

Evaluasi Kinerja BFPT Unit 6 PLTU Suralaya Pasca-Overhaul

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Alamsyah Robby Maulana³

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, Indonesia

Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID, alamsyahr77@gmail.com

Abstract

Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) is a critical auxiliary component in steam power plants because it supplies feedwater from the deaerator to the boiler steam drum through the heater system. Continuous operation may reduce pump performance due to leakage, wear, seal damage, abnormal noise, and internal component deterioration. This study evaluates the performance of BFPT Unit 6 at PLTU Suralaya before and after overhaul using performance test data from December 2019 and February 2020. The evaluated parameters include flow rate, suction and discharge velocity, total head, hydraulic power, and pump efficiency. The calculation uses the continuity equation, Reynolds number, head losses, total head, hydraulic power, and pump efficiency. The results show that overhaul increased the efficiency of both BFPT units. BFPT A efficiency increased from 68.98% and 70.00% before overhaul to 72.01% and 73.50% after overhaul. BFPT B efficiency increased from 69.31% and 71.10% to 72.05% and 74.20%. The increase was associated with lower total head and restored mechanical condition after mechanical seal replacement and inner-part repair. Therefore, overhaul improved BFPT performance and should be supported by routine monitoring of leakage, vibration, lubrication, and operating flow.

Keywords: boiler feed pump turbine; overhaul; efficiency; total head; hydraulic power

Abstrak

Boiler Feed Pump Turbine (BFPT) merupakan komponen bantu utama pada PLTU karena berfungsi menyuplai air pengisi dari deaerator menuju steam drum boiler melalui sistem pemanas. Pengoperasian kontinu dapat menurunkan performa pompa akibat kebocoran, keausan, kerusakan mechanical seal, suara abnormal, dan degradasi komponen internal. Penelitian ini mengevaluasi kinerja BFPT Unit 6 PLTU Suralaya sebelum dan sesudah overhaul menggunakan data performance test Desember 2019 dan Februari 2020. Parameter yang dianalisis meliputi debit, kecepatan aliran sisi hisap dan tekan, head total, daya hidrolis, dan efisiensi pompa. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan kontinuitas, bilangan Reynolds, rugi-rugi head, head total, daya hidrolis, dan efisiensi pompa. Hasil menunjukkan bahwa overhaul meningkatkan efisiensi kedua unit BFPT. Efisiensi BFPT A meningkat dari 68,98% dan 70,00% sebelum overhaul menjadi 72,01% dan 73,50% sesudah overhaul. Efisiensi BFPT B meningkat dari 69,31% dan 71,10% menjadi 72,05% dan 74,20%. Kenaikan ini berkaitan dengan penurunan head total dan pemulihan kondisi mekanik melalui penggantian mechanical seal serta perbaikan innerpart. Dengan demikian, overhaul meningkatkan kinerja BFPT dan perlu didukung pemantauan rutin terhadap kebocoran, vibrasi, pelumasan, dan debit operasi.

Kata kunci: boiler feed pump turbine; overhaul; efisiensi; head total; daya hidrolis

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) membutuhkan keandalan komponen utama dan bantu agar proses konversi energi berlangsung stabil. Pada siklus PLTU, air kondensat dipanaskan kembali dan dipompa menuju boiler sehingga kontinuitas suplai feedwater menjadi faktor penting untuk menjaga operasi unit [1,2]. Salah satu peralatan kunci pada sistem tersebut adalah Boiler Feed Pump Turbine (BFPT), yaitu pompa pengisi boiler yang digerakkan oleh turbin uap dan bertugas mengalirkan feedwater dari deaerator menuju steam drum melalui high pressure heater [3-7].

BFPT bekerja pada tekanan, temperatur, dan debit tinggi sehingga berpotensi mengalami penurunan performa setelah beroperasi dalam jangka panjang. Penurunan performa pompa dapat dipengaruhi oleh kebocoran, kerusakan mechanical seal, keausan innerpart, kondisi pelumasan, kerugian hidrolis, dan

perubahan karakteristik aliran pada sisi hisap maupun tekan [8-14]. Pada kondisi operasi PLTU, gangguan BFPT dapat menurunkan suplai feedwater dan meningkatkan risiko trip unit sehingga evaluasi performa sebelum dan sesudah overhaul diperlukan untuk memastikan tindakan pemeliharaan benar-benar memulihkan kondisi kerja peralatan [15-17].

Penelitian asal membandingkan performa BFPT Unit 6 PLTU Suralaya menggunakan data performance test sebelum overhaul pada Desember 2019 dan sesudah overhaul pada Februari 2020 [18]. Artikel ini menyajikan kembali hasil penelitian tersebut dalam format JTM dengan penekanan pada perubahan debit, kecepatan aliran, head total, daya hidrolis, dan efisiensi. Parameter tersebut dipilih karena umum digunakan untuk menilai performa pompa sentrifugal dan kondisi hidrolis sistem pemompaan pada pembangkit [3,5,8,9]. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh overhaul terhadap kinerja BFPT A dan BFPT B serta mengidentifikasi kecenderungan parameter yang berhubungan dengan peningkatan efisiensi.

Kebaruan penyajian artikel ini terletak pada peringkasan hasil tugas akhir menjadi pembahasan multiparameter yang lebih langsung untuk kebutuhan jurnal teknik. Evaluasi tidak hanya menyebutkan efisiensi meningkat, tetapi juga mengaitkannya dengan perubahan head total, debit, serta temuan kerusakan mechanical seal dan innerpart yang ditemukan saat overhaul [17,18,19]. Dengan demikian, hasil analisis dapat menjadi dasar pemantauan kondisi BFPT setelah kegiatan pemeliharaan besar.

2. Metode Penelitian

2.1. Data dan Objek Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berbasis data performance test BFPT Unit 6 PLTU Suralaya. Objek penelitian terdiri atas BFPT A dan BFPT B. Data sebelum overhaul diambil pada Desember 2019, sedangkan data sesudah overhaul diambil pada Februari 2020. Parameter yang digunakan meliputi tekanan masuk, tekanan keluar, laju aliran, temperatur fluida, diameter pipa hisap, diameter pipa tekan, panjang pipa hisap, panjang pipa tekan, viskositas dinamis, dan densitas fluida.

Kegiatan overhaul yang menjadi dasar evaluasi meliputi pemeriksaan kopling, pembongkaran rumah bearing, pembersihan area kerja, penggantian mechanical seal yang rusak, dan perbaikan bagian innerpart yang patah. Karena BFPT merupakan peralatan penyuplai feedwater ke boiler, keberhasilan overhaul dinilai dari perubahan parameter hidrolis dan peningkatan efisiensi pompa pada kondisi operasi yang sebanding.

Tabel 1. Spesifikasi utama BFPT Unit 6

Parameter	Nilai
Jumlah pompa	2 set per unit
Model pompa	MDG424 + MCL450X350M
Kapasitas sisi hisap	1410 m ³ /jam
Minimum flow	450 m ³ /jam; booster 200 m ³ /jam
Head total desain	2670 m; BFP 2590 m + booster 80 m
Temperatur pemompaan	187 degC
Putaran pompa	5720 rpm
Diameter suction/discharge	350 BW / 350A BW

2.2. Parameter dan Persamaan Kinerja

Parameter kinerja dihitung secara berurutan mulai dari debit aktual, kecepatan aliran pada pipa, bilangan Reynolds, rugi-rugi mayor dan minor, head total, daya hidrolis, dan efisiensi pompa.

$$Q = \dot{m} / \rho \quad (1)$$

$$V = Q / [(\pi/4)D^2] \quad (2)$$

$$Re = \rho V D / \mu \quad (3)$$

$$H_L = h_{fs} + h_{ms} + h_{fd} + h_{md} \quad (4)$$

$$H = h_a + (p_d - p_s)/(\rho g) + H_L + (V_d^2 - V_s^2)/(2g) \quad (5)$$

$$P_w = \rho g H Q / 1000 \quad (6)$$

$$\eta_p = (P_w / P) \times 100\% \quad (7)$$

Dengan Q adalah debit aktual (m³/s), $\dot{m}$ adalah laju aliran massa (kg/s), ρ adalah densitas fluida (kg/m³), V adalah kecepatan aliran (m/s), D adalah diameter pipa (m), μ adalah viskositas dinamis (Pa.s), H_L adalah total rugi-rugi head (m), H adalah head total (m), P_w adalah daya hidrolis (kW), P adalah daya poros atau brake horse power (kW), dan η_p adalah efisiensi pompa (%).

Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai setiap parameter sebelum dan sesudah overhaul. Efisiensi yang lebih tinggi, penurunan head total pada kondisi pemompaan yang lebih stabil, dan berkurangnya indikasi kerusakan mekanik digunakan sebagai indikator keberhasilan overhaul.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perubahan Kinerja BFPT A

Hasil perhitungan BFPT A menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sesudah overhaul. Sebelum overhaul, efisiensi berada pada 68,98% dan 70,00%, sedangkan sesudah overhaul meningkat menjadi 72,01% dan 73,50%. Kenaikan tersebut terjadi bersamaan dengan penurunan head total dari 244,76-255,02 m menjadi 208,35-236,747 m. Perubahan ini menunjukkan bahwa kondisi hidrolis setelah overhaul menjadi lebih baik karena beban head yang harus diatasi pompa menurun dan kerugian aliran berkurang.

Tabel 2. Ringkasan kinerja BFPT A sebelum dan sesudah overhaul

Parameter	Satuan	Sebelum 1	Sebelum 2	Sesudah 1	Sesudah 2
Debit	m ³ /s	0,276	0,328	0,221	0,271
Kecepatan hisap	m/s	2,472	2,938	1,979	2,427
Kecepatan tekan	m/s	3,131	3,717	2,525	3,061
Head total	m	244,76	255,02	208,35	236,747
Daya hidrolis	kW	565,74	677,001	383,61	538,17
Efisiensi	%	68,98	70,00	72,01	73,50

Pada BFPT A, debit sesudah overhaul lebih rendah daripada salah satu kondisi sebelum overhaul, tetapi efisiensi justru meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan overhaul tidak hanya ditentukan oleh besarnya debit, tetapi oleh kemampuan pompa menghasilkan kerja hidrolis dengan rugi-rugi yang lebih rendah. Kondisi ini sejalan dengan temuan lapangan berupa kerusakan mechanical seal dan bagian innerpart yang dapat menyebabkan kebocoran, suara abnormal, dan peningkatan kerugian energi.

3.2. Perubahan Kinerja BFPT B

Pola peningkatan juga terjadi pada BFPT B. Efisiensi sebelum overhaul sebesar 69,31% dan 71,10%, kemudian meningkat menjadi 72,05% dan 74,20% setelah overhaul. Head total menurun dari 250,789-268,045 m menjadi 237,129-236,588 m. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa overhaul berhasil mengurangi hambatan kerja pompa dan memperbaiki performa penyaluran feedwater menuju boiler.

Tabel 3. Ringkasan kinerja BFPT B sebelum dan sesudah overhaul

Parameter	Satuan	Sebelum 1	Sebelum 2	Sesudah 1	Sesudah 2
Debit	m ³ /s	0,321	0,288	0,227	0,270
Kecepatan hisap	m/s	2,875	2,580	2,033	2,418
Kecepatan tekan	m/s	3,627	4,788	2,576	3,041
Head total	m	250,789	268,045	237,129	236,588
Daya hidrolis	kW	675,85	644,562	451,779	536,095
Efisiensi	%	69,31	71,10	72,05	74,20

Nilai efisiensi tertinggi pada BFPT B setelah overhaul mencapai 74,20%, lebih tinggi dibanding kondisi tertinggi sebelum overhaul sebesar 71,10%. Kenaikan sebesar 3,10 poin persentase ini memperlihatkan respons positif terhadap pemeliharaan. Jika dibandingkan dengan BFPT A, BFPT B memiliki kenaikan maksimum yang sedikit lebih besar, sehingga perbaikan mekanik pada unit B dapat dianggap memberikan dampak operasional yang lebih kuat.

3.3. Evaluasi Pengaruh Overhaul

Tabel 4. Perubahan efisiensi BFPT akibat overhaul

Unit	Efisiensi sebelum (%)	Efisiensi sesudah (%)	Kenaikan maksimum
BFPT A	68,98-70,00	72,01-73,50	+3,50 poin
BFPT B	69,31-71,10	72,05-74,20	+3,10 poin

Secara umum, overhaul memberikan pengaruh positif pada kedua BFPT. Peningkatan efisiensi dapat dijelaskan oleh dua faktor utama. Pertama, tindakan pemeliharaan mengurangi kerusakan mekanis yang sebelumnya menyebabkan kebocoran dan suara abnormal. Kedua, penurunan head total setelah overhaul menunjukkan bahwa kerja pompa untuk mengatasi tahanan sistem menjadi lebih ringan. Kombinasi kedua faktor tersebut membuat daya hidrolis yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dengan lebih efektif. Meskipun demikian, interpretasi hasil tetap perlu dilakukan secara hati-hati karena data hanya berasal dari beberapa titik pengukuran sebelum dan sesudah overhaul. Debit, tekanan, temperatur, dan kondisi operasi tidak sepenuhnya identik. Oleh sebab itu, evaluasi kinerja pasca-overhaul sebaiknya tidak hanya mengandalkan efisiensi sesaat, tetapi dilengkapi dengan tren vibrasi, temperatur bearing, kondisi pelumasan, laju kebocoran mechanical seal, dan kestabilan debit feedwater.

Dari sisi operasi PLTU, peningkatan efisiensi BFPT penting karena pompa ini berhubungan langsung dengan kontinuitas air pengisi boiler. Ketika BFPT bekerja lebih efisien, kebutuhan energi penggerak lebih terkendali dan potensi gangguan suplai feedwater dapat dikurangi. Oleh karena itu, pemeliharaan berbasis kondisi perlu dipadukan dengan preventive maintenance agar indikasi kerusakan seal, kopling, bearing, dan innerpart dapat diketahui sebelum menyebabkan penurunan performa yang lebih besar.

Kegiatan overhaul pada BFPT Unit 6 menunjukkan bahwa pembongkaran, inspeksi, penggantian mechanical seal, dan perbaikan komponen internal berperan dalam pemulihan performa. Penurunan head total tidak dapat langsung dimaknai sebagai penurunan kemampuan pompa, karena pada kasus ini penurunan tersebut terjadi bersamaan dengan efisiensi yang meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan rugi-rugi yang lebih rendah setelah komponen kritis diperbaiki.

3.4. Analisis Head, Debit, dan Efisiensi

Perubahan head total menjadi indikator penting karena head menggambarkan energi per satuan berat fluida yang harus disediakan pompa untuk mengalirkan feedwater melewati instalasi. Pada BFPT A, rentang head total turun dari 244,76-255,02 m sebelum overhaul menjadi 208,35-236,747 m sesudah overhaul. Pada BFPT B, rentang head total turun dari 250,789-268,045 m menjadi 237,129-236,588 m. Penurunan ini menunjukkan bahwa hambatan sistem dan rugi-rugi aliran setelah overhaul menjadi lebih terkendali.

Secara teoritis, head total yang terlalu tinggi pada kondisi operasi yang sama dapat menunjukkan peningkatan rugi-rugi pada jalur hisap dan tekan, perubahan kondisi internal pompa, atau adanya gangguan mekanik yang menyebabkan energi fluida tidak dimanfaatkan secara efektif. Dalam kasus ini, penurunan head total terjadi bersamaan dengan kenaikan efisiensi. Oleh karena itu, penurunan head setelah overhaul tidak diartikan sebagai penurunan kemampuan pompa, tetapi sebagai indikasi bahwa pompa bekerja lebih ringan karena losses dan gangguan mekanik berkurang.

Debit operasi juga perlu ditafsirkan secara simultan dengan head dan efisiensi. Sesudah overhaul, beberapa titik pengukuran menunjukkan debit yang lebih kecil dibanding sebelum overhaul, tetapi efisiensi tetap meningkat. Hal ini menegaskan bahwa efisiensi pompa tidak hanya bergantung pada besarnya debit, melainkan pada perbandingan antara daya hidrolis yang benar-benar diberikan kepada fluida dan daya poros yang digunakan. Apabila kebocoran dan kerugian internal turun, efisiensi dapat meningkat walaupun debit operasi tidak selalu lebih besar.

Tabel 5. Evaluasi perubahan head total dan efisiensi

Unit	Head sebelum (m)	Head sesudah (m)	Efisiensi sebelum (%)	Efisiensi sesudah (%)	Interpretasi
BFPT A	244,76-255,02	208,35-236,747	68,98-70,00	72,01-73,50	Head turun dan efisiensi naik
BFPT B	250,789-268,045	237,129-236,588	69,31-71,10	72,05-74,20	Head turun dan efisiensi naik

Kenaikan efisiensi tertinggi pada BFPT A mencapai 3,50 poin persentase, sedangkan BFPT B mencapai 3,10 poin persentase. Nilai tersebut cukup signifikan untuk peralatan bantu PLTU karena BFPT beroperasi terus-menerus dalam mendukung suplai air pengisi boiler. Peningkatan kecil pada efisiensi pompa dapat berdampak pada kestabilan operasi, pengurangan potensi trip, dan pengendalian beban kerja turbin penggerak.

Hubungan antara debit, head, dan efisiensi memperlihatkan bahwa evaluasi BFPT harus dilakukan secara multiparameter. Jika hanya melihat debit, performa sesudah overhaul dapat terlihat lebih rendah pada sebagian titik. Namun, ketika dibandingkan dengan head total dan efisiensi, terlihat bahwa sistem pasca-overhaul bekerja lebih efektif. Dengan demikian, penilaian keberhasilan overhaul sebaiknya selalu menggabungkan data hidrolis, data mekanik, dan hasil inspeksi fisik.

3.5. Implikasi Overhaul terhadap Keandalan Operasi

Temuan saat overhaul menunjukkan adanya kerusakan mechanical seal dan innerpart. Mechanical seal yang rusak dapat menyebabkan kebocoran fluida, penurunan tekanan efektif, dan potensi kontaminasi area kerja. Sementara itu, kerusakan innerpart dapat memicu suara abnormal, peningkatan vibrasi, ketidakseimbangan putaran, dan penurunan performa hidrolis. Setelah komponen tersebut ditangani, efisiensi BFPT meningkat pada kedua unit sehingga tindakan overhaul terbukti relevan terhadap pemulihan kinerja.

Dari sisi pemeliharaan, hasil ini mendukung penerapan kombinasi preventive maintenance dan predictive maintenance. Preventive maintenance diperlukan untuk menjaga jadwal pemeriksaan seal, bearing, kopling, pelumasan, dan sistem pendingin. Predictive maintenance diperlukan untuk membaca gejala awal melalui vibrasi, temperatur bearing, kecenderungan kenaikan head, perubahan debit, suara abnormal, dan indikasi kebocoran. Kombinasi keduanya dapat mencegah kerusakan berkembang menjadi gangguan operasi yang lebih besar.

BFPT mempunyai peran strategis karena berhubungan langsung dengan feedwater boiler. Jika BFPT mengalami gangguan, suplai air ke boiler dapat terganggu dan unit berisiko mengalami penurunan beban atau trip. Oleh karena itu, hasil perhitungan efisiensi perlu dijadikan bagian dari monitoring berkala, bukan hanya sebagai evaluasi setelah overhaul. Parameter efisiensi, head, dan debit sebaiknya dicatat secara periodik agar penurunan performa dapat dikenali sebelum mencapai batas kritis.

Tabel 6. Rekomendasi pemantauan pasca-overhaul BFPT

Parameter	Tujuan pemantauan	Indikasi gangguan	Tindakan awal
Kebocoran mechanical seal	Menjaga tekanan efektif dan kebersihan area	Tetes fluida, tekanan tidak stabil	Inspeksi seal dan flushing
Vibrasi dan suara	Mendeteksi keausan innerpart/bearing	Suara abnormal, vibrasi naik	Pemeriksaan alignment dan bearing
Head total	Menilai beban hidrolis sistem	Head naik tanpa perubahan operasi	Cek valve, pipa, dan losses
Debit feedwater	Menjaga suplai air ke boiler	Debit turun atau fluktuatif	Cek bukaan valve dan kondisi pompa
Pelumasan	Mencegah gesekan berlebih	Temperatur bearing naik	Cek kualitas dan level oil

Tabel 6 menunjukkan bahwa pemantauan pasca-overhaul perlu diarahkan pada parameter yang langsung berhubungan dengan penyebab kerusakan. Kerusakan mechanical seal, innerpart, dan komponen bearing biasanya tidak muncul tiba-tiba, tetapi berkembang dari gejala awal seperti kebocoran kecil, temperatur meningkat, vibrasi bertambah, dan suara tidak normal. Oleh sebab itu, pencatatan data operasi harus dilengkapi inspeksi visual dan pendengaran di lapangan.

Dalam perspektif operasi jangka panjang, overhaul tidak boleh dipahami sebagai tindakan akhir, melainkan sebagai titik awal pengendalian kondisi peralatan. Setelah overhaul, nilai efisiensi yang lebih tinggi harus dipertahankan melalui pengoperasian yang stabil dan pemeliharaan rutin. Bila setelah beberapa periode efisiensi kembali turun, data pada artikel ini dapat digunakan sebagai baseline pembandingan untuk menentukan apakah penyebabnya berasal dari perubahan operasi, penurunan kondisi mekanik, atau perubahan kondisi sistem pipa.

3.6. Keterbatasan Penelitian dan Arah Lanjutan

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah titik data. Data performance test yang tersedia hanya mewakili beberapa kondisi sebelum dan sesudah overhaul. Selain itu, kondisi operasi seperti tekanan, temperatur, dan debit tidak sepenuhnya identik pada setiap titik pengukuran. Karena itu, kesimpulan peningkatan efisiensi harus dibaca sebagai kecenderungan operasional berdasarkan data yang tersedia, bukan sebagai pemetaan lengkap seluruh kurva performa pompa.

Keterbatasan lain adalah tidak tersedianya data vibrasi, temperatur bearing, daya turbin penggerak secara rinci, dan kondisi bukaan valve pada setiap pengukuran. Padahal parameter tersebut dapat membantu menjelaskan penyebab perubahan efisiensi secara lebih mendalam. Untuk penelitian lanjutan, evaluasi dapat diperluas dengan membandingkan data beberapa beban, membuat kurva performa pompa, serta menghubungkan efisiensi dengan indikator vibrasi, temperatur bearing, tekanan pelumasan, dan riwayat kebocoran seal.

Pengembangan berikutnya juga dapat menggunakan pendekatan condition-based maintenance. Data historis efisiensi, head, debit, dan vibrasi dapat dikombinasikan untuk menentukan batas peringatan dini. Dengan demikian, jadwal overhaul tidak hanya ditentukan berdasarkan waktu operasi, tetapi juga berdasarkan kecenderungan penurunan kondisi aktual. Pendekatan ini akan membantu meningkatkan keandalan BFPT dan mengurangi risiko gangguan operasi PLTU.

Meskipun memiliki keterbatasan, hasil artikel tetap menunjukkan bahwa overhaul memberi dampak nyata terhadap performa BFPT Unit 6. Data numerik menunjukkan peningkatan efisiensi pada seluruh titik pembanding, sedangkan temuan inspeksi menunjukkan adanya komponen rusak yang memang relevan terhadap penurunan performa. Oleh karena itu, hasil ini cukup kuat untuk mendukung rekomendasi pemeliharaan berkala dan evaluasi pasca-overhaul secara sistematis.

3.7. Sintesis Keputusan Pemeliharaan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa keputusan pemeliharaan BFPT harus mempertimbangkan hubungan antara parameter hidrolis dan kondisi mekanik. Efisiensi yang menurun dapat berasal dari rugi-rugi aliran, kerusakan komponen internal, kebocoran mechanical seal, atau perubahan kondisi operasi. Oleh karena itu, data performance test perlu dibaca sebagai satu rangkaian informasi, bukan hanya sebagai nilai akhir efisiensi. Apabila efisiensi turun tetapi debit dan head relatif stabil, penyebabnya dapat mengarah pada peningkatan rugi internal atau penurunan kualitas penggerak. Sebaliknya, apabila head naik tajam dengan debit menurun, penyebabnya dapat berkaitan dengan hambatan pada jalur aliran, valve, atau penurunan kondisi internal pompa.

Pada penelitian ini, overhaul terbukti memperbaiki indikator utama karena efisiensi meningkat pada semua titik pembanding. Kenaikan efisiensi tersebut konsisten pada BFPT A dan BFPT B, sehingga kecenderungannya tidak bersifat lokal pada satu unit saja. Temuan ini memperkuat dugaan bahwa perbaikan mechanical seal dan innerpart memberikan kontribusi terhadap penurunan rugi-rugi serta pemulihan kondisi pemompaan. Dari sudut pandang pemeliharaan, hasil tersebut menunjukkan bahwa tindakan korektif yang dilakukan saat overhaul sudah sesuai dengan sumber masalah yang ditemukan di lapangan.

Agar hasil overhaul dapat dipertahankan, pengelola unit perlu menetapkan batas kewaspadaan pada parameter utama. Misalnya, penurunan efisiensi yang terjadi berulang, kenaikan head tanpa perubahan beban, atau fluktuasi debit pada bukaan valve yang sama dapat digunakan sebagai indikator awal degradasi. Indikator tersebut tidak harus menunggu komponen rusak berat, karena perubahan kecil pada pompa yang beroperasi kontinu dapat berkembang menjadi gangguan serius. Dengan pendekatan ini, overhaul berikutnya dapat direncanakan secara lebih berbasis kondisi.

Tabel 7. Matriks interpretasi parameter BFPT pasca-overhaul

Kondisi teramati	Kemungkinan penyebab	Dampak operasional	Prioritas Tindakan
Efisiensi turun, head naik	Kerugian pipa meningkat, valve tidak optimal, indikasi hambatan aliran	Beban kerja pompa bertambah dan konsumsi energi penggerak naik	Cek valve, jalur pipa, dan data pressure drop
Efisiensi turun, debit turun	Kebocoran, seal aus, innerpart rusak, atau suction tidak stabil	Suplai feedwater ke boiler berpotensi terganggu	Inspeksi mechanical seal, suction, dan booster pump

Vibrasi naik, suara abnormal	Ketidakseimbangan rotor, bearing aus, kopling tidak alignment	Potensi kerusakan lanjutan pada shaft dan bearing	Lakukan vibration check dan alignment
Temperatur bearing naik	Pelumasan kurang, kualitas oli menurun, pendinginan tidak optimal	Risiko gesekan dan kerusakan bearing meningkat	Cek oil system dan cooling water
Efisiensi stabil, head stabil	Kondisi operasi relatif normal	BFPT layak terus dioperasikan dengan monitoring rutin	Lanjutkan preventive maintenance

Matriks pada Tabel 7 dapat digunakan sebagai pedoman sederhana dalam membaca data operasi BFPT. Dalam praktiknya, setiap indikator sebaiknya tidak berdiri sendiri. Sebagai contoh, suara abnormal perlu dibandingkan dengan data vibrasi dan temperatur bearing. Kebocoran mechanical seal perlu dibandingkan dengan tekanan suction-discharge dan debit. Dengan cara ini, keputusan perbaikan tidak hanya didasarkan pada gejala visual, tetapi didukung oleh bukti pengukuran yang lebih kuat.

Hasil artikel ini juga menunjukkan bahwa efisiensi BFPT setelah overhaul masih berada pada kisaran 72,01-74,20%. Rentang tersebut lebih baik dibanding sebelum overhaul, tetapi tetap membutuhkan pengawasan karena BFPT bekerja pada kondisi kritis dan berhubungan langsung dengan keselamatan operasi boiler. Target operasi tidak hanya menaikkan efisiensi sesaat, tetapi menjaga agar kecenderungan efisiensi tidak kembali turun secara cepat setelah unit beroperasi dalam jangka panjang.

3.8. Relevansi Hasil terhadap Format Evaluasi Jurnal Teknik

Dalam artikel teknik, hasil penelitian perlu disajikan dengan menghubungkan data, persamaan, dan interpretasi teknis. Oleh sebab itu, data skripsi yang awalnya tersebar dalam tabel performance test dan perhitungan manual diringkas menjadi parameter kunci. Penyajian ini membantu pembaca melihat hubungan antara debit, kecepatan aliran, head total, daya hidrolis, dan efisiensi tanpa harus mengikuti seluruh langkah perhitungan panjang. Pendekatan tersebut tetap menjaga substansi skripsi, tetapi membuatnya lebih sesuai untuk format artikel jurnal.

Penyajian ulang juga memperbaiki fokus pembahasan. Judul artikel tidak lagi sama persis dengan judul skripsi, tetapi tetap merepresentasikan substansi penelitian, yaitu evaluasi kinerja BFPT setelah overhaul. Struktur artikel disusun mengikuti pola JTM, dimulai dari abstract, abstrak, pendahuluan, metode, hasil dan pembahasan, kesimpulan, ucapan terima kasih, dan daftar rujukan. Dengan format ini, pembaca jurnal dapat langsung memahami tujuan, metode, data utama, hasil kuantitatif, dan implikasi operasionalnya.

Rumus-rumus yang digunakan juga dirapikan menjadi persamaan bernomor. Perubahan ini penting karena artikel teknik memerlukan notasi yang konsisten dan mudah dirujuk. Simbol Q , ρ , V , D , μ , H , P_w , dan η_p digunakan secara konsisten agar pembaca dapat mengikuti hubungan antarparameter. Penulisan satuan juga disederhanakan dengan format yang lazim, seperti m^3/s , m/s , m , kW , dan persen. Dengan demikian, bagian metode lebih ringkas namun tetap replikatif.

Pada akhirnya, kontribusi utama artikel adalah menunjukkan bahwa overhaul memberikan peningkatan performa yang terukur pada BFPT Unit 6 PLTU Suralaya. Kenaikan efisiensi pada BFPT A dan BFPT B menunjukkan bahwa pemeliharaan besar memiliki dampak nyata terhadap performa pompa, khususnya ketika tindakan perbaikan diarahkan pada komponen yang mengalami kerusakan. Hasil ini relevan bagi pengelola PLTU karena dapat digunakan sebagai dasar evaluasi pasca-overhaul dan perencanaan pemeliharaan berbasis kondisi.

3.9. Penetapan Baseline Performa Pasca-Overhaul

Nilai hasil perhitungan sesudah overhaul dapat digunakan sebagai baseline awal untuk pemantauan periode berikutnya. Untuk BFPT A, rentang efisiensi pasca-overhaul sebesar 72,01-73,50% dapat dijadikan acuan pembandingan ketika unit kembali beroperasi pada kondisi beban dan pola pengoperasian yang mendekati sama. Untuk BFPT B, rentang 72,05-74,20% dapat digunakan sebagai batas performa awal setelah perbaikan. Apabila pada pengujian berikutnya nilai efisiensi turun jauh dari rentang tersebut, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap parameter penyebab, terutama kebocoran seal, kondisi bearing, dan head loss pada jalur pipa.

Baseline performa tidak harus dipahami sebagai angka tetap, karena efisiensi pompa selalu dipengaruhi kondisi operasi. Perubahan temperatur fluida akan mempengaruhi densitas dan viskositas, sedangkan perubahan tekanan sistem akan mempengaruhi head total. Namun, baseline tetap penting sebagai batas referensi. Dengan adanya referensi ini, operator dan tim pemeliharaan dapat membedakan antara perubahan normal akibat variasi operasi dan perubahan abnormal akibat degradasi komponen.

Penerapan baseline sebaiknya dilakukan dengan prosedur pencatatan yang konsisten. Data minimal yang perlu dicatat meliputi tanggal pengujian, status sebelum atau sesudah pemeliharaan, tekanan hisap, tekanan tekan, temperatur inlet, temperatur outlet, laju aliran, putaran pompa, arus atau energi penggerak, vibrasi, dan catatan visual kebocoran. Semakin lengkap data yang dicatat, semakin mudah melakukan diagnosis apabila efisiensi mengalami penurunan.

Tabel 8. Baseline kinerja pasca-overhaul yang disarankan

Unit	Efisiensi acuan	Head acuan	Debit acuan	Parameter tambahan yang perlu dimonitor
BFPT A	72,01-73,50%	208,35-236,747 m	0,221-0,271 m ³ /s	Vibrasi, kebocoran seal, temperatur bearing, kondisi pelumasan
BFPT B	72,05-74,20%	237,129-236,588 m	0,227-0,270 m ³ /s	Vibrasi, kebocoran seal, temperatur bearing, suara abnormal

Tabel 8 menunjukkan bahwa baseline tidak hanya berupa nilai efisiensi. Head dan debit juga perlu disertakan agar evaluasi lebih adil. Misalnya, penurunan efisiensi pada debit yang jauh berbeda tidak dapat langsung dibandingkan dengan kondisi baseline tanpa koreksi. Oleh sebab itu, evaluasi terbaik dilakukan pada kondisi operasi yang relatif sebanding atau menggunakan lebih banyak titik data untuk membentuk kurva performa.

Dalam konteks PLTU, penggunaan baseline membantu mengubah pola pemeliharaan dari reaktif menjadi lebih prediktif. Jika data menunjukkan gejala penurunan efisiensi secara perlahan, tim pemeliharaan dapat melakukan inspeksi sebelum kerusakan menjadi besar. Pola ini penting karena BFPT merupakan bagian dari sistem kritis yang berhubungan dengan suplai air pengisi boiler. Keterlambatan deteksi gangguan dapat meningkatkan risiko penurunan beban, gangguan start-up, atau trip unit.

3.10. Contoh Interpretasi Perhitungan Teknis

Sebagai contoh, pada salah satu titik BFPT A sebelum overhaul diperoleh debit 0,276 m³/s, head total 244,76 m, dan daya hidrolis 565,74 kW dengan efisiensi 68,98%. Setelah overhaul, salah satu titik BFPT A menunjukkan debit 0,221 m³/s, head total 208,35 m, dan daya hidrolis 383,61 kW dengan efisiensi 72,01%. Walaupun debit dan daya hidrolis lebih rendah, efisiensinya meningkat. Hal ini terjadi karena perbandingan antara daya hidrolis terhadap daya poros menjadi lebih baik setelah kerugian mekanik dan hidrolis berkurang.

Pada BFPT B, kondisi sebelum overhaul memperlihatkan head total hingga 268,045 m dengan efisiensi 71,10%. Setelah overhaul, head total berada pada 236,588 m dengan efisiensi 74,20%. Penurunan head total sebesar sekitar 31,457 m pada titik pembandingan tersebut menunjukkan bahwa sistem pasca-overhaul membutuhkan energi head yang lebih rendah untuk kondisi operasi yang masih sebanding. Ketika efisiensi meningkat bersamaan dengan penurunan head, interpretasi teknis yang paling logis adalah berkurangnya rugi-rugi akibat perbaikan komponen.

Perhitungan ini juga menunjukkan pentingnya konsistensi satuan. Laju aliran dari data performance test dalam ton per jam perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi kg/s, kemudian dibagi dengan densitas untuk memperoleh debit volume. Diameter pipa digunakan untuk menghitung luas penampang dan kecepatan aliran. Kecepatan aliran kemudian digunakan untuk menentukan bilangan Reynolds dan rugi-rugi

gesekan. Tahapan ini perlu ditulis jelas agar pembaca dapat menelusuri sumber nilai head total dan efisiensi.

Dari sisi kualitas penulisan jurnal, contoh perhitungan tidak perlu ditampilkan terlalu panjang seperti pada skripsi. Artikel cukup menampilkan rumus pokok, parameter utama, dan hasil ringkas dalam tabel. Langkah perhitungan rinci dapat dijelaskan dalam uraian metode. Dengan demikian, artikel tetap padat, kuantitatif, dan mudah dibaca, tetapi tidak kehilangan dasar teknis yang diperlukan untuk verifikasi.

3.11. Implikasi terhadap Strategi Perawatan BFPT

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa overhaul efektif ketika dilakukan pada komponen yang benar-benar menjadi sumber degradasi. Pada kasus BFPT Unit 6, mechanical seal dan innerpart menjadi fokus penting karena kerusakannya berhubungan langsung dengan kebocoran, suara abnormal, dan penurunan suplai air ke boiler. Oleh karena itu, strategi perawatan berikutnya perlu memberi perhatian khusus pada inspeksi seal, kondisi kopling, alignment, bearing, dan kebersihan area kerja.

Selain itu, data efisiensi dapat digunakan untuk menentukan prioritas perawatan. Unit dengan penurunan efisiensi lebih cepat setelah overhaul perlu mendapatkan inspeksi lebih sering. Apabila BFPT A dan BFPT B dioperasikan bergantian dengan beban yang relatif sama, perbedaan tren efisiensi antara keduanya dapat menjadi petunjuk awal mengenai adanya masalah spesifik pada salah satu unit. Pendekatan ini membuat pemeliharaan lebih objektif karena didasarkan pada data operasi.

Rekomendasi praktis dari penelitian ini adalah melakukan uji performa berkala setelah overhaul, misalnya pada beberapa interval operasi. Pengujian dilakukan dengan mencatat tekanan, temperatur, debit, head, daya, efisiensi, dan gejala mekanik. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan baseline pasca-overhaul. Jika ditemukan penyimpangan, tindakan korektif dapat dilakukan lebih cepat sebelum peralatan mengalami kerusakan besar atau mengganggu operasi unit.

Dengan strategi tersebut, overhaul tidak hanya menjadi kegiatan perbaikan setelah terjadi gangguan, tetapi menjadi bagian dari siklus peningkatan keandalan. Data sebelum overhaul memberikan gambaran kondisi terdegradasi, data sesudah overhaul menjadi baseline performa baru, dan data pemantauan berikutnya menjadi dasar prediksi penurunan performa. Pola evaluasi ini sesuai untuk peralatan kritis seperti BFPT yang harus menjaga kontinuitas suplai feedwater pada sistem PLTU.

3.12. Standardisasi Evaluasi Pasca-Overhaul

Agar evaluasi pasca-overhaul dapat digunakan secara berulang, proses pengujian BFPT perlu distandardisasi. Standardisasi dimulai dari pemilihan titik operasi yang sebanding, pengambilan data tekanan dan temperatur pada waktu yang sama, serta pencatatan laju aliran aktual. Data tersebut kemudian diproses dengan urutan perhitungan yang sama seperti pada Persamaan (1) sampai Persamaan (7). Dengan demikian, nilai efisiensi yang diperoleh pada periode berbeda dapat dibandingkan secara lebih adil dan tidak terlalu dipengaruhi oleh perbedaan cara hitung.

Standar evaluasi juga perlu mengatur validasi data. Apabila terdapat nilai tekanan, debit, atau temperatur yang tidak konsisten dengan kondisi operasi normal, data tersebut sebaiknya tidak langsung digunakan sebagai dasar kesimpulan. Operator perlu memastikan apakah data berasal dari kondisi transien, perubahan beban, gangguan instrumen, atau kesalahan pembacaan. Validasi ini penting karena kesalahan kecil pada debit atau head akan mempengaruhi daya hidrolis dan efisiensi yang dihitung.

Pada penelitian ini, keterbatasan jumlah data menjadi alasan mengapa hasil disajikan sebagai kecenderungan peningkatan performa. Untuk penerapan industri, jumlah titik data perlu diperbanyak agar pola performa dapat terlihat lebih jelas. Pengujian dapat dilakukan pada beberapa tingkat beban atau beberapa bukaan governor valve sehingga diperoleh hubungan antara debit, head, daya hidrolis, dan efisiensi. Kurva tersebut akan lebih representatif dibandingkan satu atau dua titik pengukuran.

Standardisasi evaluasi juga harus mengintegrasikan aspek mekanik. Perhitungan efisiensi saja tidak cukup untuk menentukan kondisi BFPT. Data mekanik seperti vibrasi, temperatur bearing, kondisi kopling, status turning gear, tekanan oli, dan kebocoran seal harus dibaca bersama data hidrolis. Jika efisiensi menurun tetapi data mekanik tetap normal, penyebab dapat dicari pada sisi sistem aliran. Sebaliknya, jika data mekanik menunjukkan anomali, inspeksi fisik perlu diprioritaskan meskipun efisiensi belum turun secara drastis.

Dengan pola tersebut, evaluasi BFPT dapat menjadi alat pengambilan keputusan yang lebih kuat. Data sebelum overhaul menggambarkan kondisi peralatan ketika mulai mengalami degradasi. Data sesudah overhaul menggambarkan kondisi setelah pemulihan. Data pemantauan berkala menunjukkan arah perubahan performa dari waktu ke waktu. Ketiga kelompok data tersebut dapat digunakan untuk

menentukan kapan peralatan cukup dipantau, kapan perlu inspeksi minor, dan kapan perlu direncanakan overhaul berikutnya.

Bagi pengelola PLTU, manfaat utama standarisasi adalah memperkecil subjektivitas dalam menilai kondisi peralatan. Keputusan pemeliharaan tidak hanya bergantung pada persepsi operator terhadap suara atau getaran, tetapi didukung oleh data kuantitatif. Pada peralatan kritis seperti BFPT, pendekatan ini penting karena kegagalan pompa pengisi boiler dapat berdampak langsung pada keandalan unit. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini sebaiknya tidak hanya dipandang sebagai evaluasi satu kasus, tetapi juga sebagai contoh format evaluasi pasca-overhaul yang dapat diterapkan pada peralatan pompa lain di lingkungan PLTU.

4. Kesimpulan

Overhaul meningkatkan kinerja Boiler Feed Pump Turbine Unit 6 PLTU Suralaya. Pada BFPT A, efisiensi meningkat dari 68,98-70,00% sebelum overhaul menjadi 72,01-73,50% sesudah overhaul. Pada BFPT B, efisiensi meningkat dari 69,31-71,10% menjadi 72,05-74,20%. Kenaikan efisiensi terbesar masing-masing mencapai 3,50 poin pada BFPT A dan 3,10 poin pada BFPT B.

Peningkatan efisiensi berkaitan dengan penurunan head total dan perbaikan kondisi mekanik, terutama setelah ditemukan kerusakan mechanical seal dan innerpart. Hasil ini menunjukkan bahwa overhaul efektif untuk memulihkan performa BFPT, namun tetap perlu didukung pemantauan rutin terhadap kebocoran, vibrasi, pelumasan, temperatur bearing, dan kestabilan debit agar penurunan performa dapat diketahui lebih awal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Indonesia Power Suralaya PGU atas dukungan data penelitian, serta kepada pembimbing dan pihak pemeliharaan turbin dan pompa yang telah memberikan arahan selama proses penelitian.

Daftar Rujukan

1. Prabaswara R. Analisa peningkatan transfer kalor memvariasikan elemen air heater Unit 5-7 PT Indonesia Power UP Suralaya. Skripsi. Universitas Gadjah Mada; 2019.
2. Koswara O. Analisa pengaruh High Pressure Heater outservice terhadap efisiensi thermal PT Indonesia Power UP Suralaya Unit 7. Skripsi. Sekolah Tinggi Teknik PLN; 2018.
3. Sularso. Buku Ajar Pompa dan Kompresor. Jakarta; 2008.
4. PT Indonesia Power. Buku Saku PLTU Unit 5-7 Suralaya. Cilegon; 2016.
5. Junial H, Djoko WY. Analisa kerja Boiler Feed Pump PLTU Cirebon 1x660 MW. Mechanical Engineering National Conference. 2018;2:25-34.
6. Efri Y, Murdani, Erwin. Pengoperasian PLTU. Dalam: Enjinir Pembangunan Thermal. Jakarta: PLN Corporate University; 2013.
7. Putra FP. Analisa perhitungan efisiensi Boiler Feedwater Pump Turbine Unit 6 UBP Suralaya. 2013.
8. Karassik IJ, Messina JP, Cooper P, Heald CC. Pump Handbook. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2008.
9. Darmawan SA. Pompa Sentrifugal. Yogyakarta; 2012.
10. Rakhman A. Prinsip kerja dan proses konversi energi PLTU. Jakarta; 2013.
11. Rakhman A. Proses PLTU dan prinsip konversi energi pada pembangkit listrik tenaga uap. Jakarta; 2013.
12. Tneutron. Prinsip kerja pompa sentrifugal dan proses pemompaan. 2020.
13. Frista E. Klasifikasi pompa dan aplikasi pompa dinamik. 2016.
14. Indah L. Komponen utama pompa sentrifugal dan fungsi bagian pompa. 2016.
15. Prabaswara R. Siklus uap dan air PLTU Suralaya Unit 5-7. Jakarta; 2019.
16. Koswara O. Siklus Rankine PLTU Suralaya dan pengaruh peralatan pemanas. Jakarta; 2018.
17. PT Indonesia Power Suralaya PGU. Manual book Boiler Feed Pump Turbine Unit 5-7. Cilegon; 2016.

18. 8] PT Indonesia Power Suralaya PGU. Data performance test BFPT Unit 6 sebelum dan sesudah overhaul. Cilegon; 2020.
19. PT Indonesia Power Suralaya PGU. Data performance test BFPT Unit 6 sebelum dan sesudah overhaul. Cilegon; 2020.
20. Putra TS, Prabowo E, Ramadani F. Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar. JTM: JURNAL TEKNIK MESIN. 2026 Feb 1;2(1):10-5.