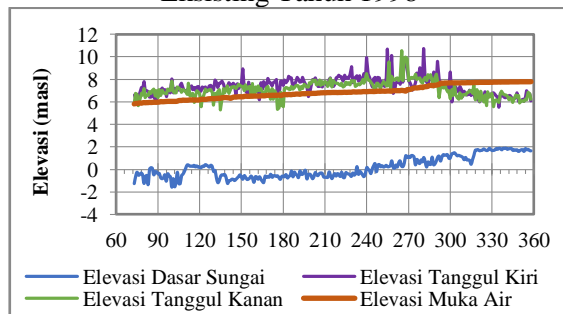
Gambar 16. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Tahun 2009



Gambar 17. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Tahun 2011



Gambar 14. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Tahun 1998

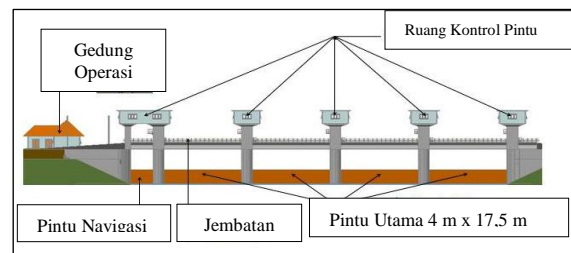


Gambar 15. Profil Memanjang Kondisi Eksisting Tahun 2004

**Simulasi HEC-RAS Bendung Gerak Tempe**

**1. Data Teknis Bendung Gerak Tempe**

- a. Jumlah Pilar : 5 (lima) buah
- b. Lebar Saluran tangga ikan: 3,00 m
- c. Pintu Utama : 4 m x 17,50 m
- d. Jumlah keseluruhan : 4 set
- e. Elevasi crest pintu : + 5,00 m
- f. Elevasi dasar pintu : + 1,00 m
- g. Pintu Navigasi : 4,50x5,00 m



Gambar 18. Gambar Teknis Bendung Gerak Tempe

**2. Kalibrasi Pemodelan Pintu Bendung Gerak Tempe.**

Pada laporan model test Bendung Gerak Tempe yang dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Universitas Brawijaya pada tahun 2012, menyebutkan pengujian model test Bendung Gerak Tempe difokuskan pada pola operasi pintu yang meliputi pola aliran, kecepatan, serta tinggi muka air akibat bukaan pintu untuk dapat mempertahankan tinggi muka



air di hulu pada elevasi +5.00 m (Anonim, 2012).

Dalam penelitian ini proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil bukaan pintu simulasi HEC-RAS dengan hasil bukaan pintu model test Bendung Gerak Tempe pada kondisi bukaan 4 pintu dengan tinggi bukaan 4 m. Metode simulasi HEC-RAS dengan menggunakan data input debit yang diatur berurut mulai debit terendah 1 m<sup>3</sup>/det hingga 1.000 m<sup>3</sup>/det.

Dari hasil simulasi HEC-RAS bukaan 4 pintu dengan tinggi bukaan 4 m pada elevasi muka air di hulu Bendung Gerak +5,00 m debit yang melewati pintu adalah sebesar 223,36 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan hasil model test Bendung Gerak Tempe tercatat bahwa pada bukaan 4 Pintu tinggi bukaan 4 m kondisi elevasi muka air di hulu bendung gerak elevasi +5,00 m adalah sebesar 220 m<sup>3</sup>/detik.

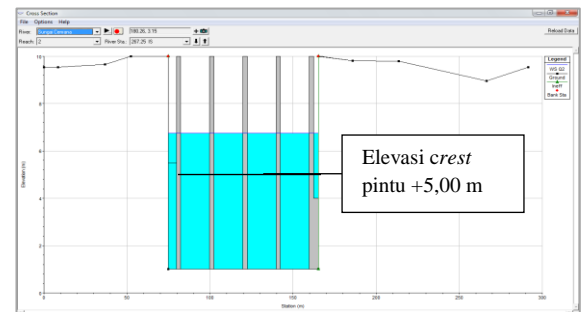
**3. Penentuan Bukaan Pintu Bendung Gerak Berdasarkan Debit Banjir Rancangan**

Dari sisi operasi bukaan Pintu Bendung Gerak Tempe besarnya kondisi peringatan debit banjir untuk membuka pintu utama adalah 223,36 m<sup>3</sup>/detik. Berikut ini adalah rekapitulasi Bukaan Pintu Bendung Gerak berdasarkan Debit Banjir Rancangan disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 19 sampai dengan Gambar 22.

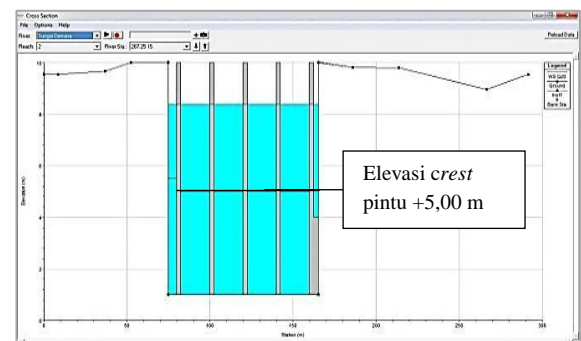
Tabel 3. Bukaan Pintu Bendung Gerak Berdasarkan Debit Banjir Rancangan

Debit Banjir Rancangan		Jumlah Pintu dibuka			Elevasi MA Bendung Gerak (m)	Elevasi MA Outflow Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng) Patok 358 (m)
		Utama	Navigasi	Tinggi Bukaan (m)		
Kala Ulang (th)	m <sup>3</sup> /det	Unit	Unit	(m)	(m)	(m)
1,05	343,83	4	1	4,00	5.65	6.99
2	486,18	4	1	4,00	6.83	7.84
5	609,71	4	1	4,00	7.86	8.86
10	693,23	4	1	4,00	8.09	9.13
20	773,35	4	1	4,00	8.44	9.39

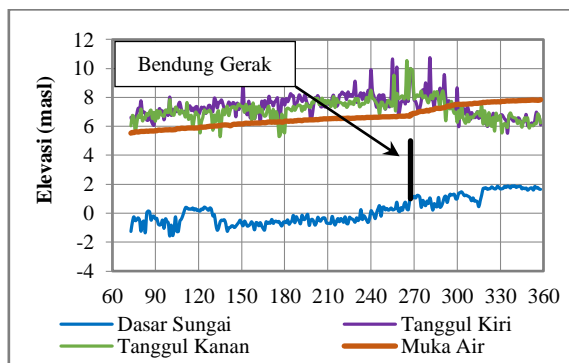
Sumber: Hasil Model HEC-RAS



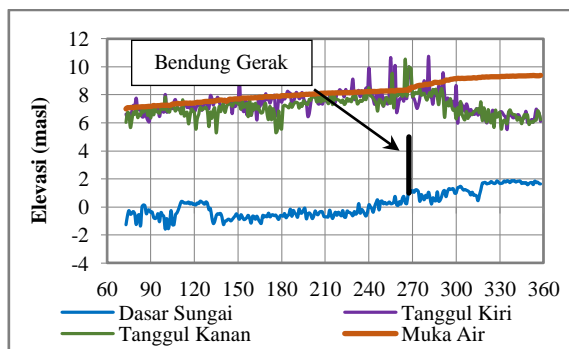
Gambar 21. Profil Melintang Bendung Gerak Tempe Kondisi Q<sub>2th</sub>



Gambar 22. Profil Melintang Bendung Gerak Tempe Kondisi Q<sub>20th</sub>



Gambar 19. Profil Memanjang Kondisi Q<sub>2th</sub>



Gambar 20. Profil Memanjang Kondisi Q<sub>20th</sub>

**4. Penentuan Bukaan Pintu Berdasarkan Debit Rerata**

Target operasi pintu Bendung Gerak Tempe adalah menghasilkan elevasi muka air Danau Tempe +5,00 m. Dengan elevasi muka air di Bendung Gerak Tempe +5,00 m, maka target elevasi muka air di hulu sungai Menraleng (Outflow Danau Tempe) adalah pada elevasi +5,00 m.

Dalam pemodelan ini penentuan variasi bukaan pintu utama dimulai dari pintu yang ditengah yaitu pintu no.3, pintu no.2, pintu no.1

dan pintu ke no.4 dan seterusnya dengan tinggi bukaan 0,10 m tiap tinggi bukaan pintu. Penomoran Pintu dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Penomoran Pintu Bendung Gerak Tempe

Pada dasarnya elevasi muka air di Danau Tempe pada musim penghujan atau pada bulan Januari sampai dengan bulan Agustus adalah rata-rata di atas +5,00 masl, Sedangkan pada bulan September sampai bulan Desember elevasi muka air di Danau Tempe di bawah elevasi +5,00 masl, sehingga dibutuhkan penutupan pintu utama untuk menaikkan atau mempertahankan elevasi muka air di Danau Tempe +5,00 m.

Berdasarkan dari hasil simulasi HEC-RAS dengan berbagai variasi operasi bukaan pintu, diperoleh elevasi muka air di Bendung Gerak Tempe dan hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) patok 358 tidak dapat dirumuskan secara linier, dikarenakan sistem hidrologi perairan sungai dan Danau Tempe dipengaruhi oleh faktor besarnya *inflow* ke Danau Tempe dan kondisi pengaliran pertemuan sungai Walanae, sungai Menraleng (*outflow* Danau Tempe), dan sungai Cenranae. Berikut dibawah ini 3 (tiga) contoh pembahasan hasil simulasi HEC-RAS berdasarkan debit rerata:

Tabel 4. Bukaan 1 Pintu Tinggi Bukaan 0,10 m

Debit Sungai Walanae	Debit Sungai Menraleng	Debit Sungai Cenranae	Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng)	Elevasi MA Bendung Gerak Tempe
m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	masl	masl
6.39	11.48	17.87	5.11	5.10
5.93	11.96	17.89	5.11	5.10
5.86	13.17	19.03	5.14	5.12
3.91	16.79	20.70	5.16	5.15

Sumber: Hasil Model HEC-RAS

1. Dari hasil simulasi yang disajikan pada Tabel 4, bukaan 1 pintu tinggi bukaan 0,10

m dengan *inflow* dari sungai Walanae 6,39 m<sup>3</sup>/detik dan *outflow* Danau Tempe 11,48 m<sup>3</sup>/detik, total debit *inflow* ke Bendung Gerak Tempe sebesar 17,87 m<sup>3</sup>/detik diperoleh elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +5,11 m dan Bendung Gerak +5,10 m, selisih tinggi muka air 0,01 m.

2. Pada Bukaan 4 Pintu tinggi 0,20 m dengan *inflow* sungai Walanae 21,34 m<sup>3</sup>/detik dan *outflow* Danau Tempe 55,42 m<sup>3</sup>/detik total *inflow* ke Bendung Gerak Tempe sebesar 76,76 m<sup>3</sup>/detik diperoleh elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) patok 358 +5,00 m dan Bendung Gerak +4,79 m, selisih tinggi muka air 0,21 m, sedangkan *inflow* sungai Walanae 83,92 m<sup>3</sup>/detik dan *outflow* dari Danau Tempe -3,75 m<sup>3</sup>/detik total *inflow* ke Bendung Gerak Tempe sebesar 80,17 m<sup>3</sup>/det diperoleh elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +5,07 m dan Bendung Gerak +5,00 m, selisih tinggi muka air 0,07 m. Hasil simulasi dapat di lihat pada Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. Bukaan 4 Pintu Tinggi Bukaan 0,20 m

Debit Sungai Walanae	Debit Sungai Menraleng	Debit Sungai Cenranae	Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng)	Elevasi MA Bendung Gerak Tempe
m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	masl	masl
21.34	55.42	76.76	5.00	4.79
37.42	39.96	77.38	4.97	4.83
95.93	-18.17	77.76	4.92	4.85
13.35	64.62	77.97	5.11	4.86
83.92	-3.75	80.17	5.07	5.00
18.23	63.46	81.69	5.30	5.10

Sumber: Hasil Model HEC-RAS

3. Hasil simulasi Bukaan 4 Pintu tinggi 0,40 m dengan *inflow* dari sungai Walanae 11,41 m<sup>3</sup>/detik dan *outflow* dari Danau Tempe 125,02 m<sup>3</sup>/detik total *inflow* ke Bendung Gerak Tempe sebesar 136,43 m<sup>3</sup>/detik diperoleh elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) patok 358 +5,64 m dan Bendung Gerak +5,00 m diperoleh perbedaan tinggi muka air 0,64 m, sedangkan pada *inflow* yang sama masuk ke Bendung Gerak Tempe yaitu 136,49 m<sup>3</sup>/det, *inflow* sungai Walanae 87,26 m<sup>3</sup>/det dan

debit *outflow* Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) 49,23 m<sup>3</sup>/detik diperoleh elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) patok 358 +5,26 m dan elevasi muka air Bendung Gerak Tempe +5,00 masl selisih tinggi muka air 0,26 m.

Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Bukaannya 4 Pintu Tinggi Bukaannya 0,40 m

Debit Sungai Walanae	Debit Sungai Menraleng	Debit Sungai Cenranae	Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng)	Elevasi MA Bendung Gerak Tempe
m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	masl	masl
72.92	61.39	134.31	5.26	4.95
57.63	76.73	134.36	5.33	4.95
42.60	91.76	134.36	5.41	4.95
11.41	125.02	136.43	5.64	5.00
87.26	49.23	136.49	5.26	5.00
66.32	70.65	136.97	5.36	5.01

Sumber: Hasil Model HEC-RAS

Berdasarkan hal tersebut, bahwa menjadi tidak mudah untuk memperkirakan perubahan muka air Danau Tempe dan elevasi muka air Bendung Gerak Tempe dari hubungan yang kompleks diantaranya sebagaimana diuraikan di atas.

Berikut ini adalah rekapitulasi kebutuhan Pola Operasi Bukaannya Pintu Bendung Gerak Tempe yang disusun lebih sederhana untuk memudahkan penyusunan Pedoman Operasi yang mengacu terhadap kondisi debit *inflow* Bendung Gerak Tempe yang disajikan pada Tabel 7.

Pembacaan tinggi muka air hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) dan Bendung Gerak Tempe dalam skala *Range* karena hasil simulasi tidak dapat di rumuskan secara linier dan muka air danau dipengaruhi kondisi *inflow* Danau Tempe dan pertemuan sungai.

Berdasarkan Tabel 7, kebutuhan pola operasi Bendung Gerak Tempe untuk debit *inflow* 0 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan 17 m<sup>3</sup>/detik untuk menghasilkan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +5,11 m cukup membuka 1 pintu yaitu pintu no.3 dengan tinggi bukaannya 0,10 m.

Tabel 7. Rekapitulasi Kebutuhan Pola Bukaannya Pintu Bendung Gerak Tempe

Debit <i>Inflow</i>		Posisi Bukaannya Pintu				Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng)	Elevasi MA Bendung Gerak Tempe
dari	ke	1	2	3	4		
m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	m	m	m	m	masl	masl
0	17			0,10		5,11	5,00
18	24		0,10	0,10		4,48	4,46
						5,07	5,00
25	34	0,10	0,10	0,10		4,32	4,26
						5,13	5,09
35	42	0,10	0,10	0,10	0,10	4,43	4,34
						5,17	5,00
43	51	0,10	0,10	0,20	0,10	4,51	4,38
						5,05	4,97
52	62	0,10	0,20	0,20	0,10	4,65	4,46
						5,20	5,00
62	69	0,20	0,20	0,20	0,10	4,59	4,41
						5,11	5,00
70	80	0,20	0,20	0,20	0,20	4,83	4,54
						5,30	5,00
81	90	0,20	0,20	0,30	0,20	4,55	4,44
						5,27	5,09
91	98	0,20	0,30	0,30	0,20	5,10	4,63
						5,37	5,01
99	108	0,30	0,30	0,30	0,20	5,16	4,81
						5,37	5,03
109	117	0,30	0,30	0,30	0,30	5,23	4,81
						5,45	5,02
118	124	0,30	0,30	0,40	0,30	5,11	4,87
						5,58	5,04
125	129	0,30	0,40	0,40	0,30	5,43	4,91
						5,53	5,03
130	134	0,40	0,40	0,40	0,30	5,20	4,94
						5,69	5,04
134	136	0,40	0,40	0,40	0,40	5,33	4,95
						5,36	5,01
137	142	0,40	0,50	0,50	0,40	5,14	4,89
						5,23	5,00
143	147	0,50	0,50	0,50	0,50	5,14	4,91
						5,45	5,01
148	153	0,50	0,60	0,60	0,50	5,39	4,93
						5,77	5,03
154	155	0,60	0,60	0,60	0,60	5,46	5,00
						5,67	5,04
156	159	0,60	0,70	0,70	0,60	5,23	4,99
						5,57	5,03
160	163	0,70	0,70	0,70	0,70	5,35	5,04
						5,54	5,07
164	166	0,70	0,80	0,80	0,70	5,32	5,00
						5,49	5,03
167	169	0,80	0,80	0,80	0,80	5,28	4,97
						5,46	5,00
170	172	0,80	0,90	0,90	0,80	5,47	4,96
						5,76	5,00
173	176	0,90	0,90	0,90	0,90	5,34	4,94
						5,64	5,00
177	181	0,90	1,00	1,00	0,90	5,30	4,97
						5,87	5,00
182	185	1,00	1,00	1,00	1,00	5,37	4,99
						5,74	5,03
186	190	1,10	1,10	1,10	1,10	5,30	4,96
						5,66	5,02
191	195	1,20	1,20	1,20	1,20	5,62	4,94
						5,65	5,06
196	198	1,30	1,30	1,30	1,30	5,62	4,99
						5,73	5,01

lanjutan Tabel 7. Rekapitulasi Kebutuhan Pola Buka-an Pintu Bendung Gerak Tempe

Debit <i>Inflow</i>		Posisi Buka-an Pintu				Elevasi MA Hilir Danau Tempe (Hulu Sungai Menraleng)	Elevasi MA Bendung Gerak Tempe
dari	ke	1	2	3	4		
m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup> /det	m	m	m	m	masl	masl
199	202	1,40	1,40	1,40	1,40	5,59	4,97
						5,82	5,00
203	206	1,50	1,50	1,50	1,50	5,48	4,99
						6,16	5,06
207	209	1,80	1,80	1,80	1,80	5,42	4,97
						6,06	5,00
209	210	2,00	2,00	2,00	2,00	6,02	4,88
						6,04	5,00
211	218	2,40	2,40	2,40	2,40	5,59	4,91
						5,90	5,00
218	222	3,00	3,00	3,00	3,00	5,47	4,93
						5,83	5,00
222	224	4,00	4,00	4,00	4,00	5,41	4,94
						5,73	5,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 7 di atas untuk buka-an 2 pintu yaitu pintu no.2 dan no.3 tinggi buka-an 0,10 m. debit *inflow* 18 m<sup>3</sup>/detik menghasilkan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +4,48 m dan debit *inflow* 24 m<sup>3</sup>/detik menghasilkan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +5,07 m, sehingga debit *inflow* 18 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan 24 m<sup>3</sup>/detik untuk buka-an 2 pintu tinggi buka-an 0,10 m menghasilkan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) antara elevasi +4,48 m – +5,07 m.

Debit *inflow* 222 m<sup>3</sup>/detik – 224 m<sup>3</sup>/detik dengan buka-an 4 pintu tinggi buka-an 4 m (keempat pintu utama dibuka penuh) menghasilkan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) +5,73 m, ini berarti untuk debit 222 m<sup>3</sup>/detik – 224 m<sup>3</sup>/detik tidak memerlukan penutupan pintu utama untuk menaikkan elevasi muka air +5,00 m dikarenakan elevasi muka air di hilir Danau Tempe (hulu sungai Menraleng) di atas +5,00 m.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan analisa data dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan:

1. Berdasarkan hasil pengumpulan data dan hasil simulasi HEC-RAS diperoleh:
  - a. Sebelum dibangunnya Bendung Gerak Tempe, elevasi muka air Danau Tempe, pada bulan Mei sampai dengan bulan Agustus Tinggi Muka Air Danau Tempe berada di rentang 3,00 m – 5,50 m

(elevasi muka air +6,35 m – +8,85 m). Periode air rendah dari bulan September sampai dengan bulan Desember Tinggi Muka Air 0,35 m – 1,00 m (elevasi muka air +3,50 m – 4,35 m), sedangkan periode rerata air pada bulan Januari sampai dengan bulan April dengan Tinggi Muka Air berada di rentang 2,00 – 2,50 m (elevasi muka air +5,35 – +5,85 m).

- b. Setelah dibangunnya Bendung Gerak Tempe elevasi muka air Danau Tempe setelah beroperasi sejak tahun 2013 – tahun 2014, pada musim penghujan atau periode muka air tinggi, bulan Januari sampai dengan bulan Agustus elevasi muka air berada di rentang +5,30 m – +7,30 m, pada kondisi ini Bendung Gerak Tempe tidak beroperasi (pintu utama dan pintu Navigasi di buka penuh), sedangkan pada musim kemarau yaitu pada bulan September sampai dengan bulan Desember Pintu Utama Bendung Gerak Tempe ditutup untuk mempertahankan elevasi muka air Danau Tempe +5,00 m, tetapi target elevasi muka air Danau Tempe pada musim kemarau tidak tercapai masih berada pada elevasi +3,50 m – +4,50 m.
2. Berdasarkan hasil evaluasi dan simulasi pola operasi Bendung Gerak Tempe untuk mempertahankan elevasi muka air +5,00 m pada Danau Tempe pada musim penghujan dan musim kemarau adalah sebagai berikut:
  - a. Pada Musim Penghujan atau periode kelebihan air rata-rata yang terjadi pada bulan Januari sampai dengan bulan Agustus rata-rata muka air pada Danau Tempe adalah lebih tinggi dari elevasi +5,00 m. Pada Kondisi ini Pintu utama dan pintu navigasi dibuka penuh sehingga air banjir tidak membahayakan daerah hulu Bendung Gerak Tempe.
  - b. Pada Musim Kemarau yaitu pada bulan September sampai bulan Desember, rata-rata muka air di Danau Tempe adalah lebih rendah dari elevasi +5,00 m. sehingga muka air perlu dinaikkan dengan melakukan penutupan Pintu Utama maupun Pintu Navigasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Atas bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian jurnal ini, pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Very Dermawan, ST, MT sebagai Ketua Komisi Pembimbing.
2. Bapak Dian Sisingsih, ST, MT, Ph.D sebagai anggota Komisi Pembimbing.
3. Bapak Dr. Sumiadi, ST., MT dan Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST, MT sebagai dosen penguji yang memberikan masukan dan arahan.
4. Bapak Dr. Eng Donny Harisuseno, ST, MT sebagai reviewer Jurnal yang memberikan masukan dan arahan.
5. Rekan-rekan Magister Teknik Pengairan minat Manajemen Sumber Daya Air angkatan 2014 atas bantuannya baik suka maupun duka.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Review Masterplan Walanae Cenranae*, Makassar, Nippon Koei Co. Ltd
- Anonim1. 2009. *Manual O & P Bendung Gerak Tempe*, Makassar: CV. Indah Konsultan
- Anonim2. 2009. *Review Detail Desain Bendung Gerak Tempe*, Makassar. CV Indah Konsultan
- Anonim, 2010. *Hydraulic Reference Manual Version 4.1*. California: U.S. Army Corps of Engineering
- Anonim. 2012. *Test Model Hidrolik Bendung Gerak Tempe*, Makassar, PT. Brantas Abipraya – PT. Waskita Karya Kerja Sama Operasi (KSO)
- Chow, V.T. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Montarcih, Lily. 2010. *Hidrologi Praktis*, Lubuk Agung. Bandung.
- Istiarto. 2013. *Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS Jenjang Lanjut: Gates, Pump Station, and Storage Area*. Yogyakarta
- Sri Harto, BR. (2000). *Hidrologi: Teori, masalah, penyelesaian*. Nafiri Offset, Yogyakarta.