

Pemantauan Elevasi Bendungan Bilibili Secara *Realtime* untuk Pencapaian Kinerja PLTA Bilibili

Mochamad Marte Ardianto^{1,*}

¹PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Makassar
*email: marte@pln.co.id

Abstract: *Bilibili Center of Electrical Power Service is a Hydroelectric Power Plant (HPP). The operation management of the HPP is based on regulation by the Public Works Agency (PWA) based on air quota that is invincible with elevation conditions. However, it was disturbed by the condition of the location and the mismatch of the accuracy of the elevation board readings at the dam outside the room. This causes the elevation board to experience corrosion, which makes the operator less accurate to read the dam elevation coupled with the bumpy air conditions and the road to a less safe location. Inaccurate elevation reading is a serious problem for Bilibili HPP as operator cannot negotiate additional water quota with PWA. To overcome the problems, a monitoring activity on the elevation for the movement of the elevation trend in the dam. This method is carried out with the Real Time system, simply by installing CCTV on the Elevation Reading Panel. By doing this method, operator can see the elevation trend in the dam and immediately coordinate with PWA to negotiate the use of water quotas, so that the benefits obtained by implementing this method are that the HPP operator immediately takes action by increasing the load on the generator and finally the Company's performance can be fulfilled.*

Keyword: *Elevation, Real Time Monitoring, Action, Company Performance Index*

Abstrak: Unit Layanan Pusat Listrik (ULPL) PLTA Bilibili merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air. Pola pengoperasian PLTA Bilibili diatur oleh Dinas PU berdasarkan kuota air yang disesuaikan dengan kondisi elevasi. Namun hal itu terganggu dengan kondisi lokasi dan ketidak akuratan pembacaan pada papan elevasi di bendungan yang berada di outdoor. Hal ini mengakibatkan papan elevasi mengalami korosi sehingga membuat operator kurang akurat untuk membaca elevasi bendungan ditambah lagi dengan kondisi air yang bergelombang serta jalanan ke lokasi yang kurang aman. Ketidak akuratan pembacaan elevasi bendungan oleh operator merupakan salah satu masalah yang perlu diantisipasi dalam penanggulangan, karena dengan ketidak akuratan pembacaan elevasi, PLTA Bilibili tidak bisa melakukan negosiasi penambahan kuota air dengan PU. Untuk mengatasi masalah yang terjadi yaitu dengan Pemantauan Elevasi untuk pemantauan pergerakan trend elevasi di bendungan. Metode ini dilakukan dengan sistem Real Time yaitu dengan pemasangan CCTV pada Panel pembacaan Elevasi. Dengan dilakukan metode tersebut, dapat mengetahui trend elevasi yang berada pada bendungan dan segera melakukan koordinasi dengan PU untuk negosiasi penggunaan kuota air, sehingga manfaat yang didapat dengan penerapan metode ini yaitu operator PLTA segera ambil tindakan (action) dengan menaikkan beban pembangkit sehingga kinerja Perusahaan dapat terpenuhi.

Kata Kunci: Elevasi, Pemantauan Real Time, Action, Kinerja Perusahaan

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan pasokan energi listrik di masa sekarang ini telah mengalami peningkatan yang sangat signifikan seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang juga meningkat. Hal ini disebabkan karena meningkatnya dan tersebarnya populasi penduduk serta dan bertambah majunya sektor industri, dimana total kebutuhan listrik di Indonesia selama kurun waktu 17 tahun (2003 s.d. 2020) diperkirakan tumbuh sebesar 6,5% per tahun dari 91,72 TWh pada tahun 2002 menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020 [1]. Sedangkan berdasarkan dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (PERSERO) 2015 – 2024. Kebutuhan energi listrik pada tahun 2024 akan menjadi 464 TWh, atau tumbuh rata-rata dari tahun 2015 – 2024 sebesar 8,7% dan jumlah pelanggan pada tahun 2014 sebesar 57,3 juta akan bertambah menjadi 78,4 juta pada tahun 2024 atau bertambah rata-rata 2,2 juta pertahun. Sehingga untuk memenuhi lonjakan kebutuhan akan tenaga listrik diperlukan penambahan serta pengembangan pembangkit khususnya jenis pembangkit dengan sumber Energi Baru dan Terbarukan

(EBT). Dimana salah satunya adalah tenaga air, karena menurut Hydro Power Potential Study (HPPS) pada tahun 1983 potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75.000 MW.

Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit yang mengubah energy listrik (dari Waduk atau air terjun) menjadi energy mekanik (dengan bantuaturbin air) kemudian dari energy mekanik tersebut dikonversi menjadi energy listrik (dengan bantuan generator). Pusat listrik ini biasanya disatukan dengan Waduk/Bendungan yang digunakan untuk pertanian dan penanggulangan banjir. Seperti halnya pada PLTA Bilibili, dimanapinsip pengoperasiannya berdasarkan penentuan kuota air yang disesuaikan dengan volume dan elevasi Waduk Serbaguna Bilibili dan kebutuhan air di hilir yang digunakan untuk kebutuhan PDAM, Irigasi dan Industri perikanan serta pariwisata. Kuota air dan pengaturannya sepenuhnya menjadi wewenang dari Dinas PU sebagai pengelola Waduk Bilibili. Sehingga hal ini menyebabkan pengoperasian PLTA Bilibili sendiri sangat dipengaruhi oleh Rencana Operasi dari dinas PU sebagai pengelola Waduk Serbaguna Bilibili yang dibuat setiap tahunnya. Yang tentunya hal ini berdampak langsung pada rencana serta optimalisasi pengoperasian pada PLTA Bilibili. Unit Layanan Pusat Listrik Bilibili merupakan pembangkit listrik yang dimiliki PLN, yang berada di kawasan Bendungan Bilibili.

Bendungan Bilibili adalah bendungan multifungsi yang berada pada otoritas pengelolaan dari Dinas PU (Pekerja Umum). Bendungan tersebut berfungsi sebagai pengendali banjir, irigasi pertanian, dan industry serta pembangkitan [2]. Salah satu permasalahan yang di PLTA Bilibili adalah terganggunya proses pemantauan elevasi di bendungan yang disebabkan papan pembacaan elevasi yang sering tidak terbaca dan kondisi lokasi yang rawan dan jauh dari power house. Hal ini mengakibatkan terjadinya ketidakakuratan pembacaan elevasi karena papan elevasi mengalami korosi/rusak serta kondisi air yang bergelombang di papan elevasi bendungan. Berdasarkan permasalahan ketidak akuratan pembacaan elevasi di bendungan, maka operator yang bertugas tidak dapat melakukan action untuk menaikkan beban.

A) Pembangkit Listrik Tenaga Air

Aliran sungai dengan jumlah debit air sedemikian besar ditampung dalam waduk yang ditunjang dalam bentuk bangunan bendungan. Air tersebut kemudian dialirkan melalui saringan/filter menuju ke Power Intake. Kemudian masuk ke dalam pipa pesat atau sering dikenal Penstock. Untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, pada ujung pipa Penstock tersebut dipasang Main Inlet Valve. Untuk mengalirkan air ke Turbin, katup utama akan ditutup secara otomatis apabila terjadi gangguan atau di stop atau dilakukan perbaikan/pemeliharaan turbin. Air yang telah mempunyai tekanan dan kecepatan tinggi (energi kinetik) diubah menjadi energi mekanik dengan dialirkan melalui sirip – sirip pengarah (sudu tetap) yang akan mendorong sudu-sudu Runner pada turbin. Pada turbin, gaya jatuh air yang mendorong baling – baling menyebabkan turbin berputar, turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling – baling digantikan air untuk memutar turbin. Selanjutnya turbin mengubah energi kinetik yang disebabkan oleh gaya jatuh air menjadi energi mekanik. Generator dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling – baling turbin berputar maka generator ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik. listrik pada generator terjadi karena kumparan tembaga yang diberi inti besi digerakkan (diputar) dekat magnet. bolak-baliknya kutub magnet akan menggerakkan elektron pada kumparan tembaga sehingga pada ujung-ujung kawat tembaga akan keluar listriknya. Yang kemudian menghasilkan tenaga listrik.

Air yang keluar melalui Tail Racedan selanjutnya akan dialirkan kembali mengarah ke sungai. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator masih rendah, maka dari itu tegangan tersebut terlebih dahulu dinaikkan dengan Trafo utama. Untuk efisiensi penyaluran energi dari pembangkit ke pusat beban, tegangan tinggi tersebut kemudian diatur/dibagi di Switchyard. Dan selanjutnya disalurkan/interkoneksi ke sistem tenaga listrik melalui kawat saluran tegangan tinggi.

B) Data-data Teknis PLTA Bilibili

PLTA Bilibili memiliki kapasitas total sebesar 20 MW dan terdiri dari 2 buah turbin dengan

kapasitas 6,0 MW dan 14,1 MW. PLTA Bilibili merupakan salah satu pembangkit yang dikelola oleh PLN Sektor Pembangkitan Bilibili yang beroperasi sejak tahun 2005. PLTA Bilibili memiliki 2 Unit turbin dan generator.

Tabel 1. Spesifikasi dan data teknis peralatan di PLTA Bilibili:

NO	NAMA PERALATAN	SPESIFIKASI	NILAI		SATUAN	
			HU#1	HU#2		
1.	GENERATOR	Power Output	6.600	16.100	kVA	
		Rated Voltage	6.000	6.600	V	
		Rated Current	595	1.408	A	
		Rated Speed	500	375	min ⁻¹	
		Frequency	50	50	-	
		Power Factor	0,85	0,85	-	
		Phase	3	3	-	
		Type	TAKL	TAKL	-	
		Pole	12	16	-	
		Insulation Class	F	F	-	
		Excitation Voltage	65	115	V	
		Cooling	IC21	IC21	-	
		Ambient Temp.	30	30	°C	
		Field Ampere	620	640	A	
2.	WATER TURBIN	Type	Vertical Shaft Kaplan Turbine			
		Net Head	Maximum	50,7	49,49	M
			Normal	47,21	48,01	M
			Minimum	22,13	22,43	M
		Output	Maximum	6.000	14.100	kW
			Normal	5.600	13.700	kW
			Minimum	980	3.000	kW
		Discharge	Maximum	12,8	30,7	m ³ /s
			Normal	2,8	30,7	m ³ /s
			Minimum	6,1	16,1	m ³ /s
		Rated Speed		500	375	m ⁻¹
		Runaway Speed		1280	970	m ⁻¹
		Spesific Speed		302,4 at(48,01m)	347,3 at(48,01 m)	m ⁻¹
		Water Thrust		60	125	Ton
Weightor Rotation Parts		5,3	10,2	Ton		
3.	MAIN TRANSFORMATOR	Type	3 Phase, Oil Immersed			
		Serial Number	P07EC34 5	P16EC34 4		
		Rated Power (HV/LV)	6,8/6,8	16,1/16,1	kV	
		Rated Voltage (HV/LV)	20/6,6	24/7,2	kV	
		System Highest Voltage	2,4/7,2	2,4/7,2	kV	
		Impedance Voltage	5	5	%	
		Standards of Reference	IEC60076	IEC6007 6	-	
		Frequency	50	50	Hz	
Type of Cooling	ONAN	ONAN	-			

		Vector Group	YNd1	YNd1	-
		Temperatur Rise			
		Top Oil	60	60	°C
		Winding	65	65	°C
		Type of Oil	Mineral Oil	Mineral Oil	-
		Manufacture	UNINDO 2004		-
4.	INLET VALVE	Type	ThroughFlow		
		Diameter	1970	2810	mm
		Flow	13,2	31,6	m ³ /s
		DesignPressure	0,85	0,86	Mpa
		Diameter of Servomotor	220	290	mm

C) Deskripsi Waduk Bilibili

Waduk Bilibili adalah waduk serbaguna yang dibangun pada Sungai Jeneberang yang terletak di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Sedangkan bendungan Bilibili sendiri merupakan bendungan jenis urugan batu, dengan data- data sebagai berikut:

1.	Catchments Area	:	384,4 km ²
2.	Design Flood Water Level	:	EL. 103 m
3.	High Water Level	:	EL. 101,6 m
4.	Normal Water Level	:	EL. 99,5 m
5.	Minimum Water Level	:	EL. 72,0 m
6.	Low Water Level	:	EL. 65,0 m
7.	Effective Drawdown	:	36,6 m
8.	Reservoir Area	:	18,5 m ² St EL. 101,6 m
9.	Total Reservoir Capacity	:	375.000.000 m ³
10.	Effective Storage	:	346.000.000 m ³ (305 x 10 ⁶ m ³ for Water Utilization) (46 x 10 ⁶ m ³ for Flood Control)

Rencana Operasi Tahunan yang telah disusun telah memperhatikan elevasi Waduk sebagai upaya menjaga kontinuitas penyediaan air di bagian hilir yang terdiri dari 3 Sektor pemakai air yaitu Irigasi, Perkotaan dan Industri (BBWS Pompengan-Jeneberang 2009). Pola operasi yang eksisting harus memperhatikan pusat pembangkit listrik sehingga produksi energi listrik yang dihasilkan harus sesuai dengan kebutuhan dan bisa diserap oleh konsumen [3].

D) Close Circuit Television

Closed Circuit Television (CCTV) adalah Kamera video yang mengirimkan sinyal kesebuah tempat tertentu pada perangkat seperti monitor. Berbeda dengan siaran televisi, di CCTV sinyal tidak dilakukan secara terbuka meskipun dapat memungkinkan dengan *point to point (P2P)*, *point tomultipoint*, atau mesh link nirkabel.

II. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang dilakukan adalah:

A) Tempat dan Waktu Penelitian

Metode Pengambilan data penelitian ini berlokasi di PLTA Bilibili. Data diperoleh dari data pencatatan harian, laporan Bulanan dan laporan Perusahaan. Pengambilan data penelitian ini

dilakukan secara realtime pada data bendungan PLTA Bilibili mulai Januari sampai dengan Juni tahun 2015 yang diambil persetiap satu jam sekali pada bendungan yaitu data elevasi bendungan, kuota pemakaian air yang disalurkan dari Waduk Bilibili.

B) Parameter yang digunakan dalam penelitian

Parameter yang digunakan untuk Pengambilan data secara real time setiap satu jam sekali pada bendungan yaitu data elevasi bendungan, kuota pemakaian air, beban pembangkit.

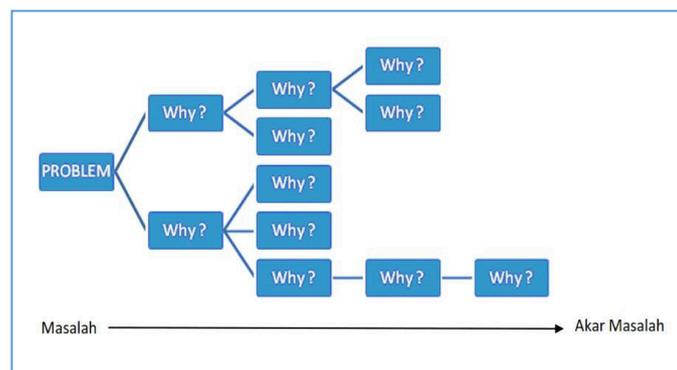
C) Teknik pengumpulan data

Proses pengambil data pada penelitian dilakukan setelah mendapatkan izin dari manajer unit PLTA Bilibili. Pengambilan data didapatkan dari bagian operasi. Data-data pencatatan ruang kontrol PLTA Bilibili, dalam bentuk data rekam digital dan data cetak rekaman dalam kurun waktu 6 bulan. Setelah mendapatkan data rekam kemudian dilakukan seleksi data yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A) Root Cause Problem Solving

RCPS merupakan salah satu alat inisiatif pemecahan masalah dengan mengidentifikasi akar permasalahan yang dapat mengakibatkan kegagalan berulang hingga didapatkan langkah perbaikan yang tepat sasaran. Tahapan RCPS ada 4 yaitu mendefinisikan masalah, menstrukturkan masalah, memprioritaskan masalah dan merencanakan tindakan.



Gambar 2. Diagram Metode RCPS

Dengan metode RCPS ini maka akar permasalahan dari pemantauan elevasi bendungan bilibili antara lain peralatan komunikasi terbatas, infrastruktur komunikasi bermasalah, sumber daya operator terbatas, indikator pengukuran eksisting yang tidak layak pakai, pemantauan tidak *realtime* dan potensi bahaya yang cukup besar.

B) Failure Defense Task

FDT merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan solusi terbaik hasil investigasi dari analisa RCPS dengan mempertimbangkan tingkat kesulitan dan dampak yang didapatkan. Metode ini menggunakan matrik prioritas dalam pelaksanaan pemeringkatan solusi terbaik.

Pada permasalahan ini telah didapatkan tiga solusi antara lain penyediaan radio HT untuk komunikasi PH ke DCC, penyediaan HP untuk menghubungi petugas DCC dan pemasangan IP camera berbasis wireless. Dengan menggunakan matrik prioritas, maka FDT yang sangat efektif untuk dilaksanakan yaitu pemasangan IP camera berbasis *wireless*.

C) Perancangan Hardware

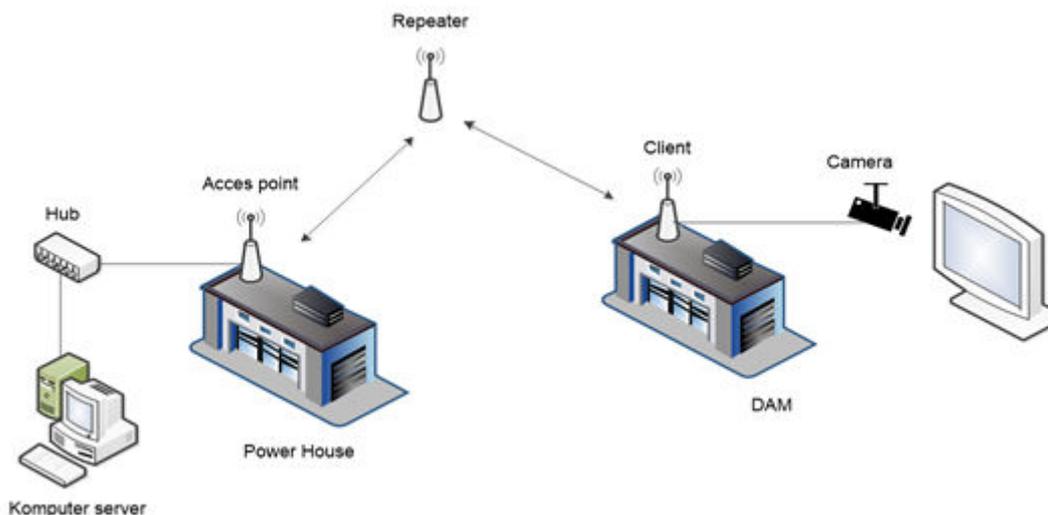
Pemantauan kondisi elevasi bendungan awalnya dilakukan dengan sistem patrol chek yang

dilakukan oleh operator yang bertugas. Patrol cek bertujuan untuk melakukan pemantauan kondisi elevasi bendungan, pemantauan elevasi dilakukan hanya 2 kali dalam satu hari. Sistem pemantauan sangat tidak efektif terhadap perubahan elevasi di bendungan. Perubahan elevasi sangat menentukan dalam pengoperasian pembangkit, ketika terjadi kenaikan atau penurunan elevasi dapat ditentukan koutapemakaian air untuk mengoptimalkan pengoperasian unit.



Gambar 4. (a) Petugas Patrol Cek (b) Papan Pembacaan Elevasi Bendungan

Gambar 4 menjelaskan bahwa sistem monitoring harus dilakukan secara *realtime* sehingga diperlukan pemasangan instalasi jaringan yang menggunakan *repeater* sebagai penerus sinyal *access point*, sehingga sinyal dapat diterima dengan baik pada alat. Pemilihan instalasi jaringan menggunakan *repeater* lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan model PTP (*Point to Point*).

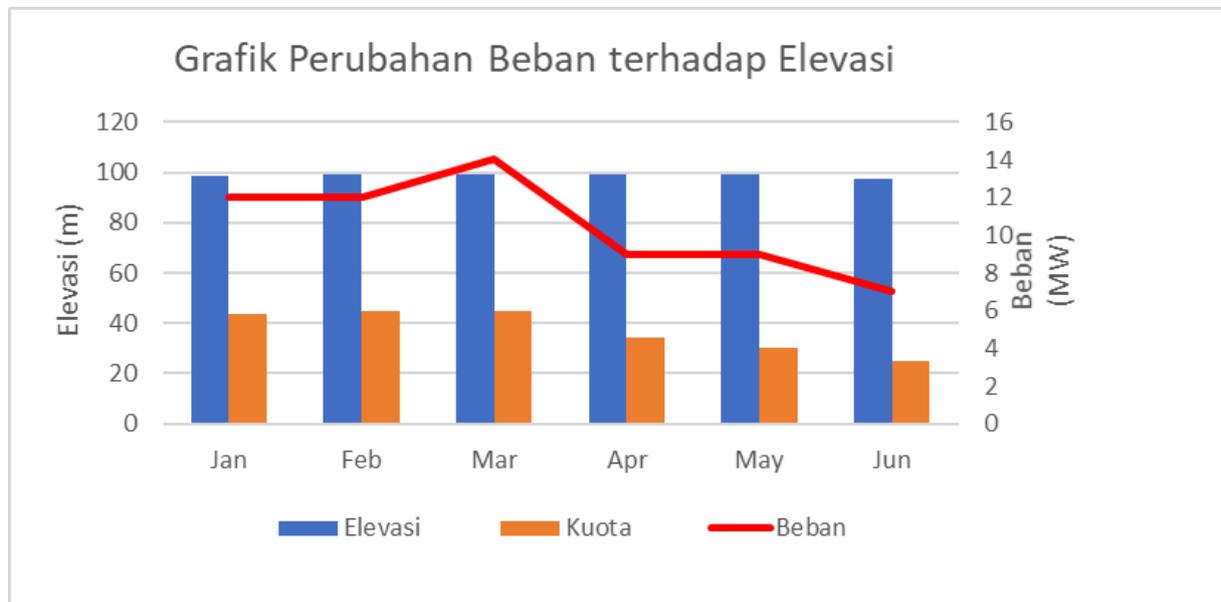


Gambar 3. Struktur Jaringan *Wireless*

D) Evaluasi Monitoring Elevasi Bendungan

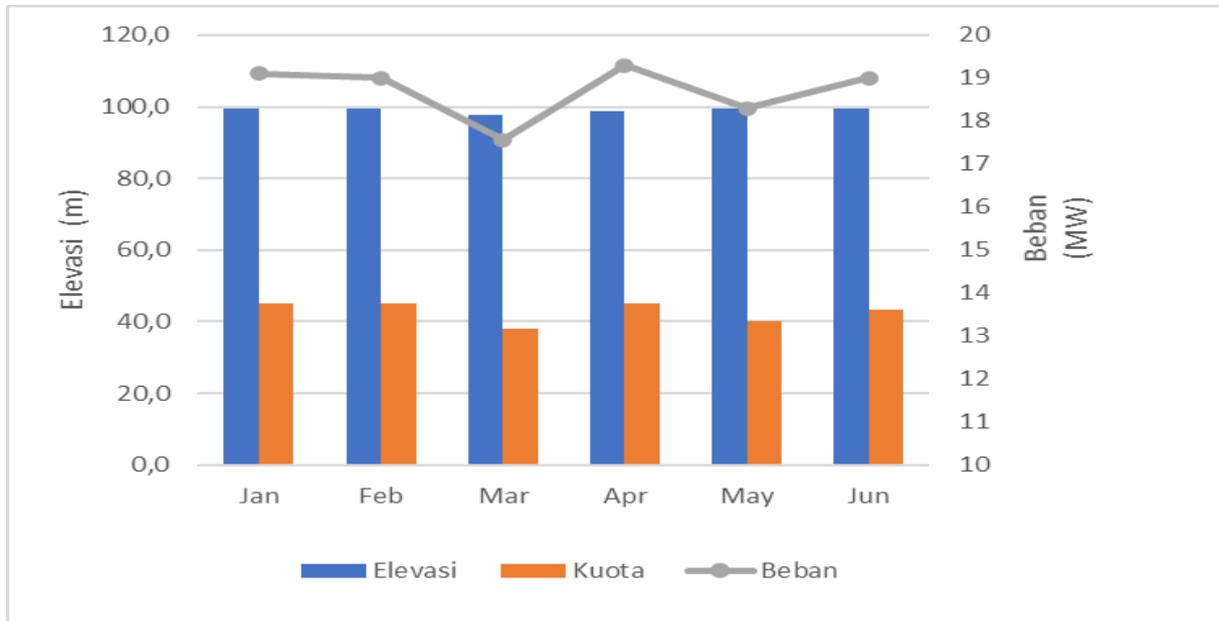
Pola pengoperasian turbin serta pencapaian kinerja pembangkit merupakan program yang selalu sejalan di suatu sistim pembangkit, seperti halnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), namun dengan kondisi pembatasan kuota pemakaian air dari pihak pengelola Waduk/Bendungan yang mempunyai tipe multipurpose, menjadi salah satu kendala dalam mencapai hal tersebut. Sehingga

dibutuhkan suatu pola operasi yang dapat mendukung pengoptimalisasi pengoperasian. Elevasi Reservoir dibatasi diantara nilai minimal dan maksimal yang diperbolehkan, nilai elevasi maksimal terkait dengan kapasitas maksimum air yang dapat ditampung sedangkan elevasi minimal dibatasi terkait operasi PLTA agar tetap stabil [4]. Penetapan kuota untuk PLTA Bilibili sesuai dengan perhitungan kebutuhan air di sector hilir yaitu, Irigasi, PDAM dan Industri serta atas dasar kondisi elevasi Waduk Bilibili. Sehingga hubungan antara kuota untuk PLTA Bilibili dengan elevasi Waduk sendiri adalah berbanding lurus. Kuota pemakaian air yang disalurkan dari Waduk Bilibili ke PLTA kemudian akan dibagi untuk pengoperasian masing-masing unit, yang mengacu kepada batas minimum debit air pemakaian air setiap unit. Dengan adanya batasan tersebut, maka dibuatlah pola operasi unit pembangkit berdasarkan kuota pemakaian air yang diberikan dari Waduk Bilibili. Sebelum dilakukan pemasangan *wireless camera*, operator pembangkit berkomunikasi dengan operator DCC melalui telepon PLC atau melakukan pemantauan langsung ke papan elevasi yang berada di intake gate. Pemantauan elevasi dilakukan dua kali dalam satu hari yaitu pada pukul 07.00 dan 16.00, karena pada jam tersebut operator yang berganti shift yang bertugas untuk melihat elevasi [5].



Gambar 5. Grafik Perubahan Beban Terhadap Elevasi.

Berdasarkan Gambar 5 perubahan elevasi tidak berbanding lurus dengan kuota pemakaian air dan beban, hal tersebut disebabkan karena pemantauan elevasi tidak secara *real time*. Perubahan elevasi seharusnya berbanding lurus dengan kuota dan beban pembangkit. Pengoperasian pembangkit Unit 1 discharge range 6,1 m³/s – 12,8 m³/s, sedangkan Unit 2 dengan discharge range 16,1 m³/s – 31,6 m³/s. Setelah dilakukan pemasangan *wireless camera*, operator pembangkit melakukan pemantauan data elevasi *real time* 24 jam. Adapun *inflow* air bisa diketahui secepatnya, sehingga permintaan *discharge* bisa di perkirakan dengan cepat.



Gambar 6. Grafik Perubahan Beban terhadap Elevasi.

Berdasarkan Gambar 6 perubahan elevasi berbanding lurus dengan kuota pemakaian air dan beban, hal tersebut disebabkan karena pemantauan elevasi secara *real time*. Perubahan elevasi cepat diketahui sehingga apabila ada kenaikan atau penurunan elevasi pada bendungan operator yang bertugas menginformasikan kepada petugas PU untuk mengoptimalkan pengoperasian pembangkit.

E) Pengoperasian PLTA Bilibili terhadap Perubahan Elevasi dan Kuota

Upaya optimalisasi pengoperasian terhadap perubahan elevasi secara *real time* dan kuota air yang telah ditetapkan oleh sebelumnya, salah satunya adalah dengan pengaturan Discharge atau pemakaian air antara unit 1 dan 2 berdasarkan kondisi elevasi dan kuota. Sesuai dengan spesifikasi turbin unit 1 dan 2 dimana memiliki discharge range yang berbeda. Unit 1 discharge range 6,1 m³/s – 12,8 m³/s, sedangkan Unit 2 dengan discharge range 16,1 m³/s – 31,6 m³/s. Pada pola optimasi dengan pengaturan discharge, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Pengoperasian unit dengan mode Automatic Flow Regulator (AFR) NO USE atau pengoperasian tanpa pengaturan secara otomatis terhadap kuota air. Karena pada pengoperasian dengan mode AFR USE dengan sistem computerized, operator cukup memasukkan nilai kubikasi dari kuota air yang diberikan maka masing-masing unit pembangkitan menyesuaikan tingkat pembebanan.
2. Pengoperasian AFR NO USE dilakukan pada saat kuota air yang diberikan mencukupi untuk pengoperasian unit 1 dan 2 secara bersamaan yaitu kuota air pada range 30 m³/s - 45 m³/s. Karena pada saat kuota air berada dibawah angka tersebut unit yang akan dioperasikan hanya 1 (satu) unit saja.
3. Dengan pengoperasian AFR NO USE, pengaturan beban melalui pengaturan bukaan Guide Vane dan Runner Blade dapat dilakukan secara local operation atau dapat diatur sendiri oleh operator. Sehingga pengaturan discharge atau pemakaian air masing-masing unit dapat dilakukan berdasarkan kondisi elevasi dan kuota.

F) Manfaat Non Finansial

Secara non finansial, implementasi wireless camera di bendungan bilibili dapat memberikan manfaat sebagai berikut : menurunkan potensi bahaya saat pemantauan elevasi, pegerjaan peralatan singkat, pengambilan keputusan terkait pola pengoperasian PLTA dapat lebih cepat, pemantauan elevasi bendungan realtime, pelaporan monitoring kondisi elevasi bednungan dapat setiap saat.

G) Manfaat terhadap KPI Korporat

Secara kinerja, implementasi wireless camera di bendungan bilibili dapat memberikan manfaat sebagai berikut : menunjang ketercapaian nilai KPI K4 ULPL Bilibili dan mampu menunjang peningkatan produksi melalui pemanfaatan air secara optimal.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini penulis dapat menarik beberapa kesimpulan menyangkut pengaruh pemasangan *wireless camera* pada di PLTA Bilibili, yaitu sebagai berikut;

- a. Sistem monitoring elevasi bendungan menggunakan CCTV mampu memberikan informasi perubahan elevasi bendungan secara realtime.
- b. Pola optimasi pengoperasian PLTA Bili-Bili dengan pengaturan discharge, kuota air yang diberikan dapat dimanfaatkan secara optimal sesuai dengan karakteristik unit turbin, sehingga dari sisi elevasi bendungan juga dapat terus terjaga.
- c. Mampu meningkatkan produktivitas energi listrik dengan pengoperasian pembangkit yang optimal.
- d. Rencana Operasi Tahunan yang disusun telah memperhatikan elevasi Waduk sebagai upaya menjaga kontinuitas penyediaan air di bagian hilir yang terdiri dari 3 Sektor pemakai air yaitu Irigasi, PDAM/Perkotaan dan Industri
- e. Menghemat anggaran operasional dan pemeliharaan sebesar 95,44% secara eventual.
- f. Menunjang ketercapaian KPI K3 ULPL karena mampu menurunkan potensi bahaya saat pemantauan elevasi bendungan.
- g. Untuk menjaga kontinuitas penyediaan air dari sisi hulu, maka perlu ditingkatkan pengawasan akan kondisi DAS dari sungai-sungai masuk ke Waduk Bilibili serta kebersihan dan pengelolaan sedimentasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muchlis M. 2013 . *Proyeksi Kebutuhan Listrik Pln Tahun 2003 S.D 2020* (Online), http://www.geocities.ws/markal_bppt/publish/slistrk/slktpe.pdf. Diakses tanggal 28 Oktober 2020.
- [2] Manual Book Toshiba Corporation, "As Built PLTA Bilibili", Japan, 2005.
- [3] Guanwan Gusta dan Alek Kurniawandi. 2010. Penerapan Teknik Optimasi dan Simulasi dalam Penyusunan Pola Operasi Waduk untuk Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik. Makalah. Pekanbaru: Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR.
- [4] Winasis, Hari Prasetijo dan GiriAngga Setia. 2014. Optimalisasi Jangka Menengah PLTA Memperhatikan Ketersediaan Air Menggunakan Linier Programming. Jurnal JNTETI, Vol.03, No.2. 2014
- [5] PT PLN (Persero). 2014. Pusat Pendidikan dan pelatihan pusat listrik tenaga air (PLTA). Pusdiklat : Jakarta.