

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

PLTA Sempor merupakan pembangkit tenaga listrik yang terletak di Desa Tunjungseto, Kecamatan Sempor, Kabupaten Kebumen lebih kurang 7 km sebelah utara kota Gombong. PLTA Sempor dibangun oleh Proyek Serbaguna Kedu Selatan Departemen Pekerjaan Umum dengan membendung sungai sungai Sempor dengan aliran air rata-rata 12 m<sup>3</sup>/detik. Tujuan utama dari pembangunan waduk adalah untuk menyediakan air irigasi yang menunjang peningkatan taraf hidup dan kemakmuran rakyat. Tujuan lain adalah untuk membangkitkan tenaga listrik dengan daya terpasang 1 x 8,8 MW dan total produksi 60 juta KWH /tahun



Gambar 4.1 Tempat Penelitian PLTA Sempor

#### **4.2 Data penelitian**

. Data yang dianalisis dalam pembahasan kali ini yaitu data operasi harian, terkait perhitungan efisiensi turbin dan generator di PLTA Sempor. Diperoleh data

selama 23 hari, yaitu 12 Desember 2018 sampai dengan 3 Januari 2019. Berikut adalah data dari PLTA Sempor, Dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data operasi harian turbin dan generator

HARI	ELEVASI	ELEVASI	OUT	MASSA	PERCEPATAN	DAYA	TEGAN GAN	ARUS	COS PHI
KE	TAILRACE	INTAKE	FLOW	JENIS	GRAVITASI	TURBIN	(V)	(A)	( $\varphi$ )
	(mdpl)	(mdpl)	(m <sup>3</sup> /s)	AIR	BUMI	(KW)			
				(kg/m <sup>3</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )				
1	83.68	180.10	8.80	1000	9,8	8171.30	6300	822	0.9
2	83,72	179.93	8.80	1000	9,8	8150.65	6300	820	0.9
3	83.72	179.76	8.75	1000	9,8	8088.20	6300	820	0.9
4	83.57	179.56	8.75	1000	9,8	8067.50	6300	829	0.9
5	83.37	179.38	8.75	1000	9,8	8046.74	6300	833	0.9
6	83.22	179.22	8.75	1000	9,8	8026.03	6300	833	0.9
7	82.95	178.96	8.75	1000	9,8	8005.10	6300	833	0.9
8	82.89	178.90	8.70	1000	9,8	7984.20	6300	837	0.9
9	82.83	178.85	8.70	1000	9,8	7963.60	6300	837	0.9
10	82.72	178.75	8.70	1000	9,8	7942.80	6300	842	0.9
11	82.63	178.60	8.70	1000	9,8	7921.80	6300	846	0.9
12	82.36	178.33	8.70	1000	9,8	7900.72	6300	850	0.9
13	82.21	178.22	8.65	1000	9,8	7880.27	6300	850	0.9
14	81.96	177.95	8.65	1000	9,8	7859.44	6300	860	0.9
15	81.96	177.95	8.65	1000	9,8	7838.45	6300	860	0.9
16	81.85	177.87	8.60	1000	9,8	7817.42	6300	860	0.9
17	81.44	177.49	8.60	1000	9,8	7796.90	6300	865	0.9
18	81.10	177.11	8.60	1000	9,8	7777.15	6300	867	0.9
19	80.90	176.92	8.55	1000	9,8	7756.33	6300	867	0.9
20	80.73	176.72	8.55	1000	9,8	7735.65	6300	868	0.9
21	80.49	176.52	8.50	1000	9,8	7714.97	6300	870	0.9
22	80.33	176.30	8.50	1000	9,8	7694.27	6300	870	0.9
23	80.09	176.10	8.50	1000	9,8	7673.65	6300	870	0.9

Pada tabel 4.1 diatas, data yang digunakan untuk proses analisis dan perhitungan adalah *elevasi tailrace* (mdpl), *elevasi intake* (mdpl), *out flow* (m<sup>3</sup>/s), *massa jenis air* (kg/m<sup>3</sup>), *percepatan gravitasi bumi* (m/s<sup>2</sup>), *tegangan* (V), *arus* (A), *cos phi* ( $\varphi$ )

### 4.3 Analisis Perhitungan Efisiensi Turbin dan Generator Pada PLTA Sempor

#### 4.3.1 Perhitungan Efisiensi Turbin

Berdasarkan data yang telah diperoleh untuk perhitungan efisiensi turbin maka dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Turbin } (\eta_T) = \frac{P_t}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\% \quad (4.1)$$

Perhitungan hari ke -1:

$$P_t: 8171.30 \text{ kW} = 8171300 \text{ Watt}$$

$$\rho: 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g: 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$Q: 8.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H: 180.10 - 83.68 = 96,42 \text{ mdpl}$$

$$(\eta_T) = \frac{P_t}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\%$$

$$(\eta_T) = \frac{8171300}{1000 \cdot 9,8 \cdot 8,80 \cdot 96,42} \times 100\%$$

$$(\eta_T) = \frac{8171300}{8315260,8} \times 100\%$$

$$(\eta_T) = 0,982687157$$

$$(\eta_T) = 98,26\%$$

Perhitungan hari ke-2

$$P_t: 8150.65 \text{ kW} = 8150650 \text{ Watt}$$

$$\rho: 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g: 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$Q: 8.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H: 179,93 - 83.72 = 96,21 \text{ mdpl}$$

$$(\eta T) = \frac{Pt}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8150650}{1000 \cdot 9,8 \cdot 8,80 \cdot 96,21} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8150650}{8297150,4} \times 100\%$$

$$(\eta T) = 0,98234328$$

$$(\eta T) = 98,23\%$$

Perhitungan hari ke-3

Pt: 8088.20 kW = 8088200 Watt

$\rho$ : 1000 kg/m<sup>3</sup>

g: 9.8 m/s<sup>2</sup>

Q: 8,75 m<sup>3</sup>/s

H: 179,76 – 83.72 = 96,04 mdpl

$$(\eta T) = \frac{Pt}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8088200}{1000 \cdot 9,8 \cdot 8,75 \cdot 96,04} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8088200}{8235430} \times 100\%$$

$$(\eta T) = 0,98212236$$

$$(\eta T) = 98,21\%$$

Perhitungan hari ke-4

Pt: 8067.50 kW = 8067500 Watt

$\rho$ : 1000 kg/m<sup>3</sup>

g: 9.8 m/s<sup>2</sup>

Q: 8.75 m<sup>3</sup>/s

$$H: 179,56 - 83,57 = 95,99 \text{ mdpl}$$

$$(\eta T) = \frac{P_t}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8067500}{1000 \cdot 9,8 \cdot 75,95,99} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8067500}{8231142,5} \times 100\%$$

$$(\eta T) = 0,980119102$$

$$(\eta T) = 98,01\%$$

Perhitungan hari ke-5

$$P_t: 8046,74 \text{ kW} = 8046740 \text{ Watt}$$

$$\rho: 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g: 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$Q: 8,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H: 179,38 - 83,37 = 96,01 \text{ mdpl}$$

$$(\eta T) = \frac{P_t}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8046740}{1000 \cdot 9,8 \cdot 8,75 \cdot 96,01} \times 100\%$$

$$(\eta T) = \frac{8046740}{8232857,5} \times 100\%$$

$$(\eta T) = 0,977393329$$

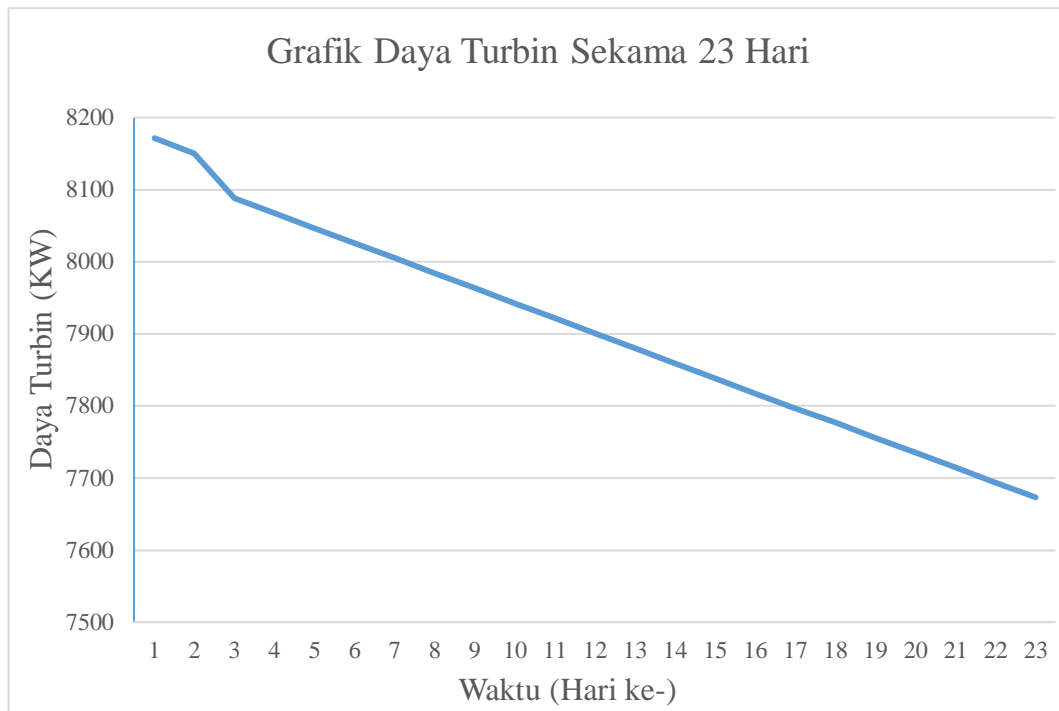
$$(\eta T) = 97,73\%$$

Untuk hasil perhitungan Efisiensi Turbin dapat dilihat pada tabel 4.2, dan

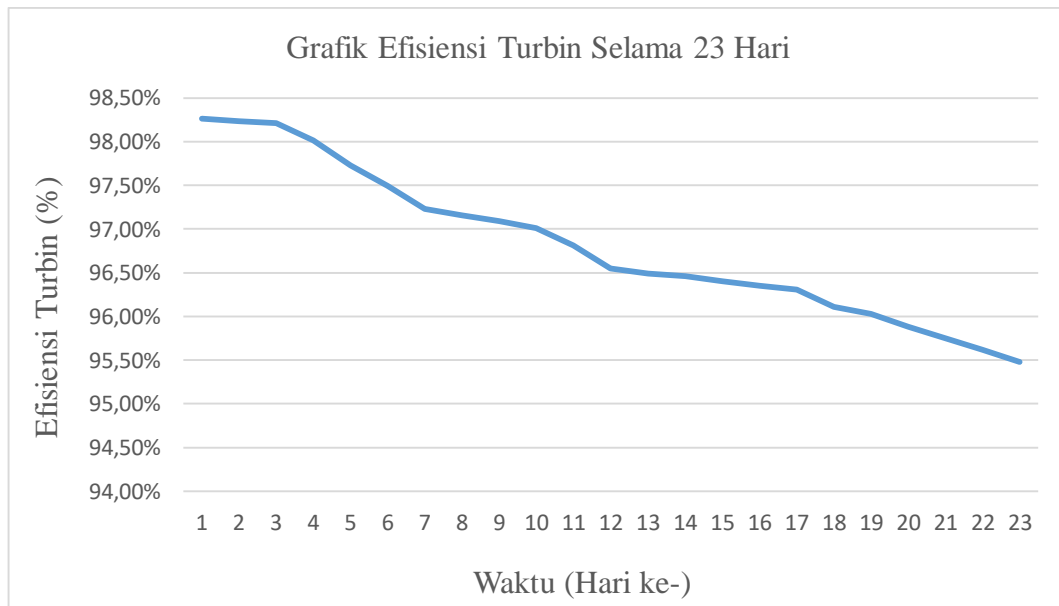
Gambar 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Perhitungan efisiensi Turbin

HARI	ELEVASI	ELEVASI	OUT	MASSA	PERCEPATAN	DAYA	EFISIENSI
KE	TAILRACE	INTAKE	FLOW	JENIS	GRAVITASI	TURBIN	TURBIN
	(mdpl)	(mdpl)	(m3/s)	AIR	BUMI	(KW)	(%)
				(kg/m <sup>3</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )		
1	84.68	180.10	8.80	1000	9.8	8171.30	98.26%
2	83.72	179.93	8.80	1000	9.8	8150.65	98.23%
3	83.72	179.76	8.80	1000	9.8	8088.20	98.21%
4	83.57	179.56	8.75	1000	9.8	8067.50	98.01%
5	83.37	179.38	8.75	1000	9.8	8046.74	97.73%
6	83.22	179.22	8.75	1000	9.8	8026.03	97.49%
7	82.95	178.96	8.75	1000	9.8	8005.10	97.23%
8	82.52	178.90	8.70	1000	9.8	7984.20	97.16%
9	82.65	178.85	8.70	1000	9.8	7963.60	97.09%
10	82.72	178.75	8.70	1000	9.8	7942.80	97.01%
11	82.63	178.60	8.70	1000	9.8	7921.80	96.81%
12	82.36	178.33	8.70	1000	9.8	7900.72	96.55%
13	81.88	178.22	8.65	1000	9.8	7880.27	96.49%
14	81.84	177.95	8.65	1000	9.8	7859.44	96.46%
15	82.03	177.95	8.65	1000	9.8	7838.45	96.40%
16	81.61	177.87	8.60	1000	9.8	7817.42	96.35%
17	81.44	177.49	8.60	1000	9.8	7796.90	96.31%
18	81.10	177.11	8.60	1000	9.8	7777.15	96.11%
19	80.53	176.92	8.55	1000	9.8	7756.33	96.03%
20	80.44	176.72	8.55	1000	9.8	7735.65	95.88%
21	79.80	176.52	8.50	1000	9.8	7714.97	95.75%
22	79.71	176.30	8.50	1000	9.8	7694.27	95.62%
23	79.62	176.10	8.50	1000	9.8	7673.65	95.48%



Gambar 4.2 Grafik daya turbin



Gambar 4.3 Grafik efisiensi turbin

Pada hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel serta grafik diatas, bahwa untuk kerja mesin turbin dalam keadaan baik dan optimal dikarenakan nilai dari efisiensi turbin melebihi 50%, dan apabila nilai efisiensi mesin turbin kurang dari 50% maka kinerja mesin turbin tersebut dalam keadaan kurang baik, atau belum optimal. Pada hari pertama nilai efisiensi turbin 98,26%, dan pada hari berikutnya nilai efisiensi mesin turbin adalah 98,23%, selisih dari nilai efisiensi mesin turbin dari hari pertama dan kedua adalah 0,03%, selisih tersebut diakibatkan karena elevasi intake dan daya turbin mengalami penurunan nilai setiap harinya dapat dilihat pada grafik 4.3, bahwa daya turbin dari hari kehari mengalami penurunan. Daya turbin berbanding lurus dengan elevasi intake, hal ini dapat dilihat ketika daya turbin tinggi elevasi intake juga ikut tinggi, begitupun sebaliknya jika daya turbin turun maka elevasi intake ikut turun. Hal yang menyebabkan elevasi intake turun dapat di sebabkan oleh tekanan, apabila tekanan tinggi maka elevasi intake tinggi. Factor lain yang dapat menyebabkan turunnya elevasi intake adalah jumlah debit air yang menurun, meurunnya debit air dikarenakan curah hujan yang menurun atau musim kemarau.

#### 4.3.2 Perhitungan Efisiensi Generator

Berdasarkan data yang telah diperoleh untuk perhitungan efisiensi Generator maka dapat perhitungan sebagai berikut:

$$P\text{-aktual} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Phi \quad (4.2)$$

$$\eta_{gen} = \frac{P\text{-aktual}}{p} \times 100\% \quad (4.3)$$



Perhitungan hari ke -1

a. Perhitungan daya aktual

$$V = 6300 \text{ volt} = 6,3 \text{ kV}$$

$$I = 822 \text{ Ampere}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} P\text{-aktual} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos Phi} \\ &= \sqrt{3} \times 6,3 \times 822 \times 0,9 \\ &= 8,06 \text{ MW} \end{aligned}$$

b. Perhitungan efisiensi generator

$$P = 8,8 \text{ MW}$$

$$P\text{-aktual} = 8,06 \text{ MW}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P\text{-aktual}}{p} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \eta_{gen} &= \frac{8,06}{8,8} \times 100\% \\ &= 91,59\% \end{aligned}$$

Perhitungan hari ke -2

a. Perhitungan daya aktual

$$V = 6300 \text{ volt} = 6,3 \text{ kV}$$

$$I = 820 \text{ Ampere}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} P\text{-aktual} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos Phi} \\ &= \sqrt{3} \times 6,3 \times 820 \times 0,9 \\ &= 8,04 \text{ MW} \end{aligned}$$

b. perhitungan efisiensi generator

$$P = 8,8 \text{ MW}$$

$$P\text{-aktual} = 8,04 \text{ MW}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P\text{-aktual}}{p} \times 100\%$$

$$\eta_{gen} = \frac{8,04}{8,8} \times 100\%$$

$$= 91,36\%$$

Perhitungan ke -3

a. perhitungan daya aktual

$$V = 6300 \text{ volt} = 6,3 \text{ kV}$$

$$I = 820 \text{ Ampere}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$P\text{-aktual} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos Phi}$$

$$= \sqrt{3} \times 6,3 \times 820 \times 0,9$$

$$= 8,04 \text{ MW}$$

b. perhitungan efisiensi generator

$$P = 8,8 \text{ MW}$$

$$P\text{-aktual} = 8,04 \text{ MW}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P\text{-aktual}}{p} \times 100\%$$

$$\eta_{gen} = \frac{8,04}{8,8} \times 100\%$$

$$= 91,36\%$$

Perhitungan ke -4

a. perhitungan daya aktual

$$V = 6300 \text{ volt} = 6,3 \text{ kV}$$

$$I = 829 \text{ Ampere}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} P\text{-aktual} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Phi \\ &= \sqrt{3} \times 6,3 \times 829 \times 0,9 \\ &= 8,13 \text{ MW} \end{aligned}$$

b. perhitungan efisiensi generator

$$P = 8,8 \text{ MW}$$

$$P\text{-aktual} = 8,13 \text{ MW}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P_{aktual}}{P} \times 100\%$$

$$\eta_{gen} = \frac{8,13}{8,8} \times 100\%$$

$$= 92,38\%$$

Perhitungan ke -5

a. perhitungan daya actual

$$V = 6300 \text{ volt} = 6,3 \text{ kV}$$

$$I = 833 \text{ Ampere}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} P\text{-aktual} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \Phi \\ &= \sqrt{3} \times 6,3 \times 833 \times 0,9 \\ &= 8,17 \text{ MW} \end{aligned}$$

b. perhitungan efisiensi generator

$$P = 8,8 \text{ MW}$$

$$P\text{-actual} = 8,17 \text{ MW}$$

$$\eta_{gen} = \frac{P\text{-actual}}{p} \times 100\%$$

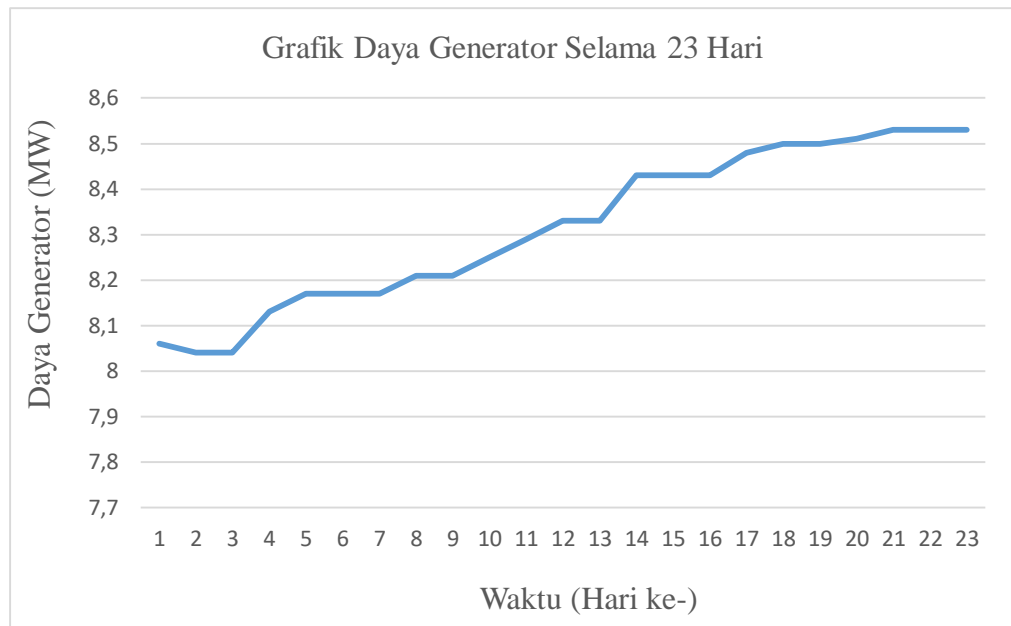
$$\eta_{gen} = \frac{8,17}{8,8} \times 100\%$$

$$= 92,84\%$$

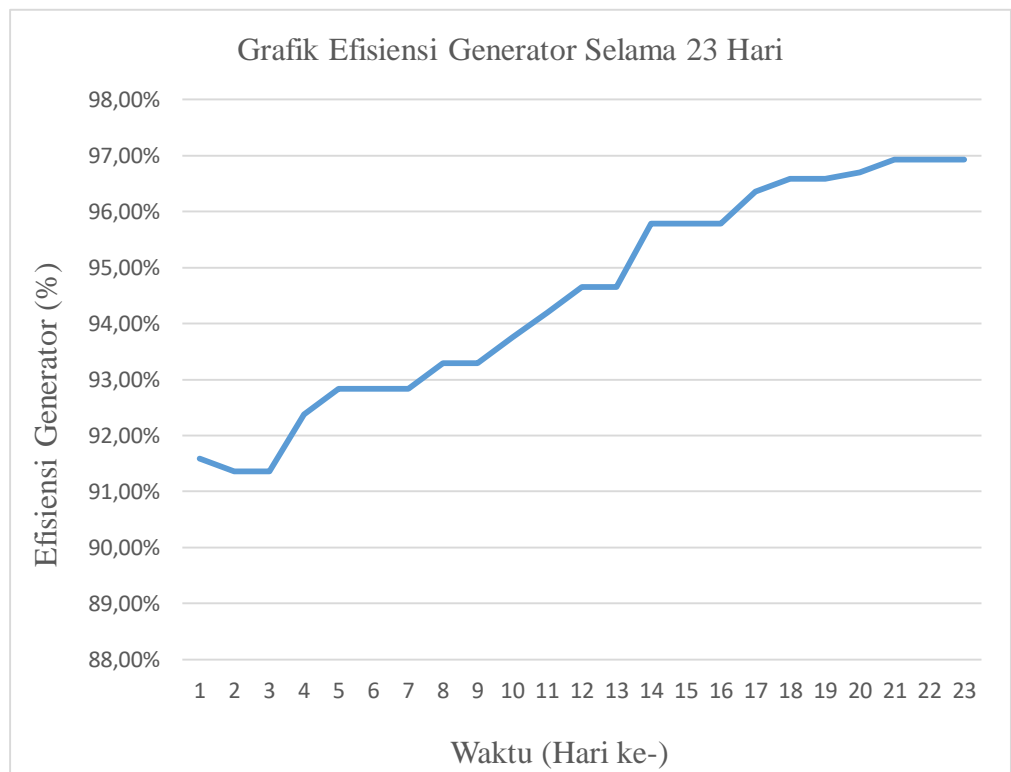
Untuk hasil perhitungan Efisiensi Generator dapat dilihat pada Tabel 4.3, dan Gambar 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Perhitungan efisiensi generator

HARI	ARUS	TEGANGAN	Cos Phi	FREKUENSI	DAYA	DAYA	SELISIH	EFISIENSI
KE	(A)	(V)		(Hz)	AKTUAL	NOMINAL	DAYA	GENERATOR
					(MW)	(MW)	(MW)	(%)
1	822	6300	0.9	50	8.06	8.8	0.9159	91.59%
2	820	6300	0.9	50	8.04	8.8	0.9136	91.36%
3	820	6300	0.9	50	8.04	8.8	0.9136	91.36%
4	829	6300	0.9	50	8.13	8.8	0.9238	92.38%
5	833	6300	0.9	50	8.17	8.8	0.9284	92.84%
6	833	6300	0.9	50	8.17	8.8	0.9284	92.84%
7	833	6300	0.9	50	8.17	8.8	0.9284	92.84%
8	837	6300	0.9	50	8.21	8.8	0.9329	93.29%
9	837	6300	0.9	50	8.21	8.8	0.9329	93.29%
10	842	6300	0.9	50	8.25	8.8	0.9375	93.75%
11	846	6300	0.9	50	8.29	8.8	0.942	94.20%
12	850	6300	0.9	50	8.33	8.8	0.9465	94.65%
13	850	6300	0.9	50	8.33	8.8	0.9465	94.65%
14	860	6300	0.9	50	8.43	8.8	0.9579	95.79%
15	860	6300	0.9	50	8.43	8.8	0.9579	95.79%
16	860	6300	0.9	50	8.43	8.8	0.9579	95.79%
17	865	6300	0.9	50	8.48	8.8	0.9636	96.36%
18	867	6300	0.9	50	8.5	8.8	0.9659	96.59%
19	867	6300	0.9	50	8.5	8.8	0.9659	96.59%
20	868	6300	0.9	50	8.51	8.8	0.967	96.70%
21	870	6300	0.9	50	8.53	8.8	0.9693	96.93%
22	870	6300	0.9	50	8.53	8.8	0.9693	96.93%
23	870	6300	0.9	50	8.53	8.8	0.9693	96.93%



**Gambar 4.4 Grafik Daya Generator**



**Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Generator**

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat di tabel serta grafik diatas, bahwa untuk kinerja generator dalam keadaan baik atau bekerja secara optimal, hal ini dikarenakan bahwa nilai efisiensi generator tersebut diatas 50%, dan apabila efisiensi generator kurang dari 50% maka kinerja generator kurang baik, atau bekerja secara tidak optimal. Hari pertama setelah dilakukan perhitungan didapat efisiensi yaitu 91,59%, pada hari kedua 91,36%, hari ketiga 91,36%, hari keempat 92,38%, dan pada hari kelima 92,84%. Perbandingan efisiensi hari pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima adalah pada beban. Hal ini dikarenakan pada beban mengalami perubahan nilai arus setiap harinya, sehingga pada beban mengalami perubahan. Perubahan beban tersebut merupakan suatu realitas dalam batas wajar, dan tegangannya sendiri tergolong stabil yaitu 6,3 kV karena dijaga otomatis oleh AVR, Sedangkan frekuensi stabil karena putaran kecepatan generator dipengaruhi oleh air yang memutar turbin. Bila tekanan dan debit air tinggi maka torsi yang dihasilkan semakin besar dan begitupun sebaliknya. Daya aktual adalah daya yang dihasilkan generator sedangkan daya nominal adalah daya standar dari generator itu sendiri. Penurunan efisiensi generator bisa disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya sudah melemahnya kemampuan kerja generator maupun meningkatnya rugi-rugi yang ada pada generator. Pada buku "*Electric Machinery Fundamentals, S.J. Chapman*" dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (winding) dan rugi-rugi pada inti generator (core), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Nilai efisiensi generator bisa melebihi dari 50% karena pada generator tidak terdapat rugi-rugi tersebut.