

## Analisis Tingkat Kavitas Turbin Francis di PLTA Batang Agam *Analysis of Francis Turbine Cavitation Rate at Batang Agam Hydroelectric Power Plant*

Rizki Hamdani Putra<sup>1</sup>, Rudi Kurniawan Arief<sup>2</sup>, Muchlisinalahuddin<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3\*</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat  
<sup>1,2,3</sup> Jl. By Pass Aur Kuning No. 1 Bukittinggi, 26111 Indonesia

\*Koresponden Email: muchlisinalahuddin.umsb@gmail.com

Artikel dikirim: 19/09/2021

Artikel direvisi: 19/10/2021

Artikel diterima: 26/10/2021

**Abstrak.** Penelitian ini membahas bagaimana tingkat kavitas pada runner turbin yang terjadi di PLTA Batang Agam. Tujuan dalam penelitian ini menganalisis tingkat kavitas yang terjadi pada pipa saluran input runner turbin. Metode penelitian yang dilakukan menggunakan metode analisis data dengan menggunakan beberapa persamaan yang bersumber dari pustaka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *head* efektif berbanding terbalik dengan debit air yang masuk ke turbin. *Head* efektif tertinggi pada 100,55 m dengan debit 0,9 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan *head* efektif terendah berada pada 96,26 m dengan debit 4,8 m<sup>3</sup>/s. Koefisien kavitas yang diperoleh berbanding lurus dengan aliran air yang masuk ke turbin. Koefisien kavitas terbesar ditunjukkan oleh nilai 0,111157 dengan debit sebesar 4,8 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan koefisien kavitas terkecil adalah 0,106414 dengan debit 0,9 m<sup>3</sup>/s. Koefisien kavitas yang diperoleh berbanding lurus dengan kecepatan spesifik. Koefisien kavitas terbesar adalah 0,111157 dengan kecepatan spesifik 147.158 rpm. Sedangkan koefisien kavitas terkecil dengan nilai 0.106414 dengan kecepatan spesifik 62.318 rpm. Unit turbin 3 PLTA Batang Agam mengalami kavitas berdasarkan analisis yang ditunjukkan dengan nilai koefisien kavitas dan kecepatan spesifiknya.

Kata kunci: Kavitas, Pembangkit Listrik Tenaga Air, Turbin Francis

**Abstract.** This study discusses how the cavitation level in the turbine runner occurs at the Batang Agam hydropower plant. The purpose of this study is to analyze the level of cavitation that occurs in the turbine runner input line pipe. The research method was carried out using data analysis methods using several equations sourced from the library. The results show that the effective head is inversely proportional to the flow of water entering the turbine. The highest effective head is at 100.55 m with a discharge of 0.9 m<sup>3</sup>/s. While the lowest effective head is at 96.26 m with a discharge of 4.8 m<sup>3</sup>/s. The cavitation coefficient obtained is directly proportional to the flow of water entering the turbine. The largest cavitation coefficient is indicated by a value of 0.111157 with a discharge of 4.8 m<sup>3</sup>/s. While the smallest cavitation coefficient is 0.106414 with a discharge of 0.9 m<sup>3</sup>/s. The cavitation coefficient obtained is directly proportional to the specific velocity. The largest cavitation coefficient is 0.111157 with a specific speed of 147,158 rpm. While the smallest cavitation coefficient with a value of 0.106414 with a specific speed of 62,318 rpm. Turbine unit 3 PLTA Batang Agam cavitation based on the analysis indicated by the value of the cavitation coefficient and specific speed.

Keywords: Cavitation, Hydroelectric Power Plant, Francis Turbine

### 1. PENDAHULUAN

PLTA Batang Agam merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air tertua di Sumatera Barat yang terletak di Kabupaten Lima Puluh Kota[1]. PLTA ini mulai digunakan pada tahun 1976[2]. Putaran turbin generator pada *power house* memanfaatkan potensi air sungai Batang Agam yang dibendung dan dialirkan menuju kolam tando dan diteruskan melalui terowongan *headrace tunnel* sepanjang 1.080 m. PLTA Batang Agam terdiri dari 3 Unit mesin pembangkit dengan daya terpasang 10,5 MW. Peralatan utama PLTA Batang Agam berupa: Turbin, Generator dan Transformator.



Menurut fakta di lapangan pada saat PLTA Batang Agam beroperasi di beban tertentu menyebabkan tingkat vibrasi tinggi, salah satu indikasi vibrasi pada turbin generator terjadinya kavitasi. Kavitasi adalah gelembung-gelembung air yang menyebabkan pengikisan, suara bising dan getaran pada komponen turbin[3]. Fenomena kavitasi tersebut dapat diprediksi dengan menghitung angka *Thoma* ( $\sigma$ ) agar tidak melewati angka kritis yang sudah ditentukan sesuai spesifikasi turbinnya[4].

Penelitian mengenai analisa kavitasi turbin Francis sebelumnya pernah dilakukan pada tahun 2016 di PLTA Soedirman dan hasil penelitian ini ditemukan bahwa tingkat kavitasi pada turbin Francis dipengaruhi oleh besar bukaan *guide vane*[5]. Dengan semakin besarnya bukaan *guide vane* pada turbin Francis maka diperlukan lebih banyak debit air yang mengalir untuk mendapatkan *head* yang ditentukan[6][7]. Sementara penelitian lainnya pada tahun 2011 menunjukkan bahwa penyebab tingkat kavitasi yang terjadi pada turbin air semakin meningkat adalah karena semakin tingginya nilai *head*[8]. Hasil penelitian menyebutkan bahwa sebaiknya pengoperasian turbin francis di beban terbesar dihindari untuk mengurangi resiko tingkat kavitasi yang tinggi[9]. Dimana dalam strategi pengoperasian lebih baik pengoperasian unit dilakukan menggunakan unit yang lebih banyak dengan beban rendah dari pada hanya dengan satu unit namun dengan beban operasi tinggi[4][10].

Tujuan dari penelitian ini melakukan analisis tingkat kavitasi yang terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Air yang berada di Batang Agam.

## 2. METODE.

Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang bersumber dari pustaka, persamaan yang digunakan.

### a) Persamaan bernoulli

Persamaan energi dari selisih antara tinggi air atas dengan air bawah pada suatu aliran air di dalam pipa[11].

$$W = m \cdot g \cdot z + \frac{1}{2} m \cdot v^2 + p \cdot V = \text{konstan} \quad (1)$$

### b) Persamaan head efektif

Head efektif disini adalah tinggi air jatuh efektif (tinggi air jatuh bersih) suatu turbin air yang merupakan selisih dari head air atas dengan head air bawah. Head di sini adalah penjumlahan head tekanan, head kecepatan dan head elevasi. Persamaan head efektif diperoleh dari selisih persamaan ketinggian dalam persamaan Bernoulli[12].

$$H_{eff} = \left[ Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right] - \left[ Z_2 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right] \quad (2)$$

### c) Persamaan kecepatan spesifik.

Kecepatan spesifik turbin merupakan kecepatan turbin dimana dapat dihasilkan untuk setiap tinggi air jatuh[13].

$$(H)n_s = \frac{n\sqrt{P}}{(H)^{5/4}} \quad (3)$$

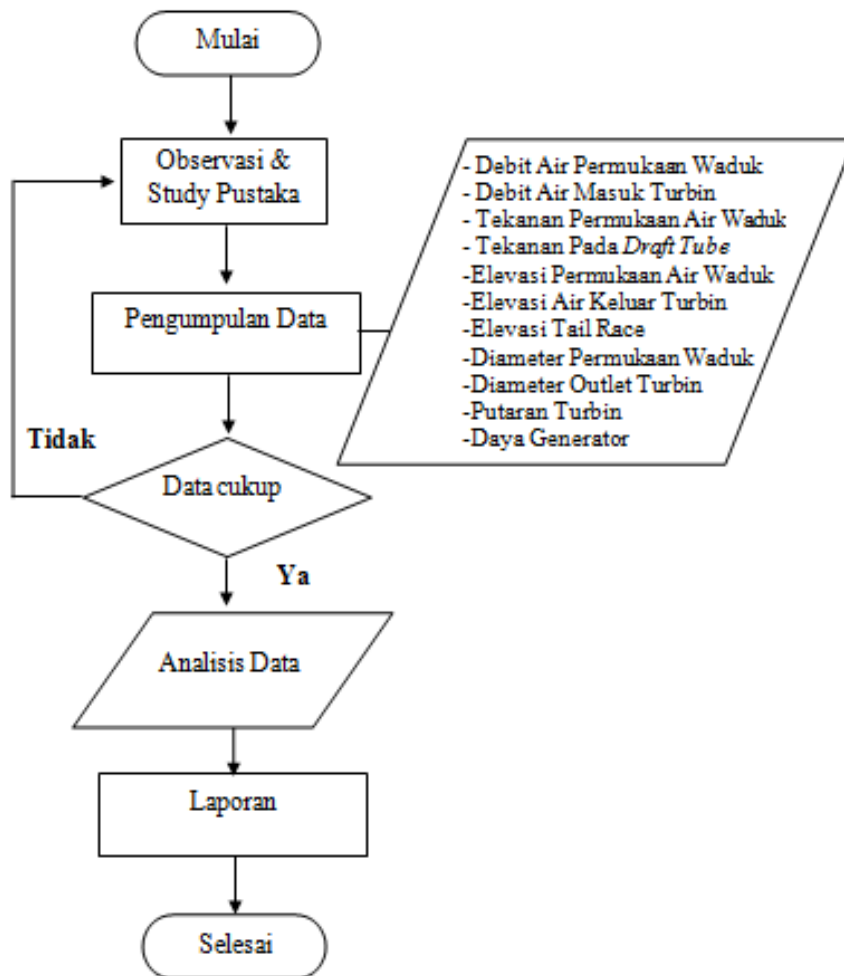
d) Persamaan koefisien kavitasi.

Koefisien kavitasi adalah suatu nilai yang menunjukkan bahwa apakah suatu turbin memasuki daerah bahaya kavitasi atau daerah aman kavitasi. Sehingga nantinya bisa dibandingkan dengan kecepatan spesifik untuk mengetahui tingkat kavitasi[14]. Koefisien kavitasi dinotasikan dengan bilangan Thoma ( $\sigma$ )[15].

$$\sigma = \frac{H_{atm} - H_v - H_s}{H} \quad (4)$$

Tahapan penelitian ini sesuai dengan diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 1.

- Observasi dan studi pustaka.
- Pengumpulan data yang dibutuhkan untuk analisis perhitungan.
- Setelah data yang dikumpulkan cukup dilakukan analisis data yang telah dikumpulkan.
- Data hasil analisis dibuatkan ke dalam laporan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN.

#### 3.1 Data hasil observasi lapangan

Tabel 1. Data hasil observasi di PLTA Batang Agam.

Data	Nilai
Massa jenis air ( $\rho_{air}$ )	997,1 kg/m <sup>3</sup>
Percepatan gravitasi ( $g$ )	9,81 m/s
Luas permukaan Waduk ( $A_1$ )	45000 m <sup>2</sup>
Diameter <i>inlet draft tube</i> ( $D_2$ )	810 mm (0.81 m)
Debit permukaan air waduk ( $Q_1$ )	0 m <sup>3</sup> /s
Debit air masuk turbin ( $Q_2$ )	
700 kW	0.9 m <sup>3</sup> /s
1800 kW	2.4 m <sup>3</sup> /s
2000 kW	2.7 m <sup>3</sup> /s
2300 kW	3.1 m <sup>3</sup> /s
2500 kW	3.4 m <sup>3</sup> /s
2800 kW	3.7 m <sup>3</sup> /s
3000 kW	4.1 m <sup>3</sup> /s
3500 kW	4.81 m <sup>3</sup> /s
Tekanan permukaan air waduk ( $p_1$ )	0 N/m <sup>2</sup>
Tekanan pada <i>draft tube</i> ( $p_2$ )	-0,4 kg/cm <sup>2</sup> (-4000 N/m <sup>2</sup> )
Elevasi permukaan air waduk ( $z_1$ )	683.00 Mdpl
Elevasi sensor tekanan <i>draft tube</i> ( $z_2$ )	582.70 dpl

#### 3.2 Data perhitungan head efektif.

Perhitungan *Head* efektif beban 700 kW.

$$H_{eff} = \left[ Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right] - \left[ Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \right]$$

$$H_{eff} = \left[ \frac{0 - (-4000)}{997.1 \times 9.81} \right] + \left[ \frac{0^2 - 1.7476^2}{2 \times 9.81} \right] + (683.00 - 582.70)$$

$$H_{eff} = \left[ \frac{4000}{9781.551} \right] + \left[ \frac{0 - 3.054}{219.620} \right] + (100.30)$$

$$H_{eff} = (0.4089) = (-0.1557) + (100.30)$$

$$H_{eff} = 100.55 \text{ m}$$

#### 3.3 Data perhitungan kecepatan spesifik

Beban 700 kW

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{(H)^{5/4}}$$

$$n_s = \frac{750\sqrt{700}}{(100.55)^{5/4}}$$

$$n_s = \frac{750 \times 26.547}{318.403}$$

$$n_s = 62.318 \text{ rpm}$$

3.4 Data perhitungan koefisien kavitas.

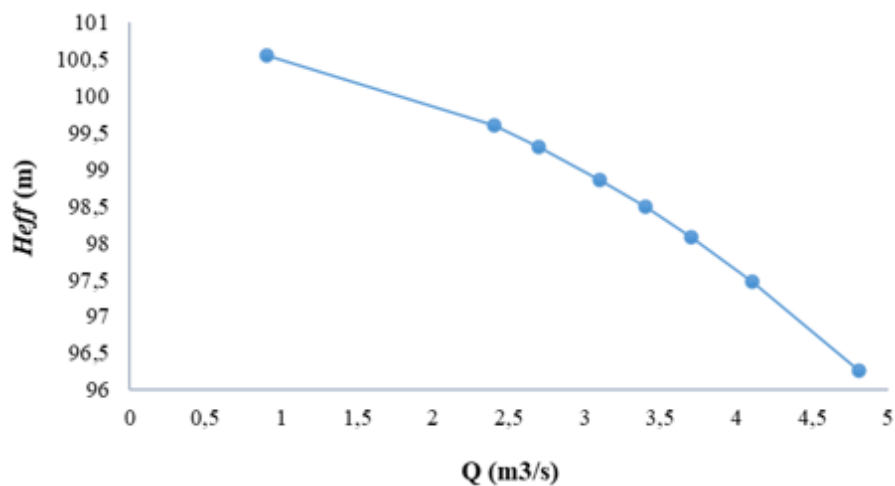
Beban 700 kW.

$$\sigma = \frac{9.62 - 0.32 - (-1.4)}{100.55} = 0.106414$$

3.5 Perbandingan hasil perhitungan head efektif dan debit air masuk turbin.

Tabel 2. Data perbandingan debit air masuk turbin dan *head* efektif.

No.	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H_{eff}$ (m)
1	0,9	100,55
2	2,4	99,60
3	2,7	99,31
4	3,1	98,86
5	3,4	98,49
6	3,7	98,08
7	4,1	97,48
8	4,8	96,26



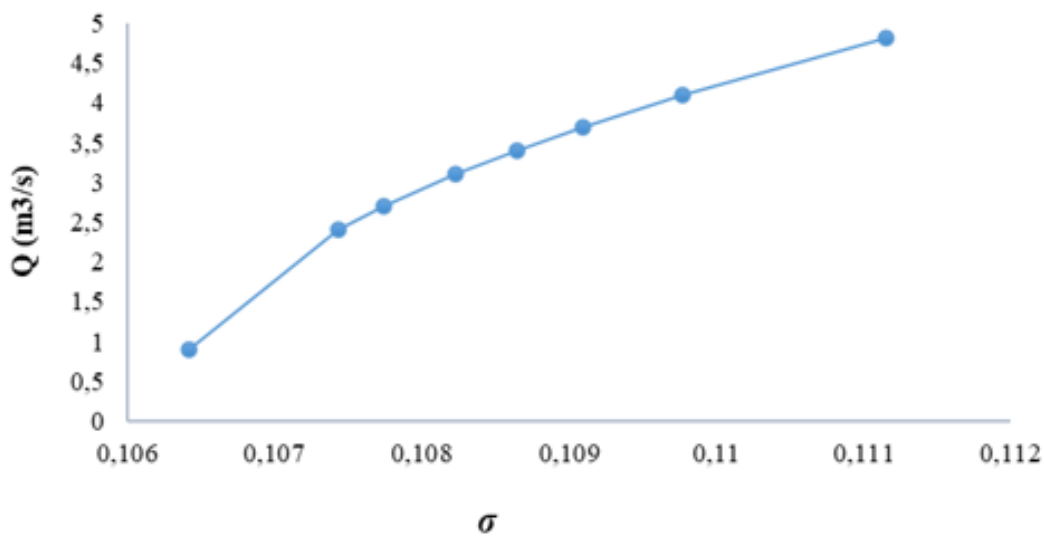
Gambar 2. Grafik perbandingan debit air masuk turbin dan *head* efektif.

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui *head* efektif menurun jika debit naik dan berlaku sebaliknya. *Head* efektif tertinggi berada di 100,55 m dengan debit pada 0,9 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan *head* efektif terendah berada pada 96,26 m dengan debit sebesar 4,8 m<sup>3</sup>/s.

3.6 Perbandingan hasil perhitungan koefisien kavitasasi dan debit air masuk turbin.

Tabel 3. Data perbandingan koefisien dan debit air masuk turbin

No.	$\sigma$	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
1	0,106414	0,9
2	0,107429	2,4
3	0,107745	2,7
4	0,108233	3,1
5	0,108643	3,4
6	0,109094	3,7
7	0,109768	4,1
8	0,111157	4,8



Gambar 3. Grafik perbandingan koefisien kavitasasi dan debit air masuk turbin

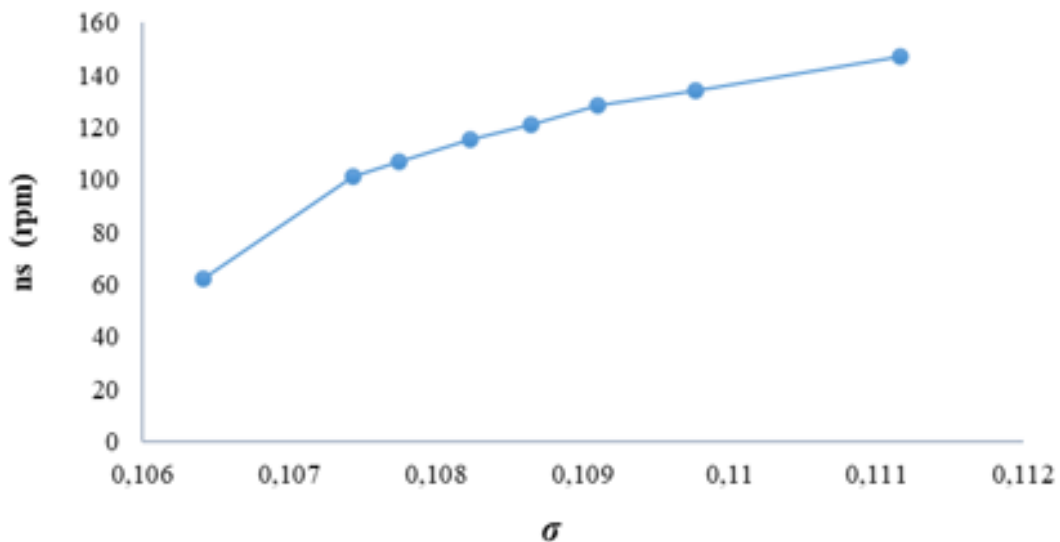
Berdasarkan gambar 3 dapat diketahui koefisien kavitasasi meningkat saat debit naik dan berlaku sebaliknya. Koefisien kavitasasi terbesar ditunjukkan oleh nilai 0,111157 dengan debit air masuk turbin 4,8 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan koefisien kavitasasi terkecil pada 0,106414 dengan debit sebesar 0,9 m<sup>3</sup>/s.

Koefisien kavitasasi yang yang tinggi menandakan tingkat kavitasasi kecil, maksudnya kemungkinan terjadinya kavitasasi semakin rendah. Sebaliknya koefisien kavitasasi yang tinggi menandakan tingkat kavitasasi besar, maksudnya kemungkinan terjadinya kavitasasi semakin lebih tinggi.

3.7 Perbandingan hasil perhitungan koefisien kavitasasi dan kecepatan spesifik

Tabel 4. Data perbandingan koefisien kavitas dan kecepatan spesifik

No.	$\sigma$	$n_s$ (rpm)
1	0,106414	62,318
2	0,107429	101,126
3	0,107745	106,990
4	0,108233	115,385
5	0,108643	120,866
6	0,109094	128,578
7	0,109768	134,115
8	0,111157	147,158



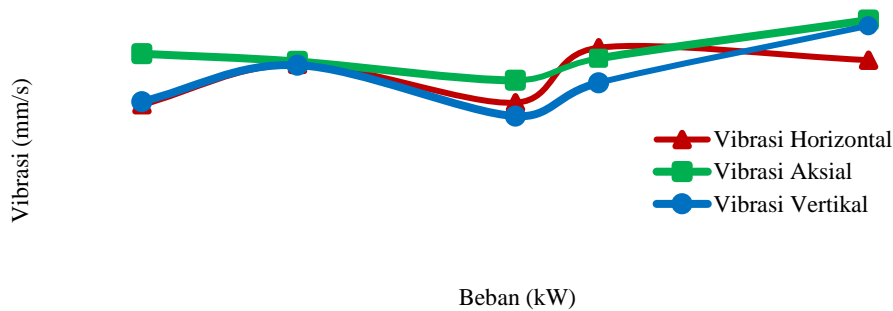
Gambar 4. Grafik perbandingan koefisien kavitas dan kecepatan spesifik.

Pada Gambar 4 dapat dilihat kecepatan spesifik berbanding lurus dengan koefisien kavitas. Koefisien kavitas terbesar berada di nilai 0,111157 dengan kecepatan spesifik sebesar 147,158 rpm. Sedangkan koefisien kavitas terkecil dengan nilai 0,106414 dengan kecepatan spesifik 62,318 rpm. Kesimpulan yang didapatkan adalah tingginya tingkat kavitas dipengaruhi oleh koefisien kavitas yang kecil, sehingga kemungkinan memasuki bahaya kavitas lebih besar dan berlaku sebaliknya.

Berdasarkan gambar 4 didapatkan hasil bahwa dalam pengoperasiannya PLTA Batang Agam unit 3 hampir memasuki daerah bahaya kavitas sehingga kemungkinan mengalami vibrasi. Hal ini dibuktikan dengan turbin generator yang juga mengalami vibrasi akibat adanya kavitas turbin[16].

Tabel 5. Data hasil pengukuran vibrasi

Beban (kW)	Velocity Horizontal (mm/s rms)	Velocity Vertikal (mm/s rms)	Velocity Aksial (mm/s rms)
0	0,474	0,483	0,618
750	0,588	0,568	0,596
1800	0,480	0,442	0,543
2200	0,635	0,536	0,605
3500	0,474	0,697	0,713



Gambar 5. Grafik data hasil pengukuran vibrasi

#### 4 SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan, Nilai *head* efektif berbanding terbalik dengan debit air yang masuk ke dalam turbin. *Head* efektif tertinggi berada di 100,55 m dengan debit pada 0,9 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan *head* efektif terendah berada pada 96,26 m dengan debit sebesar 4,8 m<sup>3</sup>/s. Koefisien kavitasi yang didapatkan berbanding lurus dengan debit air masuk turbin. Koefisien kavitasi terbesar ditunjukkan oleh nilai 0,111157 dengan debit air masuk turbin 4,8 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan koefisien kavitasi terkecil pada 0,106414 dengan debit sebesar 0,9 m<sup>3</sup>/s. Koefisien kavitasi yang didapatkan berbanding lurus dengan kecepatan spesifik. Koefisien kavitasi terbesar berada di nilai 0,111157 dengan kecepatan spesifik sebesar 147,158 rpm. Sedangkan koefisien kavitasi terkecil dengan nilai 0,106414 dengan kecepatan spesifik 62,318 rpm. Turbin unit 3 PLTA Batang Agam telah mengalami kavitasi berdasarkan analisa yang ditunjukkan oleh nilai koefisien kavitasi serta kecepatan spesifiknya. Tingkat kavitasi kecil atau masih dalam daerah aman kavitasi sehingga tidak mengakibatkan kerusakan yang besar terhadap *runner* dan turbin.

#### REFERENSI

- [1] H. Hariadi, M. Muchlisinalahuddin, and M. Meilisa, "ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA TURBIN PLTA BATANG AGAM TERHADAP KONDISI PADA SAAT KOMISIONING," *Rang Tek. J.*, vol. 4, no. 2, 2021, doi: 10.31869/rtj.v4i2.2667.



- [2] E. Kurniawan *et al.*, “Kajian Potensi Peningkatan Daya Terpasang PLTA Sebagai Pemanfaatan Surplus Debit Air Unit PLTA Batang Agam PLN PUSLITBANG, PT PLN (PERSERO),” *Rotasi*, vol. 23, no. 1, pp. 32–38, 2021.
- [3] J. Delly, “Pengaruh Temperatur terhadap Terjadinya Kavitas pada Sudu Pompa Sentrifugal,” *Dinamika*, vol. 1, no. 1, pp. 21–28, 2009.
- [4] M. M. M. Θεοδωροϋ, G. B. Paz, and A. A. B. Ruíz, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” vol. 3, no. 2017, pp. 54–67, 2020.
- [5] X. Huang and X. Escaler, “Added mass effects on a Francis Turbine runner with attached blade cavitation,” *Fluids*, vol. 4, no. 2, 2019, doi: 10.3390/fluids4020107.
- [6] U. G. Mada, “ANALISA KAVITASI YANG TERJADI PADA TURBIN FRANCIS DI PLTA PB SOEDIRMAN TRIHARDIKA BIANTORO, Ir. Soeadgihardo Siswantoro, MT,” 2016.
- [7] P. P. Gohil and P. Saini, “Cavitating turbulent flow study for low head francis turbine by transient analysis,” *Int. J. Fluid Mach. Syst.*, vol. 12, no. 1, 2019, doi: 10.5293/IJFMS.2019.12.1.022.
- [8] E. Thriana, K. Muhajir, and G. Badrawada, “Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Daya Turbin Air Francis Pada Sub Unit Plta Jelok Semarang,” *J. Teknol. IST AKPRIND*, vol. 1, no. 1, pp. 9–13, 2008.
- [9] P. P. Gohil and R. P. Saini, “Unsteady simulation of cavitating turbulent flow for low head Francis turbine,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 240, no. 2, doi: 10.1088/1755-1315/240/2/022007.
- [10] T. C. K. Watt, D. Kp, and M. Jawa, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbin Air Mikro Hidro,” no. D1, pp. 76–83.
- [11] BPSDM Kementerian PU, “Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum,” *Perenc. Tek. Air Minum Dengan Menggunakan Progr. Apl. Pengenalan Progr. Epanet*, pp. 1–16, 2018.
- [12] M. Z. Arifin, “Analisa Unjuk Kerja Dan Tingkat Kavitas Pada Turbin Francis Di PT PJB Unit Pembangkitan Brantas UNIT PLTA Sutami,” pp. 8–14, 2017.
- [13] D. Sugiyanto, “Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan Dengan Variasi Debit Air,” *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 31–42, 2016, doi: 10.52447/jktm.v1i1.331.
- [14] Q. Chatenet, E. Remy, M. Gagnon, M. Fouladirad, and A. S. Tahan, “Modeling cavitation erosion using non-homogeneous gamma process,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 213, 2021, doi: 10.1016/j.res.2021.107671.
- [15] E. Yohana and M. F. Majiid, “ANALISIS NUMERIK DAN VALIDASI KASUS KAVITASI POMPA SENTRIFUGAL MISSION MAGNUM I MENGGUNAKAN CFD,” *ROTASI*, vol. 18, no. 3, 2016, doi: 10.14710/rotasi.18.3.89-92.

- [16] P. Szulc and A. MacHalski, "The flow deteriorations in course of the partial load operation of the middle specific speed Francis turbine," *Open Eng.*, vol. 9, no. 1, 2019, doi: 10.1515/eng-2019-0035.