

PENGARUH PERUBAHAN ELEVASI (HEAD) DAN KUOTA PEMAKAIAN AIR DAM BILIBILI TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN AIR PADA PLTA BILIBILI

La Ode Musa, Abdul Rahman¹⁾, Andi Ardiansyah, Hairuddin²⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja Turbin Air PLTA Bilibili dengan indikator yaitu Efisiensi dan *Capacity Factor* (CF). Metode yang digunakan adalah pengambilan data Kuota air atau debit (Q), *Head* (H) dan Daya keluaran Generator kemudian dilakukan analisa data. Periode pengambilan data dari bulan Juni 2014 sampai dengan Juni 2015. Selama periode pengambilan data, debit tertinggi 45 m³/s dan terendah 6,4 m³/s sedangkan nilai elevasi tertinggi 99,4 mdpl dan terendah 85,8 mdpl. Efisiensi Turbin #1 berada diantara 0,669% sampai dengan 0,881% dan untuk #2 diantara 0,678% sampai dengan 0,916%. Indikator *Capacity Factor*, #1 berada pada nilai 6,8% sampai dengan 98% dan #2 berada pada nilai 7,7% sampai dengan 100%. *Capacity Factor* untuk PLTA Bilibili secara kumulatif adalah 53,81%. Sehingga adanya batasan operasional yaitu penentuan kuota pemakaian air untuk PLTA Bilibili, berdampak pada unjuk kerja Turbin khususnya untuk efisiensi Turbin.

Kata Kunci: PLTA, Kuota pemakaian air, Efisiensi Turbin, *Capacity Factor*.

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 (*Muchlis M, 2013*). 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 energi listrik (dari Waduk atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) kemudian dari energi mekanik tersebut dikonversi menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Pusat listrik ini biasanya disatukan dengan Waduk/Bendungan yang digunakan untuk pertanian dan penanggulangan banjir.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Seperti halnya pada PLTA Bilibili, dimana prinsip 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 Turbin Air pada PLTA Bilibili. Oleh karena itu sangat penting mengevaluasi unjuk kerja dan pola pengoperasian Turbin Air PLTA Bilibili berdasarkan perubahan penentuan pemakaian kuota air dari Waduk Bilibili.

A. Prinsip Kerja PLTA

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 Race* dan 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. Peralatan Utama PLTA

Bendungan atau Waduk adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau atau tempat rekreasi. Bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah PLTA. Kebanyakan Waduk juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

Merupakan pipa yang berfungsi untuk menyalurkan dan mengarahkan air ke cerobong turbin. Salah satu ujung pipa pesat dipasang pada bak penenang minimal 10 cm diatas lantai dasar bak penenang. Sedangkan ujung yang lain diarahkan pada cerobong turbin. Pada bagian pipa pesat yang keluar dari bak penenang, dipasang pipa udara (*Air Vent*) setinggi 1 m diatas permukaan air bak penenang. Pemasangan pipa udara ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya tekanan rendah (*Low Pressure*) apabila bagian ujung pipa pesat tersumbat.

Turbin adalah sebuah alat yang mengambil energi dari fluida. Geometri turbin sedemikian rupa sehingga fluida memberikan torsi pada rotor searah dengan putarannya (*Munsondkk, 2005*). Air yang digunakan untuk membangkitkan untuk membangkitkan listrik bisa berasal dari bendungan yang dibangun diatas gunung yang tinggi, atau dari aliran sungai bawah tanah. Karena sumber air yang bervariasi, maka turbin didesain sesuai dengan karakteristik dan jumlah aliran airnya. Berikut ini merupakan berbagai jenis turbin yang biasa digunakan untuk PLTA.

Generator, dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik. Terdapat dua jenis generator, tergantung dari jenis tegangan yang dihasilkan yakni generator DC dan generator sinkron/AC. Menurut (*YonRijono, 2004*), perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah untuk generator DC, kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap, diputar oleh tenaga mekanik. Generator di PLTA bekerja seperti halnya generator pembangkit listrik lainnya. Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC.

Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Menurut (*YonRijono, 2004*), Trafo adalah alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. *Transformator* terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan pertama (primer) yang bertindak sebagai input, kumparan kedua (skunder) yang bertindak sebagai output, dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan.

C. Sistem Alat Bantu PLTA

Agar Unit PLTA dapat beroperasi dengan aman, andal, ekonomis, bahagian peralatan dan komponen tidak mengalami kerusakan dan masa penggunaan yang lebih panjang maka diperlukan mempertahankan kondisi tersebut selalu dapat beroperasi. Untuk menjaga dan mempertahankan agar Unit PLTA dapat diharapkan seperti kondisi tersebut diatas diperlukan peralatan bantu yang disebut juga dengan sistem Alat Bantu beroperasi dengan sistemnya masing - masing sesuai dengan urutan dan *sequence* yang telah dirancang serta dengan batasan parameter yang telah diseting sesuai dengan kebutuhan dan batasan – batasan dari peralatan yang menjadi sasaran alat bantu. Peralatan bantu beroperasi dengan mempergunakan motor – motor listrik maupun dengan udara serta sistem hidrolis serta pneumatik.

D. 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 Bakar 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	
		RatedVoltage	6.000	6.600	V	
		RatedCurrent	595	1.408	A	
		RatedSpeed	500	375	min ⁻¹	
		Frequency	50	50	-	
		Power Factor	0,85	0,85	-	
		Phase	3	3	-	
		Type	TAKL	TAKL	-	
		Pole	12	16	-	
		InsulationClass	F	F	-	
		ExcitationVoltage	65	115	V	
		Cooling	IC21	IC21	-	
		AmbientTemp.	30	30	°C	
FieldAmpere	620	640	A			
2.	WATER TURBIN	Type	VerticalShaftKaplanTurbine			
		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
		RatedSpeed		500	375	m ⁻¹
		RunawaySpeed		1280	970	m ⁻¹
		SpesificSpeed		302,4 at(48,01m)	347,3 at(48,01m)	m ⁻¹
Water Thrust		60	125	Ton		
WeightorRotationParts		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	
		RatedVoltage (HV/LV)	20/6,6	24/7,2	kV	
		System HighestVoltage	2,4/7,2	2,4/7,2	kV	
		ImpedanceVoltage	5	5	%	
		Standards of Reference	IEC60076	IEC60076	-	
		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

E. 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:

Tabel 2. Data Reservoir Waduk Bilibili

1.	Catchments Area	:	384,4 km ²
2.	DesignFlood 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.	EffectiveDrawdown	:	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.	EffectiveStorage	:	346.000.000 m ³ (305 x 10 ⁶ m ³ for Water Utilization) (46 x 10 ⁶ m ³ for Flood Control)

Pengoperasian PLTA Bilibili sebagaimana dijelaskan sebelumnya, kuota yang diberikan berdasarkan dari Rencana Operasi Tahunan yang disusun oleh Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan-Jeneberang. 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 (*Gunawan Gusta dik, 2010*):14).

F. Unjuk Kerja Turbin Air PLTA Bilibili

Unjuk Kerjasuatu turbin air umumnya diukur dari pola pengoperasian serta tingkat efisiensi atas daya yang dihasilkan suatu turbin berdasarkan jumlah debit air yang diberikan. Dan untuk beberapa jenis turbin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, yang dapat kita lihat pada tabel dibawah

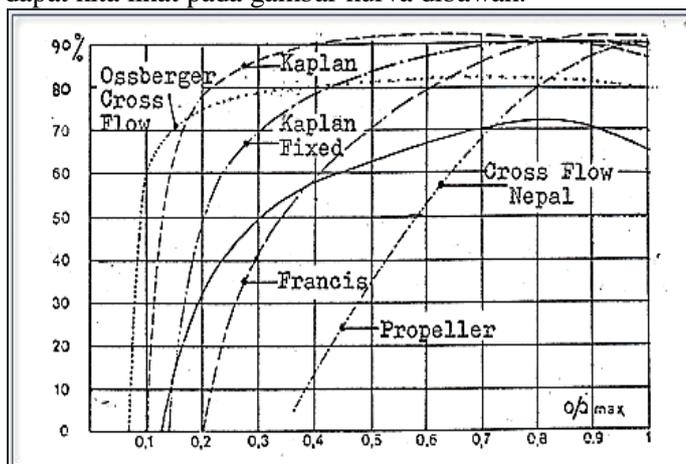
Tabel 3. *Operating Range of Hydraulic Turbine*

	Pelton turbine	Francis turbine	Kaplan turbine
Specific speed (rad)	0.05 – 0.4	0.4 – 2.2	1.8 – 5.0
Head (m)	100–1770	20–900	6–70
Maximum power (MW)	500	800	300
Optimum efficiency, per cent	90	95	94
Regulation method	Needle valve and deflector plate	Stagger angle of guide vanes	Stagger angle of rotor bades

NB. Values shown in the table are only a rough guide and are subject to change.

(*Dixon, Theory of Turbomachinery*)

Tinggi jatuh air dibedakan menjadi dua yaitu tinggi jatuh brutto (gross head) adalah perbedaan tinggi muka air waduk/akhir saluran pengangkut (head race) /waduk awal (fore bay) dengan tinggi muka air saluran bawah (tail race) bila air tidak mengalir dan tinggi jatuh netto adalah tinggi jatuh air yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja turbin atau perbedaan jumlah tinggi jatuh air pada permukaan (inlet) dan pengeluaran (outlet) dari turbin. Tinggi jatuh netto atau net head merupakan selisih antara head gross dengan dengan head kerugian di dalam sistim pemipaan PLTA. Head kerugian adalah kehilangan energi yang terjadi akibat gesekan dengan dinding pipa sebagai variabel pembanding (Haimerl L.A., 1960), dapat kita lihat pada gambar kurva dibawah.



Gambar 1. Grafik Efisiensi beberapa turbin terhadap pengurangan debit air (Haimerl, L.A., 1960)

Namun secara teoritis dapat pula diketahui tingkat efisiensi suatu turbin, menentukan efisiensi turbin dapat dinyatakan sebagai berikut:

Untuk suatu aliran dengan head dan debit tertentu yang melalui sebuah turbin dapat menghasilkan daya air (P_h), sebesar:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H$$

Dimana:

P_h : Daya Hidrolik (Watt)

ρ : Massa Jenis Air (1000 kg/m^3)

g : Percepatan Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Q : Laju Aliran (m^3/s)

H : Head Efektif (m)

Untuk mendapatkan nilai P_t yang merupakan kapasitas Daya Turbin dapat ditentukan dari daya listrik yang dibangkitkan atau Daya Generator (P_g) dan efisiensi generator (η_g) dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g}$$

Untuk nilai η_g atau Efisiensi Generator, dapat diketahui terlebih dahulu nilai Efisiensi pada Performance Test Guarantee Turbin Air di PLTA Bilibili.

Berdasarkan persamaan (2-1) sebagai daya input dan persamaan (2-2) sebagai daya output, sehingga didapatkan efisiensi total didapatkan dari perbandingan nilai daya hidrolik (P_h) dan daya turbin (P_t) yaitu:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h}$$

Untuk efisiensi sistem, dapat didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_s = \eta_t \times \eta_g$$

Dalam penulisan ini, salah satu indikator kinerja yang dapat menggambarkan pengaruh elevasi dan kuota air terhadap unjuk kerja Turbin air di PLTA Bilibili adalah CapacityFactor (CF). CapacityFactor atau Faktor Kapasitas adalah perbandingan antara jumlah produksi listrik selama periode operasi terhadap jumlah produksi terpasang selama 1 periode (*Protap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit PT PLN (Persero) No. PLN/DKP-IKP/2007-01*). Untuk menghitung CapacityFactor suatu unit pembangkit dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$CF = \frac{\sum \text{kWh Produksi bruto per tahun}}{\sum \text{kapasitas terpasang} \times 8.760 \text{ jam}} \times 100\%$$

Keterangan:

- **kWh produksi bruto**, adalah energi (kWh) yang dibangkitkan oleh generator sebelum dikurangi energi pemakaian sendiri (untuk peralatan bantu, penerangan sentral dll), atau produksi energi listrik yang diukur pada terminal generator
- **Kapasitas Terpasang**, adalah kapasitas suatu unit pembangkit sebagaimana tertera pada papan nama (*nameplate*) dari generator atau mesin penggerak utama (*primer mover*), dipilih mana yang lebih kecil.
- **8760**, adalah jumlah jam periode dalam kurun waktu 1 tahun

II. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilaksanakan PT. PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar Sektor Pembangkitan Bakaru Pusat Listrik Bilibili. Waktu pembuatan dan penelitian dilakukan selama 4 bulan dimulai pada bulan Agustus sampai dengan bulan Desember 2015.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Rencana Operasi Waduk Bilibili
2. Performance Test & Performance Test Guarantee
3. Data Operasi Turbin Air
 - a. Elevasi Bendungan (mdpl)
 - b. Kuota Air (m³/s)
 - c. Daya yang dihasilkan Generator (MW)
4. Logsheet Pencatatan Operasi Harian

Pengambilan data berdasarkan HydraulicTurbineOperationDatabasebulan Juni 2014 sampai dengan bulan Juni tahun 2015 pada PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Bakaru Pusat Listrik Bilibili

Dari data-data yang telah diperoleh kemudian akan dipelajari dan dievaluasi dengan tujuan Tugas Akhir ini akan menghasilkan referensi data terhadap performance Turbin Air di Pusat ListrikBilibili berdasarkan perubahan elevasi dan kuota air selama kurun waktu pengumpulan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Pengamatan

Pengambilan data pengamatan dilakukan dengan menggunakan data pada kurun waktu bulan Juni 2014 sampai dengan bulan Juni 2015. Hal ini dikarenakan

di dalam kurun waktu tersebut sudah mencakup satu siklus perubahan musim, yaitu dari musim hujan sampai musim kemarau atau dengan kata lain data yang akan diperoleh akan memperlihatkan fluktuasi angka elevasi Waduk Bilibili dan kuota pemakaian air yaitu pada angka tertinggi dan terendah. Berikut data Elevasi Waduk Bilibili dan Kuota pemakaian air untuk PLTA Bilibili.

Tabel 4. Data Elevasi dan Kuota Waduk Bilibili Juni 2014 s.d Juni 2015

BULAN/TAHUN	ELEVASI DAM	KUOTA (Q)	ELEVASI TAIL RACE
	Mdpl	m^3/s	m
JUNI 2014	97,4	24,3	48,1
JULI 2014	95,0	27,3	48,2
AGUSTUS 2014	91,5	12,9	47,8
SEPTEMBER 2014	89,7	7,2	47,6
OKTOBER 2014	87,8	6,4	47,6
NOVEMBER 2014	85,8	10,8	47,7
DESEMBER 2014	86,6	17,9	47,9
JANUARI 2014	98,7	43,5	48,4
FEBRUARI 2014	99,4	45,0	48,5
MARET 2014	99,4	45,0	48,5
APRIL 2014	99,2	34,0	48,4
MEI 2014	98,9	30,1	48,0
JUNI 2014	97,1	25,0	48,1

Dari data diatas dapat kita lihat bahwa pada bulan September, Oktober dan Nopember untuk unit 2 sudah tidak dapat dioperasikan lagi karena kuota atau debit air yang diberikan tidak mencukupi batas minimum pengoperasian untuk unit 2 yaitu $16.1 m^3/s$, sehingga hanya unit 1 yang dapat dioperasikan yang memiliki batas minimum pengoperasian yaitu $6,1 m^3/s$. Sedangkan elevasi tertinggi tercatat pada bulan Pebruari dan Maret, sehingga pemberian kuota dari Waduk ke PLTA Bilibili menjadi kuota maksimum yaitu $45 m^3/s$.

Dari data elevasi dan kuota tersebut serta perbedaan batas pemakaian air unit 1 dan 2 di PLTA Bilibili, sehingga pengoperasian unit-unit PLTA Bilibilid isesuaikan dengan kuota air dari Waduk. Pemakaian air masing-masing unit PLTA Bilibili dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Data Pemakaian Air (*Discharge*) unit-unit PLTA Bilibili Juni 2014 s.d juni 2015

BULAN	ELEVASI DAM	NET HEAD (H)	KUOTA (Q)	DISCHARGE		DAYA GENERATOR (Pg)	
				#1	#2	#1	#2
	mdpl	m	m^3/s	m^3/s		watt	
JUNI	97,4	48,1	24,3	-	25,0	-	10.526.6677
JULI 2014	95,1	48,2	27,3	-	27,9	-	11.093.548
AGUSTUS 2014	91,5	47,8	12,9	8,5	15,5	3.050.000	5.791.304
SEPTEMBER 2014	89,7	47,6	7,2	7,8	-	2.730.000	-
OKTOBER 2014	87,8	47,6	6,4	6,9	-	2.300.000	-
NOPEMBER 2014	85,8	47,7	10,8	10,0	15,5	3.030.435	4.800.000
DESEMBER 2014	86,6	47,9	17,9	-	19,0	-	6.174.194

JANUARI 2015	98,7	48,5	43,5	13,7	32,8	5.440.000	13.316.129
PEBRUARI 2015	99,4	48,5	45,0	14,0	33,4	5.614.286	13.664.286
MARET 2015	99,4	48,5	45,0	14,2	33,4	5.674.194	13.664.516
APRIL 2015	99,2	48,2	34,0	12,5	30,4	5.069.231	12.620.000
MEI 2015	98,9	48,2	30,1	14,0	26,3	5.600.000	11.135.484
JUNI 2015	97,1	48,1	25,0	-	25,9	-	10.830.000

B. Efisiensi Turbin

Berdasarkan *Form of Performance Guarantee* untuk efisiensi Turbin dan Generator telah didapatkan dari hasil Performance Test yang dilakukan oleh pihak Pabrikan (*Sumitomo Corporation, Volume 2. First Stage Bid Proposal for Multipurpose Dam Bilibili Hydroelectric Power Plant Project*). Namun Performance Test tersebut dilakukan dengan berdasarkan nilai *Head* dan Discharge yang konstan, sehingga untuk mendapatkan nilai efisiensi sekarang harus dilakukan perhitungan kembali untuk mengetahui nilai efisiensi total dari masing-masing unit pembangkit. Hal ini disebabkan nilai *Head* dan Pemakaian Air bersifat fluktuatif. Berdasarkan *Form of Performance Guarantee* pada lampiran 2, efisiensi Generator (η_g) dari masing-masing unit dianggap konstan adalah sebagai berikut:

Unit 1, - *Generator Average Efficiency* = 96,97%

a. *Turbine Average Efficiency* = 93,632%

Unit 2, - *Generator Average Efficiency* = 97,73%

b. *Turbine Average Efficiency* = 94,632%

C. Capacity Factor (CF)

Capacity Factor atau Faktor Kapasitas suatu unit atau satuan pembangkit adalah perbandingan antara jumlah produksi listrik selama periode operasi terhadap jumlah produksi terpasang selama 1 (satu) periode (*PT PLN (Persero) No. PLN/DKP-IKP/2007-01*). Atau dengan kata lain kemampuan suatu unit pembangkit membangkitkan daya listrik sesuai dengan kapasitas terpasang dalam satu kurun waktu/periode (1 tahun), yang dinyatakan dalam satuan persen.

Tabel 6. Hasil perhitungan efisiensi turbin air PLTA Bilibili pada kurun waktu Juni 2014 s.d Juni 2015

NO	BULAN	TAHUN	JUMLAH PERIODE	KUOTA (Q)	DAYA TERPASANG		TOTAL PRODUKSI LISTRIK		CF	
					Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2
			(Jam)	(m ³ /s)	(MW)		(MWh)		(%)	
1	JUNI	2014	720	24,3	5,78	13,68	-	7.519,4	-	76,3
2	JUL	2014	744	27,3			-	8.295,6	-	81,5
3	AGT	2014	744	12,9			290,4	3.188,0	6,8	31,3
4	SEP	2014	720	7,2			1.956,3	-	47,0	-
5	OKT	2014	744	6,4			1.695,9	-	39,4	-
6	NOP	2014	720	10,8			1.677,9	754,0	40,3	7,7
7	DES	2014	744	17,9			0,9	4.539,8	-	44,6
8	JAN	2015	744	43,5			3.838,4	9.837,6	89,3	96,6
9	PEB	2015	672	45,0			3.769,9	9.192,8	97,1	100,0
10	MAR	2015	744	45,0			4.216,4	10.186,0	98,0	100,0
11	APR	2015	720	34,0			1.670,8	8.924,9	40,1	90,6
12	MEI	2015	744	30,1			1.606,2	8.315,1	37,4	81,7
13	JUN	2015	720	25,0			-	7.813,5	-	79,3
Rata-rata									38,11	60,73

D. Review pola pengoperasian PLTA Bilibili

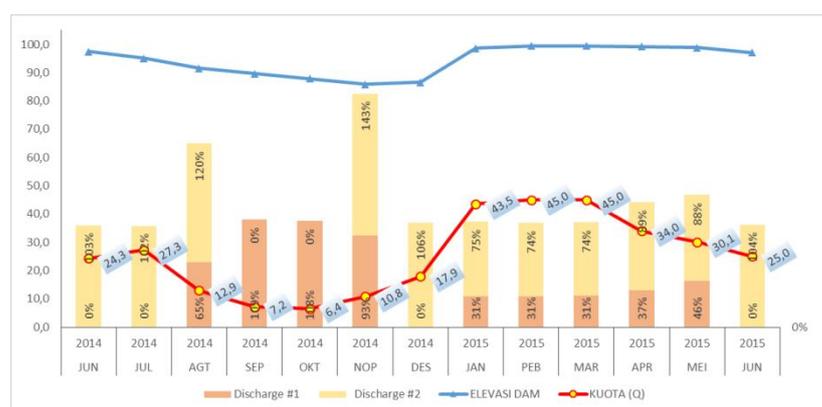
Pola pengoperasian turbin serta pencapaian kinerja pembangkit merupakan program yang selalu sejalan di suatu sistim pembangkit, seperti halnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), namun dengan kondisi pembatasan kuota pemakaian air dari pihak pengelola Waduk/Bendungan yang mempunyai tipe multipurpose,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

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 (Winasis, 2014). Penetapan kuota untuk PLTA Bilibili sesuai dengan perhitungan kebutuhan air di sektor 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, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

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.



Gambar 2. Grafik hubungan antara penetapan kuota dengan elevasi Waduk Bilibili



Gambar 3. Grafik pemakaian air (discharge) unit 1 dan 2 PLTA Bilibili

E. Pola Optimasi pengoperasian PLTA Bilibili terhadap kuota air

Upaya optimalisasi pengoperasian terhadap kuota air yang telah ditetapkan oleh sebelumnya, salah satunya adalah dengan pengaturan *Discharge* atau pemakaian

air antara unit 1 dan 2 berdasarkan karakteristik kedua turbin. Sesuai dengan spesifikasi turbin unit 1 dan 2 dimana memiliki discharge range yang berbeda. Unit 1 discharge range $6,1 \text{ m}^3/\text{s} - 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan Unit 2 dengan discharge range $16,1 \text{ m}^3/\text{s} - 31,6 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 turbin akan 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 angka $30 \text{ m}^3/\text{s} - 45 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 karakteristik dan tingkat efisiensi turbin.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini penulis dapat menarik beberapa kesimpulan menyangkut pengaruh head dan kuota pemakaian air terhadap unjuk kerja Turbin di PLTA Bilibili, yaitu sebagai berikut;

1. 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
2. Selama kurun waktu Juni 2014 s.d Juni 2015 Elevasi tertinggi tercatat 99,4 mdpl dan head tertinggi yaitu 48,5. Serta dalam kurun waktu yang sama efisiensi Turbin untuk unit 1, berada diantara 0,669 – 0,882%, sedangkan untuk unit 2 yaitu antara 0,678% – 0,916%. Pencapaian Capacity Factor secara kumulatif untuk unit 1 = 38,11% dan untuk unit 2 = 60,73%. Capacity Factor sistim pembangkit, PLTA Bilibili periode bulan Juni 2014 s.d Juni 2015 mencapai 53,81%.
3. pengoptimalan PLTA, beberapa kendala yang dipertimbangkan dan menjadi batasan operasional adalah Elevasi dan *Head*, batas daya pembangkitan unit Generator serta debit aliran masuk dan aliran keluar dari Reservoir/Bendungan.
4. Pola optimasi pengoperasian unit turbin 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.
5. Dalam rangka optimalisasi pengoperasian serta efisiensi turbin air di PLTA Bilibili terhadap penentuan kuota yang telah ditentukan dengan pola operasi Waduk Bilibili. Maka dianggap perlu dilakukan review kembali terhadap pola pengoperasian turbin air di PLTA Bilibili terhadap penentuan kuota air dari Dinas PU sebagai pihak pengelola Waduk Bilibili.
6. 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.

V. DAFTAR PUSTAKA

- BBWS Pompean-Jeneberang. 2009. *Kesepakatan (atau Nota Kesepahaman) Tentang Rencana Alokasi dan Distribusi Air Sungai Jeneberang untuk Tahun 2009/2010*.
- Bilibili HEPP. 2006. *Project Completion Report*, Volume 1. Part 1
- Bodkhe. R.G. 2015 *et al.* *Experimental Analysis on Kaplan Turbine to determinis the performance characteristic Curve at part load conditions*. Jurnal. IJREAS, Vol.03, Issue 01. Diakses tanggal 2 Januari 2016.
- Cateni. Aldo. 2008 *et al.* *Optimization of Hydro Power Plants performance importance of rehabilitation and maintenance in particular for the runner profiles* . Jurnal. 7th International Conference on Hydraulic Efficiency Measurements. Milan, Italy. Diakses tanggal 12 Pebruari 2016.
- Erawan. Arry 2013. UBP Saguling (Online), (<http://www.slideshare.net/arryerawan/plta>). Diakses tanggal 18 Mei 2015.
- Frederyk dan Muh Rizal Karim. 2014. *Pengaruh Pembatasan Kuota Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Kaplan Unit 2 Kapasitas 14,1 MW Pada Pusat Listrik Bilibili*. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Guanawan Gusta dan Alek Kurniawandi. 2010. *Penerapan Teknik Optimasi dan Simulasidalam Penyusunan Pola Operasi Waduk untuk Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik*. Makalah. Pekanbaru: Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR. Diakses tanggal 29 Mei 2015.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman. Diakses tanggal 18 Mei 2015.
- Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Munson, Bruce R dkk. 2005. *Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Mustaqim 2014. UGM Yogyakarta (Online), (http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=74316). Diakses tanggal 29 Mei 2015.
- Octavianto, Akbar Kurnia. 2011. *Perencanaan Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Jelok*. Makalah Seminar Kerja Praktek: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Semarang. Diakses tanggal 29 Mei 2015
- PT PLN (Persero). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero)2015-2024*.

- 161 *La Ode Musa, Abdul Rahman, Andi Ardiansyah, Hairuddin, Pengaruh Perubahan Elevasi (Head) dan Kuota Pemakaian Air Dam Bilibili terhadap Unjuk Kerja Turbin Air pada PLTA Bilibili*
- PT PLN (Persero). 2007. *Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit PT PLN (Persero) No. PLN/DKP-IKP/2007-01*.
- PT PLN (Persero). 2014. *Statistik PLN. Jakarta*
- Rijono, Yon. 2004. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Edisi Revisi*. Yogyakarta: Andi.
- Pratama, Sezar Yudo. 2011. *Studi Optimasi Operasional Waduk Sengguruh untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Tesis Program Pasca Sarjana: Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. Diakses tanggal 2 Januari 2016.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sumitomo Cooperation, Volume 2. *First Stage Bid Proposal for Multipurpose Dam Bilibili Hydroelectric Power Plant Project*.
- Electric Power Development cap., Ltd. November 2007, Volume IV *Asbuilt Drawing. Multipurpose Dam Bilibili Hydroelectric Power Plant Project JBIC Loan No. IP 464*.
- Tsoukalas, I and Makropoulos, C. 2011. *Hydrosystem optimization with the use of evolutionary algorithms: The case of Nestos River*. Diakses tanggal 12 Februari 2016.
- Winasis, Hari Prasetyo dan Giri Angga Setia. 2014. *Optimalisasi Jangka Menengah PLTA Memperhatikan Ketersediaan Air Menggunakan Linier Programming*. Jurnal JNTETI, Vol.03, No.2. Diakses tanggal 2 Januari 2016.