

ANALISA KERUGIAN PEMBANGKIT AKIBAT KEBOCORAN AIR MELALUI GUIDE VANE : STUDI KASUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR BAKARU

Nur Hamzah^{1,*}, Muhammad Ruswandi Djalal², Muhammad Sulfajar Mas'ud³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, 90245

*E-mail: hamzah_said@poliupg.ac.id

Diterima: 17 Januari 2023

Direvisi: 19 Mei 2023

Disetujui: 29 Juli 2023

ABSTRAK

Untuk menjaga keandalan pembangkit agar terus beroperasi secara maksimal, maka dari itu dari pihak manajemen perusahaan telah menyusun beberapa kegiatan pemeliharaan yang terjadwal. Akibat dari keterlambatan pemeliharaan sangat berdampak pada beberapa peralatan sehingga mengalami kerusakan yang fatal. Salah satu problem mekanis yang terjadi pada PLTA BAKARU ialah kebocoran air yang terjadi pada bagian guide vane. Pada unit PLTA Bakaru, dampak dari kebocoran guide vane ini dapat menyebabkan pembangkit trip dengan indikasi 133 QBL dan mengharuskan unit keluar perusahaan dalam beberapa waktu. Dengan demikian akibat dari gangguan tersebut menjadi kerugian bagi perusahaan karena tidak dapat memproduksi listrik. Dari hasil Analisa didapatkan jumlah air yang diperlukan untuk membangkitkan 1 kwh pada unit 1 PLTA bakaru adalah 0,000295 m³/s, besarnya kerugian energi yang ditimbulkan akibat kebocoran pada guide vane adalah 121.975,031 kWh pada tahun 2015; 41.933,26 kWh pada tahun 2016; 135.591,42 kWh pada tahun 2017; dan 518.637,17 kWh pada tahun 2018, kerugian daya juga terjadi pada penggunaan pompa untuk penanganan kebocoran sebesar 75 kW. jumlah konsumsi air terus meningkat dari tahun 2015 hingga 2018 sebelum overhaull dan setelah dilakukan pemeliharaan overhaull nilai SWC menurun hingga 0,29365 pada pengoperasian beban unit 63 MW.

Kata kunci: PLTA Bakaru, Guide Vane, Kebocoran, SWC

ABSTRACT

To maintain the reliability of the plant so that it continues to operate optimally, therefore the company management has arranged several scheduled maintenance activities. The result of the delay in maintenance had an impact on some equipment so that it suffered fatal damage. One of the mechanical problems that occur in PLTA BAKARU is water leakage that occurs in the guide vane. At the PLTA Bakaru unit, the impact of this guide vane leak can cause the generator to trip with an indication of 133 QBL and require the unit to leave the concession for some time. Thus the result of the disturbance becomes a loss for the company because it cannot produce electricity. From the results of the analysis, it was found that the amount of water needed to generate 1 kwh in unit 1 of PLTA Bakaru was 0.000295 m³ / s, the amount of energy loss caused by leaks in the guide vane was 121,975,031 kWh in 2015; 41,933.26 kWh in 2016; 135,591.42 kWh in 2017; and 518,637.17 kWh in 2018, power losses also occurred in the use of pumps for handling leakages of 75 kW. the amount of water consumption continued to increase from 2015 to 2018 before the overhaull and after overhaull maintenance the SWC value decreased to 0.29365 at 63 MW unit load operations.

Keywords: PLTA Bakaru, Guide Vane, Leaks, SWC

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air bakaru merupakan pembangkit listrik yang menyuplai sistem transmisi sulselrabar. Daya yang disuplay ke jaringan sebesar 126 MW untuk 2 unit yang beroperasi pada beban maksimal (Muhammad, Herman, Sonong, & Marhatang, 2019). Saat ini, PLTA Bakaru telah beroperasi selama 27 tahun (Djalal, Yunus, Nawir, & Imran, 2017). Pada pembangkit yang beroperasi secara terus menerus pasti akan mengalami gangguan baik dari peralatan mekanis maupun peralatan electrical (Dermawan, Ramadhan, & Ruswandi, 2015).

Untuk menjaga keandalan pembangkit agar terus beroperasi secara maksimal, maka dari itu dari pihak manajemen perusahaan telah menyusun beberapa kegiatan pemeliharaan yang terjadwal seperti, Annual Inspection (AI) rutin dilakukan setiap tahun, General Inspection (GI) dilaksanakan setiap 3 tahun, dan Major Overhaul (MO) dilakukan setiap 6 tahun (Arismunandar, 1982).

Dengan dilakukan pemeliharaan secara rutin dianggap dapat meminimalisir kerusakan pada peralatan. Namun, untuk jenis pemeliharaan Major Overhaul (MO) sering sekali mengalami keterlambatan dalam pelaksanaannya. Akibat dari keterlambatan pemeliharaan ini sangat berdampak pada beberapa peralatan sehingga mengalami kerusakan yang fatal. Salah satu problem mekanis yang terjadi pada PLTA BAKARU ialah kebocoran air yang terjadi pada bagian guide vane.

Faktor utama penyebab kerusakan pada guide vane adalah abrasi air. Kandungan pasir kuarsa pada air yang cenderung meningkat akibat menumpuknya sedimen pada daerah bendungan. Kebocoran yang terjadi pada guide vane terus meningkat setiap tahun. Sehingga, kerusakan ini dianggap menjadi kerugian yang signifikan bagi pembangkit.

Beberapa metode penanganan telah dilakukan seperti penggantian beberapa spare part untuk bagian guide vane yang mengalami kerusakan seperti stem liner, u-packing, dan upper bushing. Namun hal ini tidak dapat bertahan dalam waktu yang lama. Beberapa karya inovasi juga telah dilakukan seperti penggunaan metode infus agar pembangkit tetap dapat beroperasi (Arifin, 2017).

Salah satu jurnal penelitian juga telah membahas mengenai pengaruh kebocoran yang

terjadi pada guide vane. Penelitian ini membahas tentang dampak yang ditimbulkan akibat adanya aliran yang bocor pada guide vane. Kebocoran aliran ini disebabkan dari clearance antara guide vane dan facing plate yang semakin besar (Harway, 1993). Kesimpulan pada penelitian tersebut adalah semua ukuran clearance guide vane yang melebihi 1 mm menyebabkan aliran silang turbulen yang bercampur dengan aliran utama dan mengganggu kondisi aliran masuk pada runner (Kartini, 2011). Aliran silang berkecepatan tinggi seperti itu menghalangi lintasan aliran disisi hisap dan karenanya mengubah distribusi tekanan. Perubahan seperti itu meningkatkan torsi pada poros guide vane secara signifikan dan dapat mempengaruhi sistem kontrol untuk mengatur bukaan guide vane (Thapa, Dahlhaug, & Thapa, 2017).

Pada unit PLTA Bakaru, dampak dari kebocoran guide vane ini dapat menyebabkan pembangkit trip dengan indikasi 133 QBL dan mengharuskan unit keluar perusahaan dalam beberapa waktu. Dengan demikian akibat dari gangguan tersebut menjadi kerugian bagi perusahaan karena tidak dapat memproduksi listrik. Maka dari itu, dalam kesempatan ini penulis akan mengangkat judul “*Analisa kerugian pembangkit akibat kebocoran air melalui guide vane : studi kasus pada pembangkit listrik tenaga air Bakaru*”.

Analisis Kebutuhan Energi

Menurut Marsudi (Marsudi, 2006) analisis kebutuhan energi listrik meliputi :

- 1) Analisis kebutuhan energi dalam kurun waktu tertentu.
- 2) Analisis kebutuhan daya dalam bentuk kurva beban harian.
- 3) Peran pusat listrik yang akan dibangun dalam operasi pembangkitan sebagai penyedia beban dasar, penyedia beban semi dasar, penyedia beban puncak, atau sebagai unit cadangan.
- 4) Analisis tingkat keandalan kinerja pembangkit, lalu dikaitkan dengan energi hilang akibat gangguan (kWh terputus atau tertunda). Rumus energi hilang akibat gangguan pembangkit (kWh terputus atau tertunda)

Kinerja pusat listrik tenaga air terganggu apabila dalam memproduksi tenaga listrik mengalami gangguan pada pembangkit.

Menurut Marsudi (Marsudi, 2006) kinerja PLTA tergantung pada daya terpasang setiap unit pembangkit dalam sistem dan juga tergantung pada kesiapan operasi unit pembangkit dari gangguan. Kinerja atau keandalan operasi sistem PLTA tergantung pada besar kecilnya gangguan pertahunnya dari unit-unit pembangkit yang beroperasi. Kinerja atau keandalan unit pembangkit dari gangguan dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut (Patty, 1995).

$$\text{kinerja pembangkit} = \frac{\text{jumlah energi}}{\text{jumlah daya}} \quad (1)$$

Specific Water Consumption(SWC)

Dengan mengetahui nilai specific water consumption (SWC) dan energi listrik yang dihasilkan, maka debit air dapat ditentukan. Metoda ini sangat efisien karena PLTA mempunyai catatan data energi yang dibangkitkan tiap harinya (biasanya per jam). Dengan demikian, jika diinginkan data debit air yang panjang, hal ini bisa dilakukan selama PLTA juga mempunyai catatan mengenai daya/energi yang dihasilkan selama itu (Tangkilisan, Tumaliang, & Silimang, 2015).

Pada suatu PLTA, nilai swc akan sangat bergantung pada nilai head, dan efisiensi peralatan yang dipergunakan (khususnya efisiensi turbin dan efisiensi generator). Dalam perhitungan Specific Water Consumption (SWC) dipengaruhi oleh dua hal, pertama oleh jumlah debit air perhari, perbulan dan pertahun, kedua oleh jumlah beban rata-rata perhari, perbulan dan pertahun .

$$SWC = \frac{Q}{W} \quad (2)$$

Keterangan :

Q = Jumlah debit air (m³/s)

W = Energi (kWh) Dalam perhitungan ini kita dapat mengetahui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) mana yang lebih efisien dalam pengoperasian.

Pengukuran Debit Aliran

Metode Volumetrik

Pada sungai yang alirannya sangat kecil, pengukuran debit dengan alat ukur arus standar maupun alat ukur arus pigmy tidak dapat dilakukan, maka untuk mendapat hasil yang cukup teliti, pengukuran debit dapat dilakukan dengan cara volumetrik. Pengukuran debit cara volumetrik adalah dengan cara mencatat waktu

yang diperlukan untuk mengisi tempat ukur debit yang kapasitasnya sudah diketahui .

Peralatan pokok yang diperlukan untuk pengukuran dengan cara ini adalah tempat ukur yang sudah ditera dan alat pencatat waktu. Jika Q adalah debit (m³ /detik), V adalah volume, T adalah waktu dan n adalah nomor percobaan. Volume pengukuran dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Qn = \frac{Vn}{Tn} \quad (3)$$

Metode pelampung

Debit dapat ditentukan dengan cara mengukur luas penampang basah dan kecepatan alirannya. Apabila kecepatan alirannya diukur dengan pelampung, maka debitnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = \Sigma(aV) \quad (4)$$

$$V = k.Vp \quad (5)$$

dengan Q = debit total saluran (m³ /det), a = luas bagian penampang basah (m²), V = kecepatan rata-rata pada bagian penampang basah (m/det), k = factor koreksi kecepatan, dan Vp = kecepatan lintasan pelampung (m/det)

Kecepatan lintasan pelampung dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Vp = L / T \quad (6)$$

dengan Vp = kecepatan lintasan pelampung (m/det), L = panjang lintasan pelampung (m), dan T = waktu lamanya lintasan pelampung (det).

METODE PENELITIAN

Tahap Persiapan

Melakukan studi literatur dan mempelajari materi-materi mengenai analisa kerugian akibat kebocoran pada guide vane, perhitungan specific water consumption pada pembangkit, Menentukan parameter apa yang digunakan untuk membuat analisa perhitungan konsumsi air pada pembangkit listrik tenaga air Bakaru unit 1 serta data apa saja yang diperlukan.

Metode Pengambilan Data

Metode yang dilakukan dalam pengambilan data yaitu :

- 1) Menggunakan metode observasi langsung dan pengambilan data trend record pada tahun 2015 - 2018.

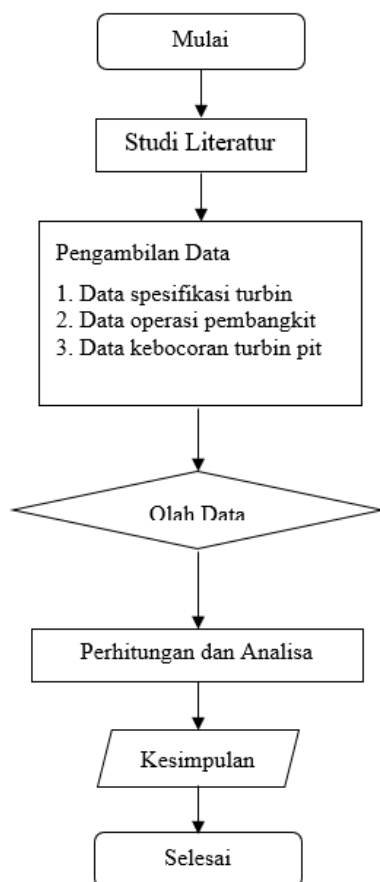
2) Wawancara terhadap para operator dan staff pemeliharaan mengenai kondisi kebocoran air pada turbin pit.

3) pengambilan data pencatatan serta menghitung debit air kebocoran pada drainase pit.

Adapun langkah langkah yang dilakukan untuk menghitung debit air kebocoran pada turbin pit yaitu :

- a) Menyiapkan alat dan bahan seperti ; stopwatch, buku, dan pulpen.
- b) Menghitung luasan bak penampung drainase pit.
- c) Mencatat posisi level bandul sebelum memulai pengamatan.
- d) Memulai pengambilan data.
- e) Mencatat waktu yang diperlukan setiap kenaikan level pada bandul.
- f) Menghitung debit air dengan mengetahui volume dan waktu yang ditempuh.

Menghitung besarnya kerugian akibat kebocoran pada turbin pit



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan data kebocoran guide vane pada drainase pit.

Tabel 1. Data kebocotan *Guide Vane*

Tanggal	Luas drainage pit (m)	Level kenaikan (m)	Waktu (menit)
20/02/2014	45	0,81	30
03/07/2014	45	0,83	18
01/05/2016	45	0,845	13
16/02/2017	45	0,88	8
20/02/2017	45	0,1	0,68
04/04/2018	45	0,14	1
09/05/2018	45	0,1	0,6
03/09/2018	45	0,1	0,95

Pada penelitian ini diambil data dari kebocoran yang terjadi pada guide vane. Untuk data kebocoran diambil dari buku catatan staf pemeliharaan di PLTA Bakaru. Besarnya debit kebocoran dihitung pada bak turbin pit dengan melakukan pemantauan pada bandul dan mencatat besarnya kenaikan level bandul dalam waktu tertentu. Data yang diambil hanya perwakilan data kebocoran yang terjadi untuk setiap tahunnya dari tahun 2014 hingga 2018. Tabel 2 dan 3 menunjukkan hasil pengambilan data pencatatan inspeksi harian operator sebelum dilakukan pekerjaan overhaull.

Tabel 2. Data pencatatan operator sebelum *overhaull*

Tgl.	Jan-15		Jan-16	
	Beban (MW)	Discharge (m3/s)	Beban (MW)	Discharge (m3/s)
1	63	22,7	39,5	16,2
2	63	22,7	42,2	17
3	63	22,6	31,8	13,7
4	57,6	21,4	31,8	15
5	54	20	44	17,6
6	55,1	20,4	33	14,1
7	51,2	19,1	30,3	13,4
8	47,3	18,3	38,3	15,4
9	37	12	38,7	15,7
10	36,7	15	32,3	13,8
11	33,5	14,1	28	12,8
12	36	14,9	33,3	14,3
13	32,3	13,7	42,3	16,6
14	34	14,2	29	13
15	38,3	15,6	34,5	14,6
16	37,8	15,4	36	15
17	35,4	14,7	28	12,8

18	39,6	15,8	35,4	14,9
19	63	22,6	44,7	17,3
20	62,3	22,3	63	22,6
21	63	22,5	55,1	20,7
22	63	22,5	55,5	22,5
23	63	22,5	63	22,6
24	63	22,6	63	22,6
25	63	22,5	63	22,7
26	63	22,5	51	19,6
27	57,5	22,5	33,1	14,2
28	63	22,5	35,1	14,5
29	58,3	21,1	31,9	13,8
30	58,5	22,5	37	14,8
31	63	22,5	42,7	16,9

Tabel 3. Data pencatatan operator sebelum *overhaull*

Tgl.	Jan-17		Jul-18	
	Beban (MW)	Discharge (m ³ /s)	Beban (MW)	Discharge (m ³ /s)
1	50,5	20,3	42,2	17,7
2	39,3	15,9	36,2	16
3	51,4	19,7	55	21,7
4	59,6	20,4	50,6	19,9
5	63	23,1	51,4	21,5
6	63	23	52,3	20,6
7	43,6	18,1	45,8	19
8	50,3	19,5	48,1	20,8
9	36,7	15,9	44,3	18,1
10	41,4	18	36,6	16,8
11	41,5	18,5	38,7	16,9
12	43,8	17,6	44,3	18,3
13	63	23	35,3	16
14	63	23	30	14,5
15	60,9	22,4	41,2	17,7
16	63	23	42,3	18,6
17	56,6	22,7	39,3	17,7
18	53,3	21,2	36,2	16,4
19			37,7	16,9
20	44,8	21,2	45,6	19
21	60,8	22,7	45,5	18,9
22	63	23,4	37,1	16,5
23	63	23,4	44,5	18,6
24	63	23,4	35,8	16,3
25	63	23,2	45,7	19,2
26	63	23,2	50,2	20,3
27	63	23,4	47,4	19
28	63	23,3	37,1	16,2
29	63	23,3	30,7	14,9
30	63	23,2	36,6	16,5
31	63	23,1	41,2	18,2

Tabel 4 menunjukkan hasil pengambilan data pencatatan operator setelah *overhaul*.

Tabel 4. Data pencatatan operator setelah *overhaull*

Des-18		
No.	Beban (MW)	Discharge (m ³ /s)
1	63,1	18,8
2	42,7	13,1
3	39,1	12,5
4	55	16,7
5	47,6	14,6
6	50,4	15,7
7	63	18,5
8	63	18,6
9	63	18,5
10	56	17,4
11	61,8	18,2
12	46,4	14,3
13	47,8	14,3
14	57,9	17,5
15	58,8	17,1
16	59,7	17,6
17	58	17
18	33	10,8
19	39,7	11,9
20	48,2	14,4

Perhitungan konsumsi air per kWh

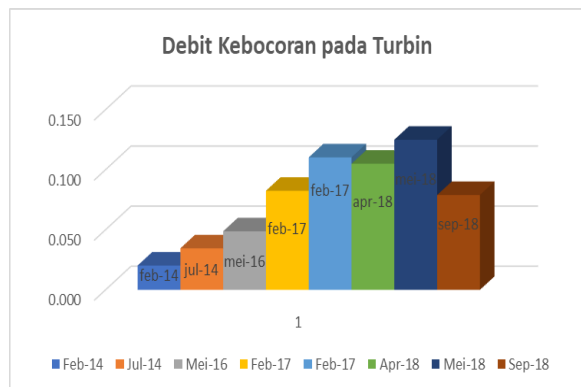
Untuk perhitungan konsumsi air per kWh, maka diambil data real sesuai yang tertera pada buku pencatatan operator setelah dilakukan *ovehaull*. Berdasarkan data yang diperoleh, pada unit 1 pembangkit listrik tenaga air bakaru dapat menghasilkan 63 MW dengan jumlah pemakaian air 18,5 m³/s. Maka, jumlah air yang diperlukan untuk memperoleh 1 kW adalah

$$\begin{aligned}
 1 \text{ MW} &= \frac{18,5}{63} \\
 &= 0,295 \text{ m}^3/\text{s} \\
 1 \text{ kW} &= \frac{0,295}{1000} \\
 &= 0,000295 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan debit air kebocoran

Dengan mengetahui luas drainage pit, maka perhitungan debit dilakukan dengan metode volumetrik. Diambil sampel data pengukuran pada tanggal 9 Mei 2018 pukul 16.00 Wita. Kenaikan level turbin pit setinggi 10 cm dalam waktu 36,5 detik, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Laju kebocoran (} Q_v \text{)} &= \frac{0,1 \text{ m}}{36,5 \text{ s}} \times 45 \text{ m}^2 \\
 &= 0,125 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Grafik Debit Kebocoran Tahun 2014 – 2018

Kerugian energi akibat kebocoran

Kerugian energi ini diperhitungkan terjadi pada saat musim kemarau. Pembangkit listrik tidak dapat beroperasi pada beban maksimal dikarenakan kurangnya inflow pada aliran sungai.

$$\begin{aligned} \text{Energi air yang terbuang (} P_v \text{)} &= \rho \times g \times Q_v \times H \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,125 \text{ m}^3/\text{s} \times 326,68 \text{ m} \\ &= \mathbf{400,18 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Selain itu, kerugian daya juga terjadi pada penggunaan pompa khusus untuk penanganan kebocoran air pada *guide vane* dengan daya sebesar 75 kW yang beroperasi selama 24 jam. Penggunaan pompa grundfos = 75 x 24 = **1800 kWh**

Kerugian juga diperhitungkan akibat pengoperasian pompa drainage secara signifikan untuk membuang air dari drainage pit menuju ke kolam tando. Untuk perhitungan kerugian ini maka diambil salah satu data pengoperasian pompa pada tahun 2014,

Pompa Drainage A (37 kW) :

Pompa on = 13 menit 8 detik = 788 s

Pompa off = 18 menit = 1080 detik s

Jumlah operasi pompa dalam sehari = $\frac{86400 \text{ s}}{788 \text{ s} + 1080 \text{ s}} = 46 \text{ kali/ hari}$

Lama operasi pompa = $\frac{788 \times 46}{3600} = 10,12 \text{ Jam/ hari}$

Kerugian konsumsi energi/ hari = 37 kW x 10,12 jam = **374,44 kWh**

Pompa Drainage B (37 kW) :

Pompa on = 43 menit 5 detik = 845 s

Pompa off = 18 menit = 1080 detik s

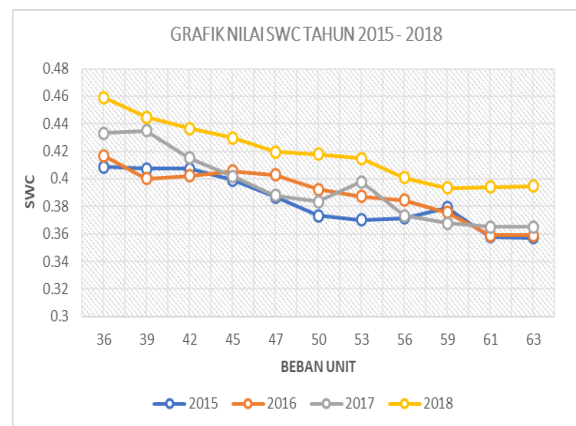
Jumlah operasi pompa dalam sehari = $\frac{86400 \text{ s}}{845 \text{ s} + 1080 \text{ s}} = 44 \text{ kali/ hari}$

Lama operasi pompa = $\frac{845 \times 44}{3600} = 10,53 \text{ Jam/ hari}$

Kerugian konsumsi energi/ hari = 37 kW x 10,53 jam = **389,61 kWh**

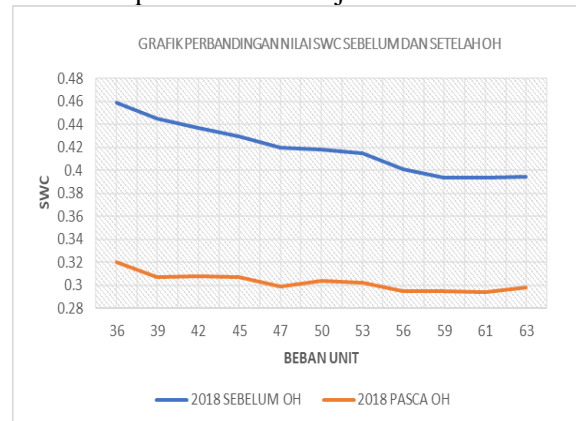
Spesific water consumption

Berdasarkan data pencatatan pembangkit, maka diketahui discharge dalam setiap beban yang bervariasi. Nilai SWC dihitung sebagai gambaran peningkatan konsumsi air dari tahun ke tahun seiring bertambahnya debit kebocoran untuk setiap tahunnya. Nilai SWC juga dijadikan sebagai pembanding besarnya konsumsi air sebelum major overhaull dan setelah major overhaull.



Gambar 3. Grafik Nilai SWC tahun 2015 - 2018

Berdasarkan Gambar 3, terlihat jelas bahwa perbedaan konsumsi air untuk setiap tahunnya. Hal ini juga membuktikan bahwa konsumsi air semakin meningkat sebelum dilakukan pemeliharaan major *overhaull*.



Gambar 4. Grafik Perbandingan nilai SWC sebelum dan setelah Overhaull

Berdasarkan Gambar 4, terlihat jelas bahwa nilai specific water consumption kembali turun setelah dilakukan pemeliharaan Overhaul.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jumlah air yang diperlukan untuk membangkitkan 1 kwh pada unit 1 PLTA bakaru adalah 0,000295 m³/s.
2. Besarnya kerugian energi yang ditimbulkan akibat kebocoran pada guide vane adalah 121.975,031 kWh pada tahun 2015; 41.933,26 kWh pada tahun 2016; 135.591,42 kWh pada tahun 2017; dan 518.637,17 kWh pada tahun 2018.
3. Kerugian daya juga terjadi pada penggunaan pompa untuk penanganan kebocoran sebesar 75 kW.
4. Berdasarkan data nilai SWC yang diperoleh, jumlah konsumsi air terus meningkat dari tahun 2015 hingga 2018 sebelum overhaull.
5. Setelah dilakukan pemeliharaan overhaul nilai SWC menurun hingga 0,29365 pada pengoperasian beban unit 63 MW.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. (2017). *Analisa unjuk kerja dan tingkat kavitasi pada turbin francis di PT. PJB unit pembangkita brangtas unit PLTA Sutami*. ITS, Surabaya.
- Arismunandar, W. (1982). *Penggerak Mula Turbin*: ITB.
- Dermawan, E., Ramadhan, A., & Ruswandi, E. (2015). Sistem Penanggulangan Kegagalan Proteksi Di Gardu Distribusi Tenaga Listrik B 282. *Jurnal Teknologi*, 7, 61-64. doi:10.24853/jurtek.7.2.61-64
- Djalal, M. R., Yunus, M. Y., Nawir, H., & Imran, A. (2017). Optimal Design of Power System Stabilizer In Bakaru Power Plant Using Bat Algorithm. *2017*, 1(2), 6. doi:10.21070/jeee-u.v1i2.1017
- Harway, A. (1993). *Micro Hydro Design Manual: A guide to small- scale waterpower scheme*: ITDG Publishing.
- Kartini. (2011). *Model Perencanaan Penjadwalan Dan Keandalan*

- Pembangkit Dengan Sistem Kelistrikan Terinterkoneksi*: ITS Press.
- Marsudi, D. (2006). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Muhammad, R. D., Herman, N., Sonong, S., & Marhatang, M. J. J. T. (2019). Desain Optimal Power Sistem Stabilizer Pada Unit Pembangkit Bakaru Berbasis Ant Colony Optimization. *21*(3), 70-78.
- Patty, O. F. (1995). *Tenaga Air*. Surabaya: Erlangga.
- Tangkilisan, P. Y., Tumaliang, H., & Silimang, S. (2015). Analisa Perhitungan Specific Water Consumption Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Sistem Minahasa. *2015*, 4(5), 10 %J *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. doi:10.35793/jtek.4.5.2015.9971
- Thapa, B. S., Dahlhaug, O. G., & Thapa, B. (2017). Sediment erosion induced leakage flow from guide vane clearance gap in a low specific speed Francis turbine. *Renewable Energy*, 107, 253-261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.045>

