

Pengaruh Penambahan Tinggi Weir PLTA Sipansihaporas Unit #2 Terhadap KWh Produksi

Rasgianti^{*}, Benny Susanto

Bidang Riset & Teknologi Sistem Pembangunan & Energi,
PT. PLN (Persero) Pusat Penelitian & Pengembangan Ketenagalistrikan

*Corresponding author email: rasgianti1@pln.co.id

Abstrak

PLTA Sipansihaporas Unit #2 (17 MW) merupakan sistem kaskade dari Unit #1 (35 MW) dengan tipe *run of river*. Berdasarkan pengamatan, *inflow* air pada Unit #2 ini tidak jarang melebihi volume kapasitas bendung/*weir*. Oleh karena itu, dalam usaha meningkatkan pasokan energi listrik, limpasan air tersebut berpotensi dapat menambah jam operasional Unit #2 dengan meningkatkan daya tampung bendung melalui peninggian bendung/*weir*. Penelitian ini dimulai dengan studi meja terhadap data curah hujan, data PLTA, dan data lainnya. Data curah hujan yang digunakan adalah dari stasiun Pinangsori. Perhitungan debit andalan (*dependable discharge*) yang diambil sebesar 85% dengan menggunakan metoda J. F. Mock. Disamping itu, dilakukan pemetaan topografi secara langsung untuk mendapatkan kondisi area tampungan. Sedangkan untuk perencanaan penambahan tinggi *weir* diperoleh melalui perhitungan *routing*, dengan membandingkan aliran yang masuk dengan aliran keluar terhadap volume *weir*. Debit andalan yang diperoleh adalah sebesar 1.46 m³/det. Tinggi penambahan *weir* maksimum dapat dilakukan setinggi 5 m karena dibatasi oleh bentuk kontur area *weir* yang curam dan harus di bawah elevasi bangunan *Power House* Unit #1. Sehingga, didapatkan peningkatan waktu produksi menjadi 21,58 menit per hari, dengan lama pengisian waduk 10.28 jam.

Kata kunci : Debit-air, *run-of-river*, PLTA

Abstract

PLTA Sipansihaporas Unit # 2 (17 MW) is a cascade system from Unit # 1 (35 MW) with a *run of river* type. Based on observations, water *inflow* at Unit #2 often exceeds the volume capacity of the weir/*weir*. Therefore, to increase the supply of electrical energy, this water runoff could increase Unit #2 operational hours by increasing the weir capacity by raising the weir/*weir*. This research begins with a table study of rainfall, hydropower, and other data. The rainfall data used is from the Pinangsori station. The calculation of the dependable discharge is taken at 85% using the J. F. Mock. In addition, topographical mapping is carried out directly to obtain the condition of the storage area. As for planning to increase the height of the weir, it is conveyed through routing calculations by comparing the incoming and outgoing flows to the weir volume. The reliable discharge obtained is 1.46 m³/s. The maximum weir addition height can be as high as 5 m because it is limited by the steep contour shape of the weir area and must be below the elevation of the *Power House* Unit #1 building. Thus, the increasing of production time is obtained around 21.58 minutes per day, with a reservoir filling time of 10.28 hours.

Keywords: water-discharge, *run-of-river*, Hydroelectric-power

I. Pendahuluan

Penggunaan air sebagai pembangkit listrik (Erdas, 2015) telah melalui banyak perkembangan dalam beberapa tahun terakhir (Feng, 2018a). Bahkan PLTA dinyatakan teknologi paling *mature* dalam bidang energi (Manzano-Agugliaro, 2017). Selain itu, pembangkit listrik tenaga air skala kecil termasuk sistem *run-of-river*, merupakan salah satu alternatif energi kategori energi baru terbarukan yang dianggap paling berkelanjutan

(Zapata-Sierra, 2019) serta tergolong energi bersih dan *dependable* dalam sistem kelistrikan (Serpoush, 2017).

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan sistem kaskade dibangun untuk memaksimalkan potensi energi aliran air di sepanjang aliran sungai. PLTA kaskade bagian hilir dengan sistem *run off river* memanfaatkan air keluaran dari *outlet* Pembangkit dari hulu.

Pengaruh Penambahan Tinggi Weir PLTA Sipansihaporas Unit #2 Terhadap KWh Produksi



Gambar 1 Weir PLTA Unit #2 pada Saat adanya Limpasan Air

Gambar 1 adalah gambar bangunan *weir* dari PLTA Sipansihaporas Unit #2 (17 MW) merupakan *cascade* dari Unit #1 (35 MW) dengan tipe *run of river*. *Intake* Unit #2 yang dilengkapi bendung ini menyadap air di titik hilir *tailrace outlet* unit #1 bergabung dengan sungai Sipansihaporas. Berdasarkan pengamatan, tidak jarang terjadi debit sungai melebihi kapasitas *intake*, sehingga air terbuang mengalir melimpas bendung seperti pada Gambar 1, tanpa dapat dimanfaatkan potensinya. Sementara itu, dalam usaha meningkatkan pasokan energi listrik, limpasan yang terbuang tersebut berpotensi dapat dimanfaatkan untuk menambah produksi kWh dengan meningkatkan kapasitas tampung *storage* yang terbentuk pada bendung/*weir*, sehingga dapat meningkatkan durasi utilitas pembangkit. Peningkatan daya tampung ini, kemungkinan bisa didapatkan dengan usaha yang dilakukan dengan meninggikan elevasi puncak mercu bendung. Dengan adanya waduk yang memberi tampungan tambahan ini diharapkan dapat menambah jam operasional Unit #2.

Untuk itu perlu dilakukan kajian mengenai Unit #2 terhadap penambahan tinggi *weir* tersebut dengan melakukan analisa aliran dari daerah tangkapan hujan antara bendungan utama (Unit #1) dan *weir* (Unit #2) dan ditambah dengan aliran *spillway* dan *tailrace*.

II. Metode

Penelitian ini dimulai dengan studi meja terhadap data curah hujan dan data PLTA. Data curah hujan yang digunakan adalah dari stasiun Pinang Sori. Perhitungan debit andalan (*dependable discharge*) dari area DAS (Daerah

Aliran Sungai) diambil sebesar 85% dengan menggunakan metoda J. F. Mock. Disamping itu, dilakukan pemetaan topografi untuk mengetahui lebih detail mengenai kondisi area tampungan.

Metode J.F. Mock merupakan metode yang paling tepat untuk aplikasi umum. Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan jumlah air yang tersedia sebagai acuan desain rekayasa bangunan air dengan probabilitas kegagalan yang terukur. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr. F. J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran (Kesuma, 2013).

Sedangkan untuk perhitungan tampungan dilakukan pelacakan (*Routing*) aliran andalan yang melalui waduk menggunakan persamaan 1 berikut:

$$\left(\frac{2S_{t+\Delta t} + Q_{t+\Delta t}}{\Delta t} \right) = \left(\frac{2S_t + Q_t}{\Delta t} \right) + (I_{t+\Delta t} - I_t) \dots \text{Persamaan (1)}$$

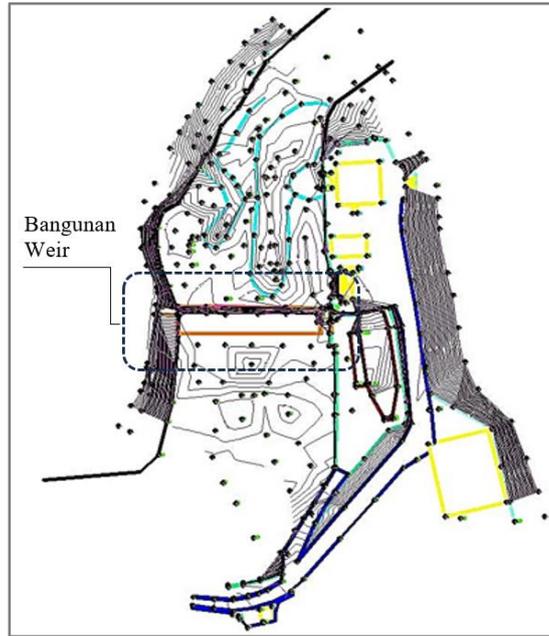
Dimana:

- I = Rata-rata debit yang masuk selama Δt
- Q = Debit yang keluar
- t = Waktu
- S_t = Simpanan pada saat t

III. Diskusi & Pembahasan

A. Pemetaan Topografi

Pemetaan topografi dimaksudkan untuk menghitung volume tampungan terhadap rencana peninggian *weir*.



Gambar 2 Topografi lokasi Tampungan Weir (Unit #2)

Dari Gambar 2 terlihat bahwa garis kontur di sekeliling area tampungan sangat rapat yang menandakan bahwa area tersebut dilingkupi oleh topografi yang curam.

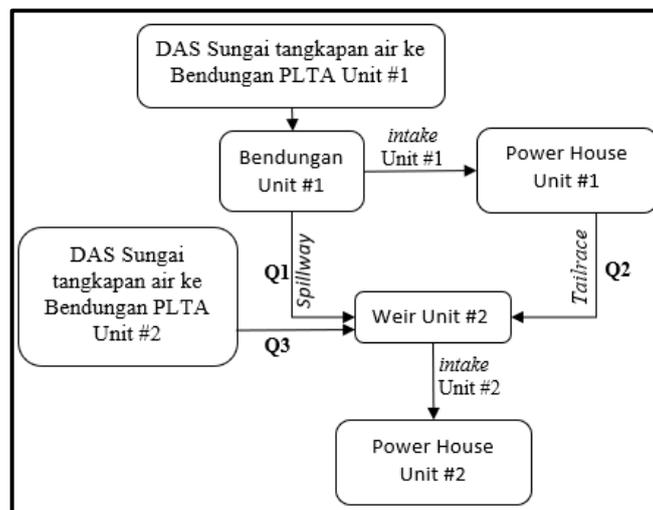
B. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Hujan yang jatuh pada suatu DAS akan berubah menjadi aliran di sungai. Dengan demikian terdapat suatu hubungan antara hujan dan debit aliran, yang tergantung pada karakteristik DAS. Untuk menentukan besarnya debit sungai berdasarkan hujan perlu di tinjau hubungan antara hujan dan aliran sungai. Besarnya aliran didalam sungai ditentukan terutama oleh besarnya hujan,

intensitas hujan, luas daerah hujan, lama waktu hujan, luas daerah sungai dan ciri-ciri daerah aliran (Subarkah, 1980).

Pasokan air untuk Unit #2 berasal dari 3 sumber (sesuai dengan Gambar 1), yaitu:

- Air limpasan (*spillway*) dari bendungan apabila terjadi kelebihan debit di Unit #1. Dinotasikan sebagai Q1.
- Air keluaran *tailrace* (*out flow*) dari *Power House* Unit #1, dalam hal ini dinotasikan sebagai Q2.
- Air dari DAS (Daerah Aliran Sungai) antara waduk dengan bendung/*weir* untuk Unit #2. Dinotasikan sebagai Q3.



Gambar 3 Alur Aliran Air pada PLTA

Pengaruh Penambahan Tinggi Weir PLTA Sipansihaporas Unit #2 Terhadap KWh Produksi

Berdasarkan keseimbangan neraca air, perhitungan debit andalan menggunakan persamaan (2) berikut:

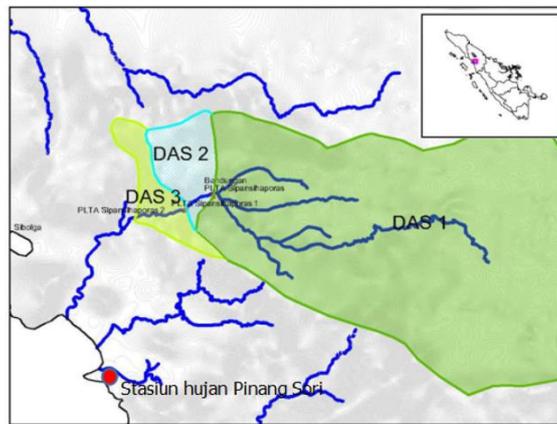
$$\text{Debit Andalan} = Q1 + Q2 + Q3 + (\text{Gain} - \text{Loss}) \quad (2)$$

Dimana $Q1$, $Q2$, dan $Q3$ sesuai dengan penjelasan notasi di atas, dengan besaran $Q3$ adalah $30 \text{ m}^3/\text{det}$, sedangkan jumlah *gain* dan *loss* dihitung dengan menggunakan metoda Mock.

Berdasarkan data operasional, sangat jarang sekali limpasan air dari bendungan Unit #1. Maka sumber air tambahan yang menjadi objek kajian adalah berasal dari Daerah Aliran Sungai antara bendungan dengan bendung/*weir*.

Data hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah data hujan harian Stasiun BMKG Pinangsori (1982-2016) dan data hujan harian

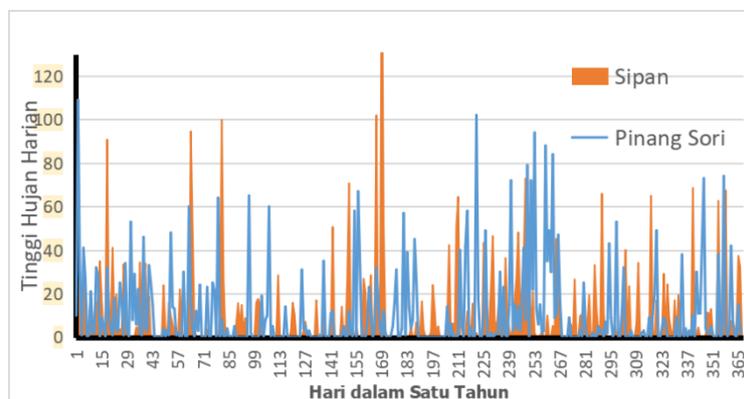
Stasiun Sipansihaporas (1994-1995). Stasiun Sipansihaporas berada di dalam Daerah Aliran Sungai (DAS), sedangkan Stasiun Pinangsori berada di luar DAS yang terlihat pada **Gambar 4**. Pada keadaan ideal perhitungan hidrologi akan menggunakan data hujan dan klimatologi yang berasal dari stasiun yang berada di dalam Daerah Aliran Sungai yang ditinjau, dalam hal ini DAS Sipansihaporas. Pada analisa hidrologi banyaknya seri data akan berpengaruh langsung pada kualitas hasil dan ketepatan analisa, sehingga dibutuhkan jumlah seri data yang cukup untuk melakukan Analisa hidrologi (Müller, 2016) (Jihad, 2018). Akan tetapi data Stasiun Sipansihaporas yang tersedia sangat terbatas.



Gambar 4 Daerah Aliran Sungai Sipansihaporas dan Posisi Stasiun Pinangsori

Berdasarkan wilayah daerah tangkapan air di sungai Sipansihaporas, stasiun hujan Pinangsori terletak di luar daerah tangkapan air sungai Sipansihaporas sehingga data hujan yang terekam di stasiun hujan Pinangsori tidak mengalir ke dalam sungai Sipansihaporas secara langsung.

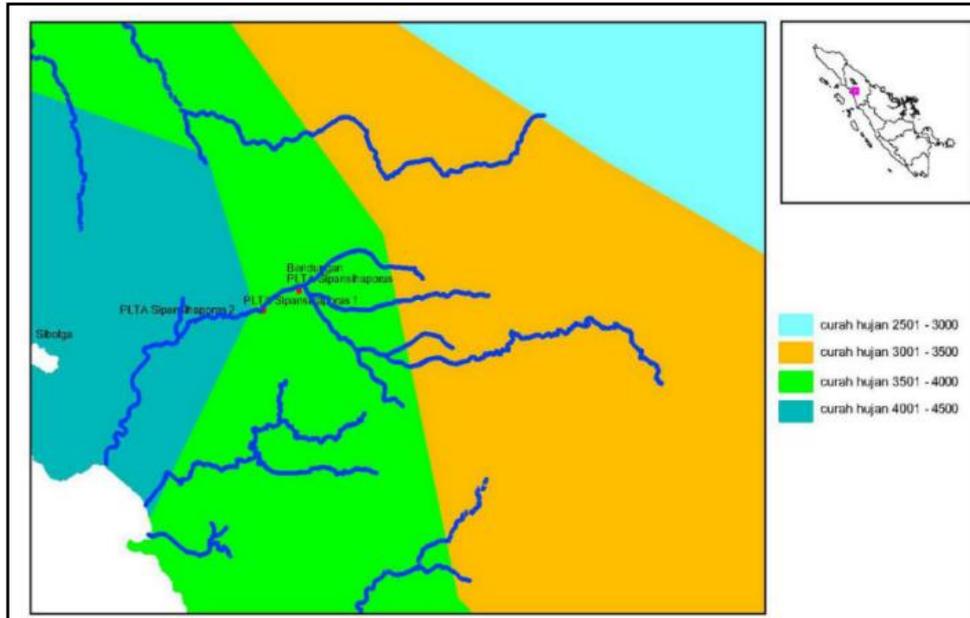
Berdasarkan rekaman data hujan di stasiun Pinangsori jika disandingkan dengan data hujan yang terekam di PLTA Sipansihaporas memperlihatkan pola yang cenderung sama seperti Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Perbandingan Tinggi Hujan Stasiun Sipansihaporas dan Pinangsori

Dari Gambar 5 terlihat Stasiun Pinangsori memiliki besaran distribusi hujan yang sama dengan di lokasi Stasiun Sipansihaporas, oleh karena itu selanjutnya dikarenakan data aliran yang

terekam sangat sedikit dan data hujan di PLTA Sipansihaporas tidak panjang maka digunakan data hujan stasiun Pinangsori.



Gambar 6 Pembagian Tinggi Hujan Berdasarkan Isohyet

Berdasarkan data isohyet hujan di daerah Sumatera Utara sesuai Gambar 6 dapat dilihat sebaran distribusi hujan di Sipansihaporas dan di stasiun hujan Pinangsori terletak pada warna diagram yang sama nilai besaran hujannya, dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa stasiun hujan Pinangsori memiliki besaran distribusi hujan yang sama dengan dilokasi PLTA Sipansihaporas,

oleh karena itu selanjutnya dikarenakan data aliran yang terekam sangat sedikit dan data hujan di PLTA Sipansihaporas tidak panjang maka digunakan data hujan stasiun Pinangsori. Berikut data hujan harian yang digunakan pada penyelidikan aliran andalan dan aliran banjir terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Hujan Maksimun Harian 1982-2016

Tahun (1982-1999)	Hujan Max Harian (l)	Tahun (2000-2016)	Hujan Max Harian (l)
1982	215	2000	330
1983	121	2001	175
1984	167	2002	269
1985	150	2003	199
1986	180	2004	126
1987	110	2005	211
1988	125	2006	153
1989	135	2007	424
1990	150	2008	162
1991	298	2009	172
1992	120	2010	171
1993	98	2011	269
1994	141	2012	229
1995	169	2013	176,1
1996	197	2014	229,5
1997	99	2015	181,1
1998	265	2016	189,5
1999	226		

Pengaruh Penambahan Tinggi Weir PLTA Sipansihaporas Unit #2 Terhadap KWh Produksi

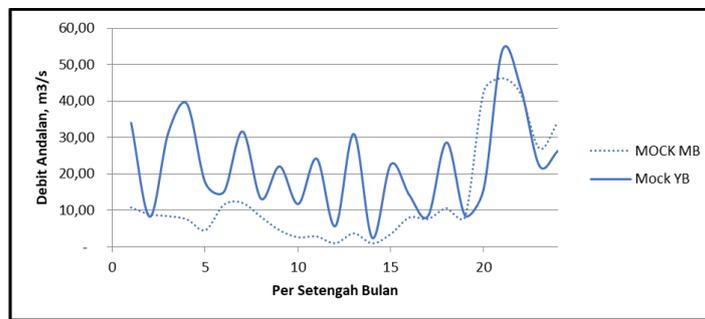
C. Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan risiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan proyek-proyek penyediaan air terlebih dahulu harus dicari debit andalan (*dependable discharge*), yang tujuannya adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai. Pada PLTA kemungkinan terpenuhi ditetapkan 85% (kemungkinan bahwa debit sungai lebih rendah dari debit andalan adalah 15%).

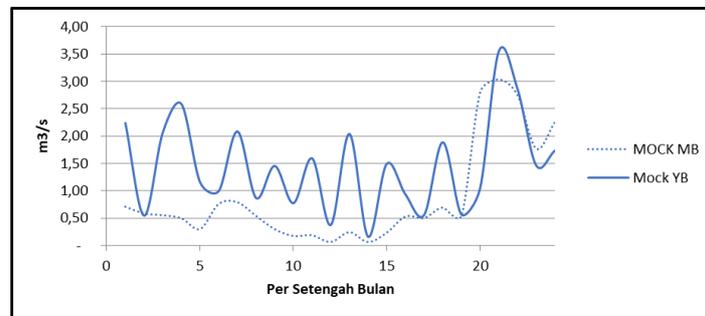
Debit andalan ditentukan untuk periode tengah-bulanan. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar data debit harian sungai agar analisis cukup tepat dan andal, catatan data yang diperlukan harus meliputi jangka waktu paling sedikit 10 tahun. Debit andalan dari

waktu ke waktu dapat mengalami penurunan seiring dengan fungsi daerah tangkapan air. Selain itu. Penurunan debit andalan juga bisa disebabkan oleh perubahan iklim (Immerzeel, 2010) dapat menyebabkan kinerja PLTA berkurang yang mengakibatkan tidak terpenuhinya kebutuhan listrik. Oleh karena itu telah dilakukan perhitungan kembali debit andalan pada kajian ini.

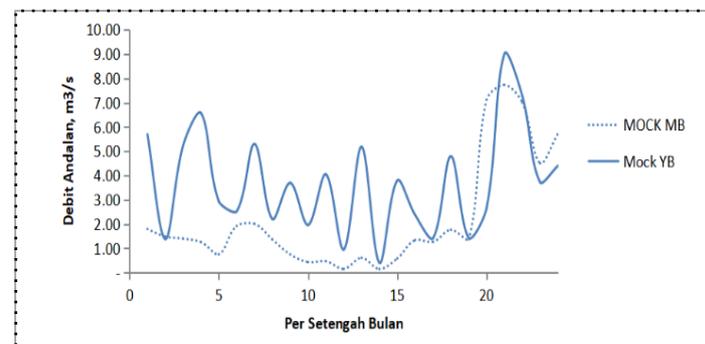
Pada perhitungan debit andalan menggunakan metode FJ Mock (*Water balance*) menggunakan pendekatan neraca air pada *Non-Ground Water Basin* karena jenis batuan pada daerah aliran sungai tersebut, dengan sistem perhitungan berdasarkan tahun (*Year Base, Mock YB*) dan berdasarkan bulan (*Month Base, Mock MB*).



Gambar 7 Grafik Debit Andalan DAS 1 (di atas Bendungan)



Gambar 8 Grafik Debit Andalan DAS 2



Gambar 9 Grafik debit Andalan DAS 3

Dari Gambar 7 perhitungan berdasarkan bulan terlihat nilai debit andalan DAS 1 hampir selalu di bawah nilai debit andalan berdasarkan tahun. rata-rata debit andalan 85% pada metode F. J. Mock berdasarkan tahun dan bulan secara berturut-turut adalah 22,19 m³/detik dan 13,22 m³/detik. Dengan menggunakan metode serupa dilakukan perhitungan debit andalan untuk DAS 2 dan DAS 3 yakni DAS yang berada di antara

bandungan - bendung/*weir* dan DAS di bawah bendung. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat bahwa debit andalan untuk DAS 2 dan DAS 3 jauh lebih kecil dari pada DAS 1 hal ini di sebabkan karena DAS 2 dan DAS 3 jauh lebih kecil yaitu 13,73 km² dan 34,93 km² dan jika dibandingkan dengan DAS 2 yang memiliki luas 208,9 km². Rata- rata debit andalan 85 % pada DAS 2 dan DAS 3 dapat diketahui pada Tabel 2.

Tabel 2 Rangkuman Rata-Rata Debit Andalan 85%

Metode		DAS 1	DAS 2	DAS 3
		m/s		
FJ Mock	Basis Tahun	22,19	1,46	3,71
	Basis Bulan	13,22	0,87	2,21

D. Pelacakan Aliran Andalan

Perhitungan *routing* berdasarkan pada prinsip kekekalan masa dan momentum, untuk mendapatkan kolerasi antara debit air yang ke

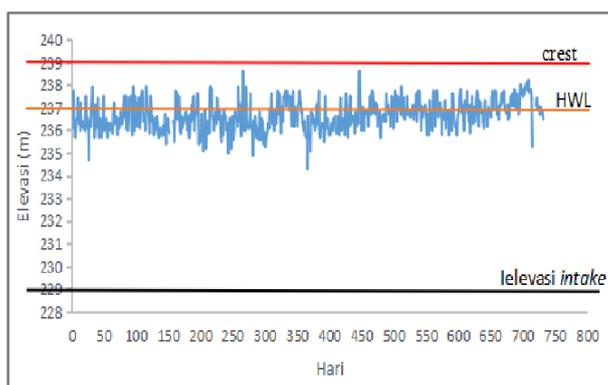
masuk kolam penampungan, perubahan level air di kolam penampungan/waduk, dan debit yang keluar dari waduk.

Tabel 3 Perbandingan Tampung terhadap Kedalaman Bendung

Elevasi (m)	Volume Tampung (m ³)
101,00	9711,68
101,50	11353,36
102,00	13703,56
102,50	17183,08
103,00	21508,1
103,50	26051,82
104,00	30063,48
104,50	32657,68
105,00	34196,81
105,50	35546,58
106,00	37019,52

Aliran andalan yang berasal dari DAS1 telah semuanya dimanfaatkan pada operasi PLTA 1 sehingga tidak ada air yang dilepas melalui pelimpah bendungan. Hal ini dibuktikan dengan hanya ada kurang dari 3 hari dalam setahun elevasi

muka air mencapai elevasi kritis (banjir) seperti pada Gambar 10 Sehingga dalam perhitungan ketersediaan air untuk PLTA 2, air yang melimpas dari bendungan tidak dapat diandalkan.



Gambar 10 Tinggi Muka Air Harian 2015-2016

Pengaruh Penambahan Tinggi Weir PLTA Sipansihaporas Unit #2 Terhadap KWh Produksi

Telah dilakukan juga perhitungan terhadap kedalaman bendung (yang sekaligus merupakan *intake Power House Unit #2*) dan tampungannya. Tabel 3 adalah perbandingan kedalaman bendung terhadap volume tampungannya. Setelah didapatkan data volume tampungan pada setiap elevasi bendung, dilakukan perhitungan lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengosongan dan pengisian tampungan tersebut

dengan *outflow* adalah debit operasi PLTA Unit #2 dan *inflow* adalah debit andalan DAS yang berada di antara bendungan dan bendung yaitu sebesar 1,46 m³/detik. Berdasarkan pada Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan tinggi bendung dari 101meter menjadi 106meter akan menaikkan waktu pengosongan dari 5,58 menit menjadi 21,28 menit.

Tabel 4 Perbandingan Kedalaman Terhadap Waktu Pengosongan dan Pengisian Bendung

Elevasi (m)	Waktu Pengosongan (menit)	Waktu Pengisian (jam)
101,00	5,58	2,7
101,50	6,52	3,15
102,00	7,88	3,81
102,50	9,88	4,77
103,00	12,36	5,97
103,50	14,97	7,24
104,00	17,28	8,35
104,50	18,77	9,07
105,00	19,65	9,5
105,50	20,43	9,87
106,00	21,28	10,28

IV. Kesimpulan

Debit andalan yang diperoleh untuk masuk menuju *weir* adalah sebesar 1.46 m³/det. Tinggi penambahan *weir* maksimum dapat dilakukan setinggi 5 m karena dibatasi oleh bentuk kontur area *weir* yang curam dan harus di bawah elevasi bangunan *Power House Unit #1*. Dengan penambahan ketinggian tersebut didapatkan waktu produksi meningkat menjadi 21,28 menit per hari, dengan lama pengisian waduk 10.28 jam.

V. Daftar Pustaka

- C. Erdas, P. F. (2015). Ecological footprint analysis based awareness creation for energy efficiency and climate change mitigation measures enhancing the environmental management system of Limassol port. *J. Clean. Prod.*
- Immerzeel, W. v. (2010). Climate change will affect the Asian water towers. *Science*.
- Jihad. (2018). *Prediksi Debit Andalan pada DAS Cisadane Hulu dengan Model Mock*. Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi Vol.17 No.1.
- Kesuma, R. P. (2013). *Aplikasi Metode Mock, Nreca, Tank Model dan Rainrun Di Bendung Trani, Wonotoro, Sundangan dan Walikan*. MATRIKS TEKNIK SIPIL. Vol. 1. No. 4. Hal 472 – 479.
- Manzano-Agugliaro, F., & al, e. (2017). An overview of research and energy evolution for small hydropower in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Müller, M. F. (2016). *Comparing statistical and process-based flow duration curve models in ungauged basins and changing rain regimes*. Hydrology and Earth System Sciences .
- Serpoush, B. K. (2017). Hydropower plant site spotting using geographic information system and a MATLAB based algorithm. *Journal of Cleaner Production*.
- Z.K. Feng, W. N. (2018a). Optimization of large-scale hydropower system peak operation with hybrid dynamic programming and domain knowledge. *J. Clean. Prod.*
- Zapata-Sierra, A. M.-A. (2019.). *Proposed methodology for evaluation of small hydropower sustainability in a Mediterranean climate*. *J. Clean.* 214, 717e72