



ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN AIR KAPASITAS 3×6 MW PADA BEBAN NORMAL DAN BEBAN PUNCAK DI UNIT PLTA PAKKAT PT. ENERGY SAKTI SANTOSA

Brama Anggara Hasibuan^a, Johan Christian Siahaan^b, Isman Harianda^a

^aTeknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^bPT.Energy Sakti Santosa PLTA Pakkat, Kab Humbang Hasundutan, Sumatera Utara, 22451, Indonesia

E-mail: bramahasibuan@students.polmed.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 15 Februari 2022
Direvisi pada 14 Maret 2022
Disetujui pada 22 Maret 2022
Tersedia daring pada 05 April 2022

Kata kunci:

Pembangkit Listrik Tenaga Air, Turbin,
Beban Normal, Beban Puncak.

Keywords:

Hydroelectric Power Station, Turbine,
Normal Load, Peak Load

ABSTRAK

Turbin merupakan salah satu komponen penting yang terdapat pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), karena berperan sebagai pengubah energi potensial menjadi energi mekanik, yang akan menggerakkan generator agar terciptanya energi listrik. Tipe turbin yang digunakan pada PLTA Pakkat ialah turbin francis dengan posisi *shaft* horizontal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja turbin pada saat kondisi beban normal dan beban puncak. Metode yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja turbin pada saat kondisi tersebut adalah dengan mencatat data harian, dimana data ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi unjuk kerja pada suatu turbin. Pada hasil penelitian, diketahui kondisi beban puncak adalah pada pukul 18.00 – 23.00 dan 04.00 dan 07.00 waktu setempat. Dari hasil perhitungan didapat bahwa pada saat kondisi beban normal nilai rata-rata daya aktual sebesar 5,71 MW lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata daya teoritis sebesar 6,01 MW. Dan pada saat kondisi beban puncak, nilai rata-rata daya aktual sebesar 5,94 MW lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata daya teoritis sebesar 6,23 MW. Adanya perbedaan nilai daya yang dihasilkan dengan perhitungan aktual dan teoritis disebabkan oleh adanya rugi-rugi yang terjadi pada gesekan air pada pipa menuju turbin. Perbandingan antara data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis pada saat kondisi beban normal didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 5,41 %, dan pada saat kondisi beban puncak didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 4,88 %.

ABSTRACT

Turbines are essential components in a hydroelectric power plant (PLTA) since they serve as a potential energy changer into mechanical energy, driving the generator to create electrical energy. The type of turbine used in PLTA Pakkat is a Francis turbine with a horizontal shaft position. This study aimed to discover the turbine performance in normal and peak load conditions. The method used to determine the turbine performance at such conditions was by recording daily data, where this data aims to examine the factors affecting the turbine performance. The study results discovered that the peak load conditions were at 18.00 – 23.00 PM, 04.00, and 07.00 AM. The calculation result obtained an actual power average value of 5.71 MW lower than the theoretical power average value of 6.01 MW during the normal load condition. Furthermore, the actual power average value was 5.94 MW lower than the theoretical power average value of 6.23 MW during the peak load condition. The power value differences produced by actual and theoretical calculations were caused by losses in the water friction in the pipes to the turbine. From the comparison between actual power and theoretical power data, the average error value was 5.41 % at the normal load condition and 4.88 % at the peak load condition.

1. PENGANTAR

Di era yang serba dinamis dan mobilitas tinggi ini pastinya kebutuhan listrik sangat diperlukan guna menunjang aktivitas kehidupan manusia. Dengan berkembangnya zaman, banyak kita temui energi baru dan terbarukan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pemanfaatan bahan bakar fosil. Geografis Indonesia menunjukkan sumber daya air yang cukup melimpah dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik (Wahyu Hidayat, 2019). Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air untuk menghasilkan energi listrik dimulai dari air yang ditampung pada bendungan yang kemudian akan dialirkan ke dalam pintu pengambilan air (*intake gate*) yang selanjutnya air akan masuk ke dalam terowongan (*tunnel*). Sebelum air dialirkan ke dalam pipa pesat (*penstock*), air harus melewati tangki peredam (*surge tank*). *Surge tank* ini berguna sebagai sistem proteksi apabila terjadi tekanan kejut atau pukulan air (*water hammer*) saat katup utama (*main inlet valve*) ditutup seketika. Pada saat air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*), air akan mengalami kenaikan tekanan, dikarenakan pipa pesat (*penstock*) memiliki sudut kemiringan yang akan menambah tekanan air itu sendiri. Selanjutnya air akan masuk ke katup utama (*main inlet valve*). Ketika katup utama (*main inlet valve*) dibuka aliran air akan masuk ke dalam turbin, air akan menggerakkan sudu-sudu turbin. Kemudian dari turbin air mengalir keluar melalui pipa lepas (*draft tube*) dan selanjutnya air dialirkan kembali ke daerah aliran sungai (DAS). Poros turbin yang berputar dikopel dengan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Melalui trafo utama, energi listrik disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) ke konsumen melalui Gardu Induk (PT. Energy Sakti Sentosa, 2015). Adapun pengaruh dari efisiensi turbin PLTA DI UNIT PLTA PAKKAT PT. ENERGY SAKTI SANTOSA yang turun sehingga diperlukan penelitian agar turbin dapat efektif penggunaan aliran air yang telah dibendung di daerah Humbang Hasundutan, Sumatera Utara lebih efisien.

1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

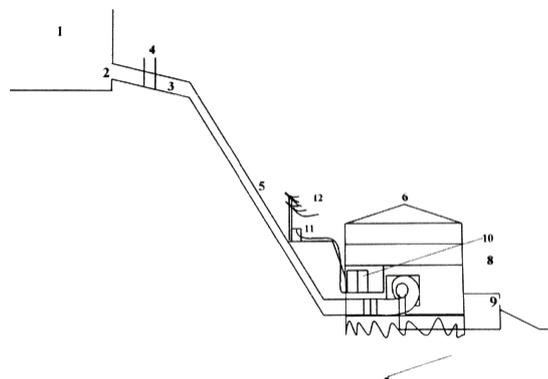
PLTA merupakan pusat pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Mesin penggerak yang digunakan adalah turbin air untuk mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis poros yang akan memutar rotor pada generator untuk menghasilkan energi listrik. Air sebagai bahan baku PLTA dapat diperoleh dengan berbagai cara, misalnya dari sungai secara langsung disalurkan untuk memutar turbin, atau dengan cara ditampung dahulu dengan menggunakan kolam tandon air atau waduk sebelum disalurkan untuk memutar turbin (Sutarno, 2016). PLTA dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu (Ditjeng Marsudi, 2016):

1. PLTA *run off river*
2. PLTA dengan kolam tandon (*reservoir*)

Pada PLTA Pakkat dikategorikan menggunakan metode *run off river*, dimana air sungai dialihkan dengan menggunakan dam yang dibangun memotong aliran sungai. Air sungai ini kemudian disalurkan ke bangunan air PLTA. Pada PLTA *run off river*, daya yang dapat dibangkitkan tergantung pada debit air sungai. Tetapi PLTA *run off river* biaya pembangunannya lebih murah dibandingkan dengan PLTA dengan kolam tando (*reservoir*), karena kolam tando memerlukan bendungan yang besar dan juga memerlukan daerah genangan yang luas (Sutarno, 2016, Ditjeng Marsudi, 2016).

1.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan air sebagai sumber energi. Energi potensial dan energi kinetik dari air dirubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan kemudian energi mekanik dirubah menjadi energi listrik oleh generator (Basori, dkk., 2016). Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air untuk menghasilkan energi listrik dimulai dari air yang ditampung pada bendungan yang kemudiann akan dialirkan ke dalam pintu pengambilan air (*intake gate*) yang selanjutnya air akan masuk ke dalam terowongan (*tunnel*). Sebelum air dialirkan ke dalam pipa pesat (*penstock*), air harus melewati tangki peredam (*surge tank*). *Surge tank* ini berguna sebagai sistem proteksi apabila terjadi tekanan kejut atau pukulan air (*water hammer*) saat katup utama (*main inlet valve*) ditutup seketika. Pada saat air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*), air akan mengalami kenaikan tekanan, dikarenakan pipa pesat (*penstock*) memiliki sudut kemiringan yang akan menambah tekanan air itu sendiri. Selanjutnya air akan masuk ke katup utama (*main inlet valve*). Ketika katup utama (*main inlet valve*) dibuka aliran air akan masuk ke dalam turbin, air akan menggerakkan sudu-sudu turbin. Kemudian dari turbin air mengalir keluar melalui pipa lepas (*draft tube*) dan selanjutnya air dialirkan kembali ke daerah aliran sungai (DAS) (Kurniady dkk., 2019). Poros turbin yang berputar dikopel dengan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Prinsip Kerja PLTA terdapat pada Gambar 1 (PT Energy Sakti Sentosa, 2015).



Gambar 1: Prinsip Kerja PLTA PT Energy Sakti Sentosa, 2015 (PT Energy Sakti Sentosa, 2015)

1.3 Bagian-bagian pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Berikut merupakan bagian-bagian pada Pembangkit Listrik Tenaga Air yang ada pada PLTA Pakkat, terdapat pada Tabel 1. Bagian-bagian pada PLTA Pakkat terdapat juga pada Gambar 1.

Tabel 1: Bagian-bagian pada PLTA (PT Energy Sakti Sentosa, 2015)

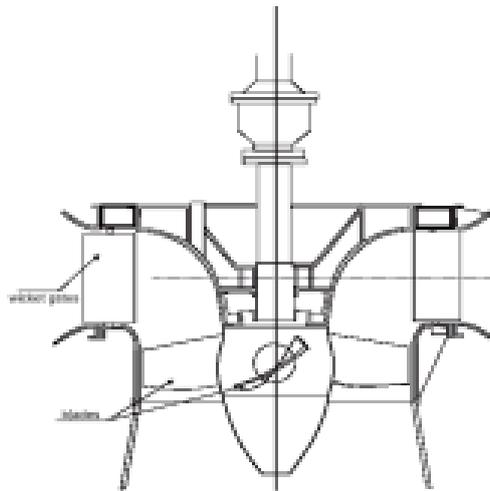
Nama Bagian	Fungsi
Bendungan	Menahan laju aliran sungai
Pintu Intake (<i>Intake Gate</i>)	Pintu masuk aliran air menuju ke terowongan (<i>tunnel</i>)
Terowongan (<i>Tunnel</i>)	Saluran pembuka
<i>Surge Tank</i>	Tangki lepas tekanan mendadak
Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	Pipa yang menyalurkan air dari terowongan ke turbin
<i>Power House</i>	Rumah pembangkit
Turbin	Penggerak rotor
Generator	Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
<i>Tail Race</i>	Saluran pembuangan air dari turbin
<i>Switchyard</i>	Pengatur distribusi listrik
Transformator	Pengubah tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan)
Kabel Distributor	Jaringan <i>line 1</i> dan <i>line 2</i>

1.4 Pengelompokan Turbin Air

Ditinjau dari teknik mengkonversikan energi potensial menjadi energi mekanik pada roda air turbin, ada tiga macam turbin air, yaitu (Ditjeng Marsudi, 2016):

1. Turbin Kaplan

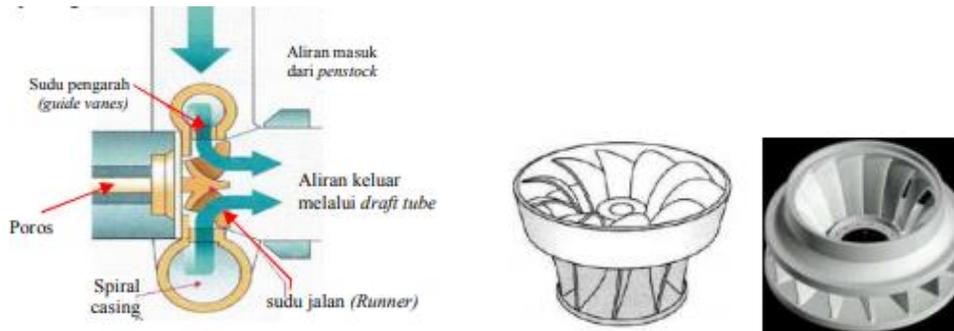
Turbin Kaplan digunakan untuk tinggi terjun yang rendah, yaitu dibawah 20 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik roda air turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Roda air turbin Kaplan menyerupai baling-baling dari kipas angin (Wahyu Hidayat, 2019). Turbin Kaplan terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2: Turbin Kaplan (Wahyu Hidayat, 2019)

2. Turbin Francis

Turbin Francis pada Gambar 3, paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang, yaitu antara 20–400 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin Francis juga disebut sebagai turbin reaksi (Asrori & Eko Yudiyanto, 2016).



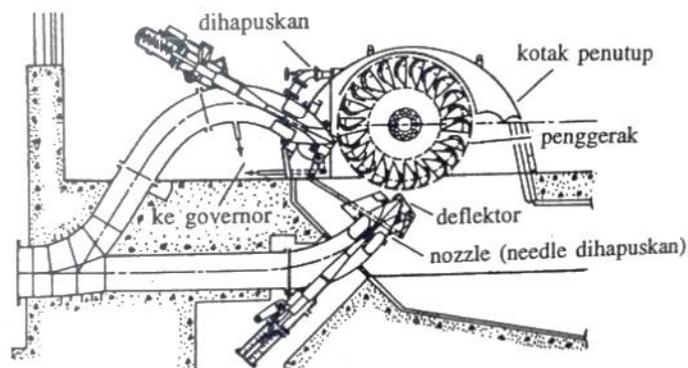
Gambar 3: Turbin Francis (Asrori & Eko Yudiyanto, 2016)

Pipa isap pada turbin ini memiliki tugas yang mirip dengan sudu hantar yang terdapat pada pompa sentrifugal, turbin francis terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan. Air dialirkan kedalam sebuah cincin yang berbentuk spiral. Air yang masuk kedalam turbin bisa dialirkan melalui pengisian air dari atas melalui suatu rumah yang berbentuk spiral. Roda jalan semuanya selalu bekerja. Daya yang dihasilkan turbin bisa diatur dengan cara membuka posisi pembukaan sudu pengarah, dengan demikian kapasitas air yang masuk kedalam roda turbin bisa diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dilaksanakan dengan posisi horizontal atau vertikal (Agy Noto Bawono & Dedy Zulhodayat Noor, 2016). Pada PLTA Pakkat untuk sistem pengendaliannya sudah menggunakan sistem kendali dari jarak jauh. Ditinjau dari segi pengendalian, urutan pengoperasiannya secara sederhana ialah sebagai berikut (PT. Energy Sakti Sentosa, 2015):

- 1) Buka katup *by-pass* dari katup utama
- 2) Apabila tekanan air didepan dan dibelakan katup sudah sama, maka katup utam dibuka.
- 3) Setelah katup utama terbuka penuh dan tekanan air didepan katup pengatur sudah cukup, maka katup pengatur dibuka dan air mulai memutar rotor turbin.
- 4) Setelah turbin berputar pada kecepatan tertentu, *governor* atau *Hydraulic Power Unit* (HPU) akan mengatur kecepatan putar turbin untuk mendekati putaran sinkron.
- 5) Perangkat sinkronisasi akan memparalelkan generator dengan sistem, dengan terlebih dahulu mengatur tegangan melalui sistem eksitasi dan mengatur frekuensi serta fasa melalui *governor* atau *Hydraulic Power Unit* (HPU).
- 6) Setelah generator paralel dengan sistem maka secara telekontrol daya aktif yang dibangkitkan bisa diatur dengan mengirim sinyal ke motor pengatur kecepatan yang ada pada *governor* atau *Hydraulic Power Unit* (HPU).
- 7) Semua besaran dari unit PLTA yang diperlukan bisa dipantau melalui *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Apabila terjadi hal-hal yang tidak normal, maka harus ada sinyal alarm dikirim ke SCADA dan kalau perlu unit PLTA harus bisa diberhentikan secara telekontrol atau otomatis oleh sistem proteksi.

3. Turbin Pelton

Turbin Pelton pada Gambar 4 adalah turbin untuk tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses impuls sehingga turbin Pelton juga disebut sebagai turbin impuls (O.F Patty, 2018).



Gambar 4: Turbin Pelton (O.F Patty, 2018)

Untuk semua macam turbin air diatas, ada katup pengatur yang mengatur banyaknya air yang akan dialirkan ke roda air. Dengan pengaturan air ini, daya turbin dapat diatur. Depan katup pengatur terdapat katup utama yang harus ditutup apabila turbin air dihentikan untuk melaksanakan pengerjaan pemeliharaan atau perbaikan pada turbin. Apabila terjadi gangguan listrik yang

menyebabkan Pemutus Tenaga (PMT) generator *trip*, maka untuk mencegah turbin berputar lebih cepat karena hilangnya beban generator yang diputar oleh turbin, katup pengatur air yang menuju turbin harus ditutup. Penutupan katup pengatur ini akan menimbulkan gelombang air membalik (*water hammer*). *Water hammer* ini menimbulkan pukulan mekanis kepada pipa pesat ke arah atas (hulu) yang akhirnya diredam pada tabung peredam (*surge tank*)

2. METODE

2.1 Spesifikasi Turbin Air pada PLTA Pakkat

Data spesifikasi turbin air PLTA Pakkat terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2: Spesifikasi Turbin Air PLTA Pakkat

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	<i>Francis</i> , Horizontal Spiral
Produksi	Strojirny Brno, a.s.
<i>Rate Net Head</i>	143 m
<i>Power</i>	2900 – 7000 kW
Kecepatan	750 rpm
Debit Pada Kondisi Atas	12 m ³ /s
Debit Max. per unit	5,12 m ³ /s
Debit Min. per unit	0,5 m ³ /s
<i>Spiral case Inlet Diamter</i>	1200 mm
<i>Draft Tube Outlet Diameter</i>	795,6 mm
<i>Diameter Runner</i>	1020 mm
Jumlah <i>Runner Blade</i>	20
Jumlah <i>Guide Vane</i>	20
Bukaan Maks. <i>Guide Vane</i>	69%
<i>Runaway Speed</i>	1300 rpm
Tekanan Normal Operasi <i>Guide Vane</i>	14 bar
Tekanan oli max. <i>Guide Vane</i>	113 bar

2.2 Sistematika Perhitungan

Total energi yang tersedia dari suatu bendungan merupakan energi potensial air pada persamaan 1, yaitu (Khairul, 2013):

$$E_p = m \times g \times h \quad (1)$$

Dimana:

E_p = energi potensial

m = massa air

h = head (tinggi jatuh air)

g = percepatan gravitasi

Daya merupakan energi tiap satuan waktu ($\frac{E}{t}$), sehingga persamaan (1), dapat dinyatakan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} \times g \times h \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan P terhadap ($\frac{E}{t}$), dan mensubstitusikan ρQ terhadap ($\frac{m}{t}$), maka persamaan 3:

$$P = \rho \times Q \times g \times h \quad (3)$$

Dimana:

P = daya potensial air (watt)

ρ = densitas air ($\frac{kg}{m^3}$)

h = head (tinggi jatuh air) (meter)

g = percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

Q = debit aliran air ($\frac{m^3}{s}$)

Untuk menghitung besar daya turbin yang dihasilkan akibat adanya energi kinetik digunakan persamaan 4, sebagai berikut (Aris Munandar, 2016):

$$Pt = T \times \omega \quad (4)$$

Dimana:

P_t = daya turbin akibat adanya energi kinetik (watt)

T = torsi

ω = kecepatan sudut

Kecepatan sudut dapat diperoleh persamaan 5 dengan cara:

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} \quad (5)$$

Dimana:

n = jumlah putaran turbin

Effisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan 6:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

η_t = effisiensi turbin

Daya yang dihasilkan sebenarnya adalah dengan menggunakan perumusan 7 sebagai berikut:

$$P = \rho \times g \times Q \times h \times \eta_t \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Harian PLTA Pakkat

Data harian yang diperoleh dari PLTA Pakkat dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 3: Data *logsheet* pada kondisi beban normal PLTA Pakkat Unit 1

Hari	Tanggal	Jam	Debit (m ³ /s)	Daya Aktif (MW)	Tegangan (V)	Arus (A)	cos phi generator (ϕ)
Selasa	6-Apr-21	14	4,23	5,35	21.2	217	0,99
Rabu	7-Apr-21	14	5,12	6,79	21.2	273	0,99
Kamis	8-Apr-21	14	4,55	5,96	21.1	190	0,99
Jumat	9-Apr-21	14	5,12	6,79	21.2	258	0,99
Selasa	13-Apr-21	14	4,17	5,40	21.1	170	0,99
Rabu	14-Apr-21	14	3,78	4,87	21.1	199	0,99
Kamis	15-Apr-21	14	3,85	4,84	21.2	195	0,99

Berdasarkan data harian (data *logsheet*) PLTA Pakkat Unit 1 pada kondisi beban normal memiliki rata-rata debit sebesar 4,40 m³/s dan daya aktif sebesar 5,71 MW.

Tabel 4: Data *logsheet* pada kondisi beban puncak PLTA Pakkat Unit 1

Hari	Tanggal	Jam	Debit (m ³ /s)	Daya Aktif (MW)	Tegangan (V)	Arus (A)	cos phi generator (ϕ)
Selasa	6-Apr-21	18	4,16	5,42	21.1	214	0,99
Rabu	7-Apr-21	18	5,12	6,79	21.4	271	0,99
Kamis	8-Apr-21	18	4,47	5,76	21.1	182	0,98
Jumat	9-Apr-21	18	4,20	5,48	21.2	208	0,99
Selasa	13-Apr-21	18	4,40	5,71	21	186	0,99
Rabu	14-Apr-21	18	4,48	5,82	21.2	195	0,99
Kamis	15-Apr-21	18	5,12	6,65	21.1	164	0,99

Berdasarkan data harian (data *logsheet*) PLTA Pakkat Unit 1 pada kondisi beban puncak memiliki rata-rata debit sebesar 4,56 m³/s dan daya aktif sebesar 5,94 MW

3.2 Perhitungan Pengaruh Debit terhadap Daya yang dihasilkan

Pada unit 1 PLTA Pakkat memiliki kapasitas 7 MW. Untuk mengetahui pengaruh debit air terhadap daya yang dihasilkan ini dilakukan dengan perhitungan. Daya yang digunakan adalah kondisi aktual atau kondisi yang nyata pada lapangan. Effisiensi turbin berdasarkan hasil pengambilan data aktual di PLTA Pakkat diperoleh:

$$P_t = 7 \text{ MW}$$

$$Q = 5,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = 143 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Dimana:

P_t = Daya yang dibangkitkan turbin akibat adanya energi kinetik (MW)

Q = kapasitas aliran air (m^3/s)

h = tinggi jatuh air efektif (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan efisiensi turbin dengan menggunakan persamaan (8):

$$P = \rho \times Q \times g \times H \quad (8)$$

$$P = 1000 \text{ kg} \times 5,12 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 143 \text{ m}$$

$$P = 7.182.489,6 \text{ W}$$

$$P = 7,18 \text{ MW}$$

Dan menggunakan persamaan (9):

$$\eta_t = \frac{P_t}{P} \times 100 \% \quad (9)$$

$$\eta_t = \frac{7}{7,18} \times 100\%$$

$$\eta_t = 97,49 \%$$

Maka didapat efisiensi turbin sebesar 97,49 % berdasarkan data spesifikasi turbin PLTA Pakkat pada tabel 4.1 dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan pada 06 April 2021 pada pukul 14.00 dengan debit 4,23 m^3/s . Pada beban normal. Maka dapat dicari dengan menggunakan persamaan (10).

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \cdot \eta_t \quad (10)$$

$$P = 1000 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 4,23 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 143 \text{ m} \times 0,974$$

$$P = 5.779.687,65 \text{ W}$$

$$P = 5,77 \text{ MW}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat daya aktif sebesar 5,77 MW berdasarkan data harian dari PLTA Pakkat Unit 1 pada beban normal pada tanggal 06 April 2021. Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5: Hasil Perhitungan Debit terhadap Keluaran Daya PLTA Pakkat pada Beban Normal

Hari	Tanggal	Jam	Debit (m^3/s)	Daya (MW)
Selasa	6-Apr-21	14	4,23	5,77
Rabu	7-Apr-21	14	5,12	6,99
Kamis	8-Apr-21	14	4,55	6,21
Jumat	9-Apr-21	14	5,12	6,99
Selasa	13-Apr-21	14	4,17	5,69
Rabu	14-Apr-21	14	3,78	5,16
Kamis	15-Apr-21	14	3,85	5,26
Rata-rata			4,40	6,01

Maka dari tabel 4.2 dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan pada 06 April 2021 pada pukul 18.00 dengan debit 4,16 m^3/s . Pada beban puncak. Dengan menggunakan persamaan (8).

$$P = \rho \times g \times Q \times h \times \eta_t$$

$$P = 1000 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 4,16 \text{ m}^3/\text{s} \times 143 \text{ m} \times 0,974$$

$$P = 5.684.042,70 \text{ W}$$

$$P = 5,68 \text{ MW}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat daya aktif sebesar 5,68 MW berdasarkan data harian dari PLTA Pakkat Unit 1 pada beban puncak pada tanggal 06 April 2021. Hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil Perhitungan Debit terhadap Keluaran Daya PLTA Pakkat pada Beban Puncak

Hari	Tanggal	Jam	Debit (m^3/s)	Daya (MW)
Selasa	6-Apr-21	18	4,16	5,68
Rabu	7-Apr-21	18	5,12	6,99
Kamis	8-Apr-21	18	4,47	6,10
Jumat	9-Apr-21	18	4,20	5,73
Selasa	13-Apr-21	18	4,40	6,01
Rabu	14-Apr-21	18	4,48	6,12
Kamis	15-Apr-21	18	5,12	6,99
Rata-rata			4,56	6,23

3.3 Penyimpangan Daya (Error)

Dikarenakan adanya perbedaan daya yang dihasilkan antara data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis maka perlu dicari perbedaan antara data aktual dengan data teoritis dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = \frac{P_{\text{teori}} - P_{\text{aktual}}}{P_{\text{aktual}}} \times 100\% \quad (11)$$

- a. Pada 06 April 2021 pada pukul 14.00 dengan debit 4,23 m³/s, pada beban normal. Dengan menggunakan persamaan (11).

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = \frac{P_{\text{teori}} - P_{\text{aktual}}}{P_{\text{aktual}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = \frac{5,77 - 5,35}{5,35} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = 7,85 \%$$

- b. Pada 06 April 2021 pada pukul 18.00 dengan debit 4,16 m³/s, pada beban puncak. Dengan menggunakan persamaan (11).

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = \frac{P_{\text{teori}} - P_{\text{aktual}}}{P_{\text{aktual}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = \frac{5,68 - 5,42}{5,42} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyimpangan Daya} = 4,79 \%$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7: Hasil perhitungan penyimpangan daya pada beban normal PLTA Pakkat Unit 1

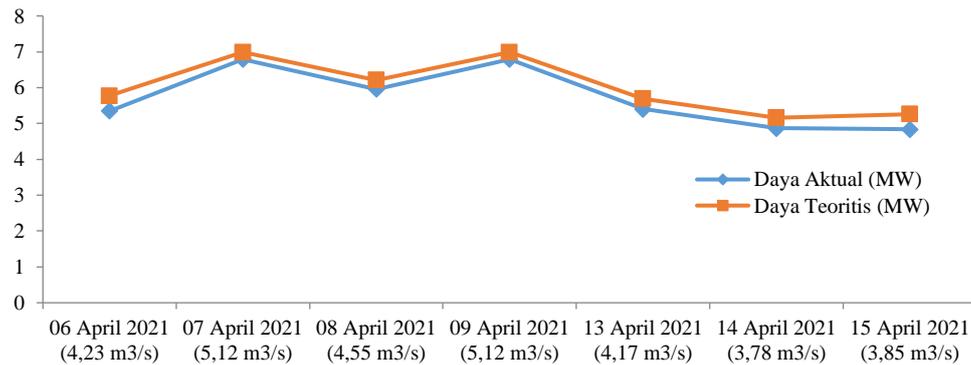
Hari	Jam	Tanggal	Debit (m ³ /s)	Daya (MW)		Penyimpangan (%)
				Aktual	Teori	
Selasa	14	6-Apr-21	4,23	5,35	5,77	7,85
Rabu	14	7-Apr-21	5,12	6,79	6,99	2,94
Kamis	14	8-Apr-21	4,55	5,96	6,21	4,19
Jumat	14	9-Apr-21	5,12	6,79	6,99	2,94
Selasa	14	13-Apr-21	4,17	5,40	5,69	5,37
Rabu	14	14-Apr-21	3,78	4,87	5,16	5,95
Kamis	14	15-Apr-21	3,85	4,84	5,26	8,67
Rata-rata			4,40	5,71	6,01	5,41

Tabel 8: Hasil perhitungan penyimpangan daya pada beban normal PLTA Pakkat Unit 1

Hari	Jam	Tanggal	Debit (m ³ /s)	Daya (MW)		Penyimpangan (%)
				Aktual	Teori	
Selasa	18	6-Apr-21	4,16	5,42	5,68	4,79
Rabu	18	7-Apr-21	5,12	6,79	6,99	2,94
Kamis	18	8-Apr-21	4,47	5,76	6,10	5,90
Jumat	18	9-Apr-21	4,20	5,48	5,73	4,56
Selasa	18	13-Apr-21	4,40	5,71	6,01	5,25
Rabu	18	14-Apr-21	4,48	5,82	6,12	5,15
Kamis	18	15-Apr-21	5,12	6,65	6,99	5,11
Rata-rata			4,56	5,94	6,23	4,88

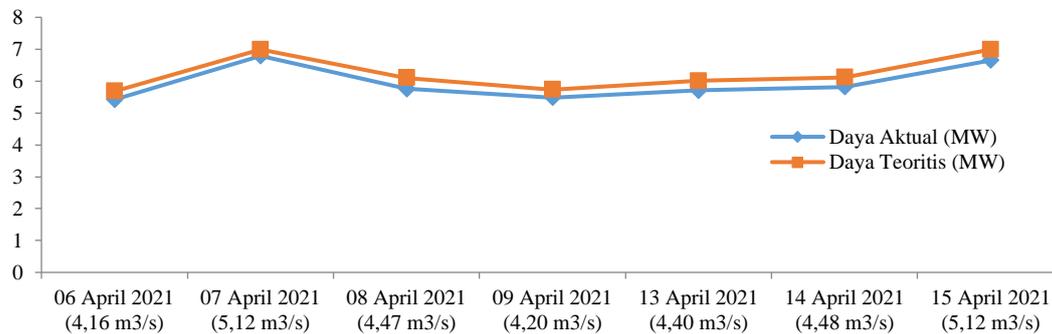
3.4 Diagram perbandingan debit air terhadap daya yang dihasilkan

Dari data debit air dan daya keluaran pada PLTA Pakkat Unit 1, maka dapat dibuat diagram perbandingan terhadap daya aktual dan daya teoritis.



Gambar 5: Diagram pada beban normal data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis pada saat kondisi beban normal didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 5,41 %

Dari perbandingan data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis pada saat kondisi beban normal didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 5,41 %, dan pada saat kondisi beban puncak didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 4,88 %.



Gambar 6: Diagram pada beban puncak data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis dan pada saat kondisi beban puncak didapatkan rata-rata nilai *error* sebesar 4,88 %

Dari hasil perhitungan didapat bahwa pada saat kondisi beban normal nilai rata-rata daya aktual sebesar 5,71 MW lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata daya teoritis sebesar 6,01 MW. Dan pada saat kondisi beban puncak, nilai rata-rata daya aktual sebesar 5,94 MW lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata daya teoritis sebesar 6,23 MW. Adanya perbedaan nilai daya yang dihasilkan dengan perhitungan aktual dan teoritis disebabkan oleh adanya rugi-rugi yang terjadi pada gesekan air pada pipa menuju turbin.

3.5 Pembahasan

PLTA Pakkat adalah perusahaan yang bekerja sama dengan PT.PLN (Perusahaan Listrik Negara). PLN sendiri membedakan waktu pemakaian listrik pelanggannya dengan dua kategori yaitu kondisi beban normal dan kondisi beban puncak. Disebut kondisi beban puncak, karena kondisi pemakaian listrik digunakan secara maksimal dan relatif pelanggan sangat perlu menggunakan listrik dirumahnya. Kondisi beban puncak biasanya berlangsung antara pukul waktu 18.00 – 23.00 dan 04.00 dan 07.00 waktu setempat. Umumnya pada saat kondisi beban puncak, daya yang perlukan relatif lebih besar dibandingkan dengan kondisi beban normal. Namun dengan melihat data yang ada, daya yang dihasilkan oleh PLTA Pakkat pada saat kondisi beban normal dengan kondisi beban puncak tidak berbeda jauh. Tidak jarang juga daya yang dihasilkan pada kondisi beban normal lebih tinggi dibandingkan pada saat kondisi beban puncak. Pada saat kondisi beban puncak dan kondisi beban normal tidak banyak mempengaruhi unjuk kerja turbin. Pengaruh unjuk kerja turbin, sebenarnya adalah faktor cuaca. Apabila curah hujan cukup tinggi maka daya yang dihasilkan tinggi juga, begitupun sebaliknya. Karena dengan kondisi curah hujan tinggi, maka bendungan akan memiliki penyimpanan air yang cukup banyak atau meningkatnya level air pada bendungan. Debit air adalah salah satu parameter untuk menentukan efisiensi turbinnya. Maka dari analisa didapatlah debit air dan efisiensi turbin di setiap waktu operasi berubah-ubah, debit air dan efisiensi turbin di waktu beban puncak yaitu 27 m³/s dan 86,1807 % dan di waktu beban normal yaitu 28 m³/s dan 86,1834 %. (Veronika Siregar, 2018). Melihat perbandingan dengan referensi yang ada, maka volume air yang tersedia menjadi parameter yang sangat penting untuk daya yang dihasilkan pada turbin air. Indikator utamanya adalah curah hujan yang sangat berpengaruh dalam meningkatkan daya yang dihasilkan, dimana air adalah sebagai sumber energi potensial, yang akan dikonversikan menjadi energi listrik. Perbedaan daya yang dihasilkan data aktual dan data teoritis, dimana data teoritis lebih besar dibandingkan dengan data aktual, disebabkan oleh beberapa faktor adanya rugi-rugi pada saat aliran air memasuki terowongan dan juga pipa pesat, dimana aliran air akan

berkurang kecepatannya. Kondisi pipa pesat mengalami sedikit keboran pada sambungannya. Dan terkikisnya *runner* dipengaruhi faktor usia pemakaian.

4. KESIMPULAN

Energi yang dihasilkan PLTA tergantung dari jumlah air yang tersedia, jadi tergantung pada jumlah curah hujan dan kemampuan kolam penampungan sewaktu musim hujan. Apabila jumlah curah hujan cukup besar ada kemungkinan kolam penampungan tidak dapat menampung air yang masuk sehingga terjadi pelimpasan (pembuangan) air. Sebaliknya jika curah hujan rendah maka periode dimana PLTA tidak dapat menghasilkan daya yang maksimal karena kekurangan pasokan air. Perbedaan data daya secara aktual dengan data daya secara teoritis, dipengaruhi oleh beberapa faktor misal adanya rugi-rugi pada saat aliran air memasuki terowongan dan juga pipa pesat, dimana aliran air akan berkurang kecepatannya. Kondisi pipa pesat mengalami sedikit keboran pada sambungannya. Dan terkikisnya *runner* dipengaruhi faktor usia pakainya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih yang sedalamnya karena dukungan finansial yang diberikan oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat, Politeknik Negeri Medan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrori & Yudiyanto, E. (2016). Perencanaan turbin air pembangkit listrik tenaga mini hidro (studi kasus proyek pltm buleleng 2×600 kW, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
- Bawono, A., & Zuhodayat, D. (2016). Perancangan turbin francis pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) Studi Kasus Di Sungai Suku Bajo, Desa Lamanabi, Kecamatan Tanjung Bunga, Kabupaten Flores Timur, NTT. Insitut Teknologi Surabaya.
- Basori, Setyadi W., & Ferdiana R., (2016). Analisis unjuk kerja turbin air pada pusat listrik tenaga air (PLTA) dengan kapasitas 70 mW, *JKEM: Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur Universitas Nasional Jakarta* 3, 131-134.
- Fadli ,K. (2013). Perencanaan Turbin Air. Medan.
- Hidayat,W., (2019). Prinsip Kerja dan Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Bandung. INA Rxiv Papers.
- Irvan Kurniady, I., Amirsyam, & Amrinsyah, (2019). Kapasitas Aliran Terhadap Daya Turbin. *Journal of Electrical and System Control Engineering* 2, 98-115.
- Marsudi, D. (2016). Pembangkitan Energi Listrik, Jakarta. Erlangga.
- Patty, O.F. (2018) Tenaga Air, Erlangga, Jakarta.
- PT Energy Sakti Sentosa. (2015). Dokumen PLTA Pakkat, Pakkat.
- Sutarno.(2013). Sumber Daya Energi. Yogyakarta. Graha Ilmu.