

Evaluasi Tubes Plugging terhadap Kinerja Kondensor PLTU Adipala

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Arash³

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

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

Abstract

This study evaluates the effect of tubes plugging on the condenser performance of Unit 1 at PLTU Adipala 1x660 MW. The analysis used operating data before plugging on 26 October 2017, 26 October 2018, and 29 November 2018, and after plugging on 29 October 2017, 2 November 2018, and 9 February 2019. Condenser performance was assessed using logarithmic mean temperature difference (LMTD), temperature rise (TR), heat-transfer area, heat load, and overall heat-transfer coefficient (U). The results show that after the third plugging condition, LMTD decreased to 7.413 °C in condenser A and 8.145 °C in condenser B, while TR decreased to 9.855 °C and 8.716 °C, respectively. Although U increased to 29.893 kW/m².°C in condenser A and 23.732 kW/m².°C in condenser B, the increase was associated with higher cooling-water flow demand and reduced active heat-transfer area. The findings indicate that tubes plugging is effective as short-term leakage mitigation, but increasing plug quantity reduces condenser heat-transfer capacity and requires monitoring of cooling-water flow, fouling, and condenser vacuum.

Keywords: condenser; tubes plugging; LMTD; temperature rise; overall heat-transfer coefficient

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh tubes plugging terhadap kinerja kondensor Unit 1 PLTU Adipala 1x660 MW. Analisis dilakukan menggunakan data operasi sebelum plugging pada 26 Oktober 2017, 26 Oktober 2018, dan 29 November 2018, serta data sesudah plugging pada 29 Oktober 2017, 2 November 2018, dan 9 Februari 2019. Kinerja kondensor dinilai berdasarkan logarithmic mean temperature difference (LMTD), temperature rise (TR), luas perpindahan panas, beban panas, dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi plugging ketiga, LMTD turun menjadi 7,413 °C pada kondensor A dan 8,145 °C pada kondensor B, sedangkan TR turun menjadi 9,855 °C dan 8,716 °C. Walaupun U meningkat menjadi 29,893 kW/m².°C pada kondensor A dan 23,732 kW/m².°C pada kondensor B, kenaikan tersebut berkaitan dengan kebutuhan flow air pendingin yang lebih besar dan berkurangnya luas perpindahan panas aktif. Dengan demikian, tubes plugging efektif sebagai tindakan cepat untuk mengatasi kebocoran tube, tetapi peningkatan jumlah plug menurunkan kemampuan perpindahan panas kondensor sehingga perlu pemantauan ketat terhadap flow air pendingin, fouling, dan tingkat vakum kondensor.

Kata kunci: kondensor; tubes plugging; LMTD; temperature rise; koefisien perpindahan panas

1. Pendahuluan

Kondensor merupakan komponen utama PLTU karena mengubah uap keluaran low pressure turbine menjadi air kondensat yang disirkulasikan kembali dalam siklus tertutup. Kinerja kondensor menentukan kemampuan pembangkit mempertahankan vakum, menurunkan tekanan balik turbin, dan menjaga efisiensi siklus Rankine. Pada PLTU Adipala 1x660 MW, kondensor menggunakan air laut sebagai media pendingin sehingga potensi fouling, korosi, dan kebocoran tube perlu dikendalikan secara berkelanjutan [1-3]. Kebocoran tube menjadi masalah penting karena air laut dapat bercampur dengan kondensat dan menurunkan kualitas air siklus. Salah satu tindakan pemeliharaan yang umum dilakukan adalah tubes plugging, yaitu penutupan tube yang bocor agar unit dapat kembali beroperasi tanpa menunggu proses retubing yang lebih lama. Metode ini ekonomis dan cepat, tetapi tube yang ditutup akan mengurangi luas perpindahan panas aktif sehingga dapat mempengaruhi LMTD, TR, heat load, dan koefisien perpindahan panas menyeluruh [4-7].

Data historis menunjukkan bahwa kebocoran kondensor PLTU Adipala terjadi pada sisi inlet dan outlet kondensor A serta inlet dan outlet kondensor B. Setelah plugging pertama dan kedua, jumlah plug masih relatif kecil. Namun, pada outage Februari 2019 jumlah tube yang ditutup meningkat tajam hingga 194 plug pada kondensor A dan 206 plug pada kondensor B. Kondisi tersebut menuntut evaluasi termal

agar dampak plugging terhadap performa kondensor dapat dinilai secara objektif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh tubes plugging terhadap kinerja kondensor Unit 1 PLTU Adipala 1x660 MW menggunakan parameter LMTD, TR, luas perpindahan panas, beban panas, dan U. Artikel ini disusun kembali dari skripsi ke format JTM dengan pembahasan ringkas, kuantitatif, dan berfokus pada indikator kinerja kondensor.

Secara operasional, plugging memiliki dua sisi konsekuensi. Di satu sisi, tindakan ini diperlukan untuk menghentikan kebocoran tube secara cepat sehingga air laut tidak masuk ke hotwell dan tidak mencemari air kondensat. Di sisi lain, tube yang ditutup tidak lagi berfungsi sebagai jalur air pendingin sehingga luas efektif perpindahan panas berkurang. Dampak tersebut dapat terlihat melalui perubahan temperatur air pendingin keluar, penurunan beda temperatur rata-rata logaritmik, serta perubahan kebutuhan flow air pendingin. Kondisi kondensor juga dipengaruhi oleh faktor non-plugging seperti fouling, temperatur air laut, kebersihan debris filter, performa vacuum pump, dan keberadaan non-condensable gas. Oleh sebab itu, hasil evaluasi tidak dapat hanya dipandang sebagai akibat langsung jumlah plug, tetapi harus dibaca sebagai respons gabungan antara area perpindahan panas, kondisi air pendingin, dan stabilitas operasi unit. Pendekatan multiparameter dipilih agar pembahasan tidak bias terhadap satu indikator saja.

2. Metode Penelitian

2.1. Data dan Objek Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berbasis data operasi kondensor Unit 1 PLTU Adipala 1x660 MW. Data sebelum plugging diambil pada 26 Oktober 2017, 26 Oktober 2018, dan 29 November 2018, sedangkan data sesudah plugging diambil pada 29 Oktober 2017, 2 November 2018, dan 9 Februari 2019. Parameter yang digunakan meliputi temperatur uap, temperatur air kondensat, temperatur air pendingin masuk dan keluar, beban unit, flow rate circulating water, jumlah tube, diameter tube, panjang tube, serta jumlah plug pada setiap sisi kondensor.

2.2. Parameter dan Persamaan Kinerja

Kinerja kondensor dihitung menggunakan lima parameter utama. Penulisan rumus dibuat sebagai persamaan bernomor agar sesuai dengan format artikel teknik. LMTD menggambarkan beda temperatur penggerak perpindahan panas rata-rata logaritmik, TR menunjukkan kenaikan temperatur air pendingin, Q menyatakan beban panas yang dilepas kondensor, A menyatakan luas perpindahan panas aktif, dan U menyatakan koefisien perpindahan panas menyeluruh.

$$\text{LMTD} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad (1)$$

dengan $\Delta T_1 = T_s - T_{cw,in}$ dan $\Delta T_2 = T_s - T_{cw,out}$.

$$\text{TR} = T_{cw,out} - T_{cw,in} \quad (2)$$

$$Q = \dot{m}_{cw} \cdot c_p \cdot (T_{cw,out} - T_{cw,in}) \quad (3)$$

$$A = N \cdot \pi \cdot D_o \cdot L \quad (4)$$

$$U = Q / (A \cdot \text{LMTD}) \quad (5)$$

Pada persamaan tersebut, T_s adalah temperatur uap jenuh, $T_{cw,in}$ adalah temperatur air pendingin masuk, $T_{cw,out}$ adalah temperatur air pendingin keluar, $\dot{m}_{cw}$ adalah laju alir massa air pendingin, c_p adalah kalor jenis air pendingin, N adalah jumlah tube aktif, D_o adalah diameter luar tube, dan L adalah panjang tube. Interpretasi dilakukan dengan membandingkan kecenderungan LMTD, TR, A, Q, dan U sebelum serta sesudah plugging.

2.3. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dimulai dari pemilahan data operasi sebelum dan sesudah plugging pada kondensor A dan kondensor B. Selanjutnya, temperatur uap dan temperatur air pendingin digunakan untuk menghitung LMTD. Perbedaan temperatur air pendingin keluar dan masuk digunakan untuk memperoleh TR. Setelah itu, flow rate circulating water dikonversi menjadi dasar perhitungan beban panas, sedangkan jumlah tube aktif digunakan untuk memperkirakan luas perpindahan panas aktual.

Hasil perhitungan setiap tanggal kemudian disusun sebagai deret perbandingan. Perubahan antarperiode tidak langsung dinyatakan sebagai kenaikan atau penurunan kinerja tanpa melihat konteks operasinya. Apabila nilai U meningkat tetapi LMTD dan TR menurun, maka perubahan tersebut perlu ditafsirkan bersama flow air pendingin dan penurunan luas area. Pola ini penting karena kondensor

merupakan alat penukar kalor yang dipengaruhi oleh sisi uap, sisi air pendingin, dan kondisi permukaan tube secara bersamaan.

Tabel 1. Tahapan Evaluasi Kinerja Kondensor

Tahap	Data masukan	Output	Tujuan
1	Temperatur uap dan air pendingin	LMTD	Menilai gaya pendorong perpindahan panas
2	Temperatur CW in dan CW out	TR	Menilai kenaikan temperatur air pendingin
3	Flow CW dan Cp	Q	Menghitung beban panas kondensor
4	Jumlah tube aktif, diameter, panjang	A	Menghitung luas perpindahan panas
5	Q, A, dan LMTD	U	Menilai koefisien perpindahan panas menyeluruh

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Spesifikasi Kondensor dan Data Plugging

Kondensor PLTU Adipala merupakan steam surface condenser tipe shell and tube. Spesifikasi utama yang digunakan dalam perhitungan diringkas pada Tabel 2. Data ini menjadi dasar perhitungan luas perpindahan panas dan interpretasi penurunan area aktif akibat plugging.

Tabel 2. Spesifikasi Utama Kondensor

Parameter	Nilai
Tipe	N-36000
Luas total kondensor	36000 m ²
Luas efektif kondensor A/B	18000 m ² / 18000 m ²
Diameter tube	32,2 mm
Jumlah tube	7752 x 4
Panjang tube	11316 mm
Flow circulating water desain	103300 m ³ /h
Cleanliness factor	0,85

Kebocoran tube ditangani dengan plugging pada sisi inlet dan outlet. Setelah kejadian Februari 2019, jumlah plug kumulatif mencapai 194 tube pada kondensor A dan 206 tube pada kondensor B. Jumlah ini mulai mempengaruhi area perpindahan panas yang tersedia untuk proses kondensasi uap.

Tabel 3. Ringkasan Historical Plugging Kondensor

Sisi kondensor	Plug awal	Plug lanjutan	Plug Feb 2019	Jumlah akhir
Inlet A	2	11	113	126
Outlet A	6	-	81	87
Inlet B	7	-	95	102
Outlet B	2	-	111	113

3.2. Data Operasi Kondensor

Data operasi menunjukkan bahwa pembandingan dilakukan pada beban yang relatif berdekatan, yaitu sekitar 640-645 MW sebelum plugging. Variasi temperatur uap, temperatur air pendingin, dan flow rate tetap harus diperhitungkan karena ketiganya dapat mempengaruhi LMTD, TR, dan U. Ringkasan data operasi sebelum plugging dan sesudah plugging ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data Operasi Kondensor Sebelum Plugging

Parameter	26/10/2017	26/10/2018	29/11/2018
Tsteam A (°C)	39,674	43,095	44,366
Tsteam B (°C)	39,638	43,488	43,713
Tcwin A (°C)	29,438	28,681	29,312
Tcwout A (°C)	36,005	38,913	40,558
Tcwout B (°C)	36,131	38,281	39,419
Beban (MW)	645,233	640,130	644,165
Flow CW (ton/jam)	126137,992	106137,992	246203,234

Tabel 5. Data Operasi Kondensor Sesudah Plugging

Parameter	29/10/2017	02/11/2018	09/02/2019
Tsteam A (°C)	40,003	42,780	42,186
Tsteam B (°C)	39,858	42,940	41,698
Tcwin A (°C)	29,366	29,578	29,390
Tcwout A (°C)	35,881	39,558	39,245
Tcwout B (°C)	36,184	38,672	38,106
Beban (MW)	643,589	644,311	640,852
Flow CW (ton/jam)	125899,718	109271,946	247553,947

3.3. Perubahan LMTD dan Temperature Rise

Hasil perhitungan LMTD dan TR memperlihatkan bahwa respons kondensor tidak selalu linier pada setiap tahap plugging. Setelah plugging pertama, LMTD kondensor A menjadi 7,209 °C dan kondensor B menjadi 6,916 °C. Pada plugging kedua, LMTD naik menjadi 8,368 °C untuk kondensor A dan 8,843 °C untuk kondensor B. Akan tetapi, pada plugging ketiga LMTD turun menjadi 7,413 °C untuk kondensor A dan 8,145 °C untuk kondensor B. Pola ini menunjukkan bahwa pengaruh plugging harus dianalisis bersama temperatur air laut, flow rate, tingkat fouling, dan kondisi vakum. Nilai TR sebelum plugging pada kondensor A berturut-turut sebesar 6,567 °C, 10,232 °C, dan 11,246 °C, sedangkan kondensor B sebesar 6,567 °C, 9,473 °C, dan 10,107 °C. Sesudah plugging, TR kondensor A menjadi 6,515 °C, 9,980 °C, dan 9,855 °C, sedangkan kondensor B menjadi 6,818 °C, 9,094 °C, dan 8,716 °C. Penurunan TR pada plugging ketiga mengindikasikan berkurangnya panas yang diserap air pendingin pada area perpindahan panas aktif.

Tabel 6. Perbandingan Indikator Kinerja Sebelum dan Sesudah Plugging

Indikator	Sblm-1	Sblm-2	Sblm-3	Ssdh-1	Ssdh-2	Ssdh-3
LMTD A (°C)	6,401	8,269	8,182	7,209	8,368	7,413
LMTD B (°C)	6,223	9,140	8,309	6,916	8,843	8,145
TR A (°C)	6,567	10,232	11,246	6,515	9,980	9,855
TR B (°C)	6,567	9,473	10,107	6,818	9,094	8,716
U A (kW/m ² .°C)	39,786	17,602	30,905	17,531	16,966	29,893
U B (kW/m ² .°C)	40,919	14,736	27,030	19,126	14,622	23,732

3.4. Luas Perpindahan Panas, Beban Panas, dan U

Penutupan tube mengurangi jumlah tube aktif sehingga luas perpindahan panas aktual menurun. Pada tahap plugging awal, pengurangan area relatif kecil sehingga dampaknya masih dapat dikompensasi oleh kondisi operasi. Namun setelah plugging Februari 2019, area yang hilang bertambah karena jumlah plug pada kondensor A dan B meningkat signifikan. Kondisi ini menyebabkan kondensor membutuhkan aliran air pendingin lebih besar untuk menjaga proses kondensasi.

Tabel 7. Ringkasan Luas Aktif dan Beban Panas

Parameter	Kondensor A	Kondensor B	Interpretasi
Jumlah plug akhir	194 tube	206 tube	Area aktif menurun
Dampak pada A	Berkurang	Berkurang	Dipengaruhi jumlah tube aktif
Dampak pada Q	Berubah mengikuti flow CW	Berubah mengikuti flow CW	Tidak hanya ditentukan plug
Kondisi kritis	Plugging ketiga	Plugging ketiga	Perlu monitoring vakum
Tindakan lanjut	Cleaning/retubing	Cleaning/retubing	Jika kebocoran berulang

Koefisien perpindahan panas menyeluruh sebelum plugging pada kondensor A adalah 39,786 kW/m².°C, 17,602 kW/m².°C, dan 30,905 kW/m².°C, sedangkan kondensor B adalah 40,919 kW/m².°C, 14,736 kW/m².°C, dan 27,030 kW/m².°C. Sesudah plugging, U kondensor A berubah menjadi 17,531 kW/m².°C, 16,966 kW/m².°C, dan 29,893 kW/m².°C. Pada kondensor B, U menjadi 19,126 kW/m².°C, 14,622 kW/m².°C, dan 23,732 kW/m².°C.

Secara teori, berkurangnya jumlah tube aktif akan menurunkan luas perpindahan panas. Penurunan area aktif ini tidak selalu langsung menurunkan U secara matematis karena U juga dipengaruhi oleh Q dan LMTD. Kenaikan U pada kondisi ketiga tidak dapat diartikan sebagai perbaikan kinerja secara langsung, sebab kondisi tersebut terjadi bersamaan dengan peningkatan kebutuhan flow air pendingin. Dengan kata lain, kondensor memerlukan flow lebih besar untuk mempertahankan proses kondensasi

pada beban yang sebanding. Setelah plugging ketiga, jumlah tube yang ditutup sudah cukup besar sehingga efek pengurangan area perpindahan panas menjadi lebih terlihat. LMTD dan TR menurun, sedangkan kebutuhan air pendingin meningkat. Kondisi ini mendukung kesimpulan bahwa plugging tetap efektif untuk mencegah kontaminasi air laut ke hotwell, tetapi berdampak negatif terhadap performa termal kondensor apabila jumlah plug bertambah.

3.5. Analisis Multiparameter

Evaluasi multiparameter menunjukkan bahwa plugging tidak selalu menghasilkan pola perubahan yang sederhana. Pada beberapa kondisi, nilai U dapat meningkat walaupun sebagian tube sudah ditutup. Hal ini terjadi karena U merupakan hasil perbandingan antara beban panas, luas perpindahan panas, dan LMTD. Jika flow air pendingin meningkat secara signifikan, nilai Q dapat berubah dan mempengaruhi nilai U. Oleh sebab itu, U yang meningkat setelah plugging tidak boleh langsung dimaknai sebagai peningkatan performa kondensor. Parameter LMTD memberikan informasi tentang beda temperatur rata-rata logaritmik antara uap dan air pendingin. Penurunan LMTD pada kondisi plugging ketiga menunjukkan bahwa perbedaan temperatur efektif untuk perpindahan panas semakin kecil. Pada saat yang sama, penurunan TR menunjukkan bahwa kenaikan temperatur air pendingin setelah melewati kondensor juga menurun. Kombinasi kedua indikator tersebut memperkuat dugaan bahwa kemampuan kondensor menyerap panas menurun setelah jumlah tube yang di-plug meningkat.

Parameter area perpindahan panas memiliki hubungan langsung dengan jumlah tube aktif. Semakin banyak tube yang ditutup, semakin kecil luas permukaan yang tersedia untuk proses kondensasi. Pengurangan area ini dapat meningkatkan beban kerja tube yang masih aktif, terutama ketika unit tetap beroperasi pada beban tinggi. Apabila tidak dikendalikan, kondisi tersebut dapat mempercepat fouling lokal, meningkatkan pressure drop, dan memperbesar risiko penurunan vakum kondensor. Dengan demikian, hasil penelitian mendukung penggunaan plugging sebagai tindakan darurat dan jangka pendek, bukan sebagai solusi permanen ketika jumlah kebocoran terus meningkat. Pada jumlah plug yang masih kecil, dampaknya terhadap performa mungkin belum dominan. Namun setelah plugging mencapai ratusan tube, pengaruh terhadap distribusi aliran air pendingin dan luas perpindahan panas menjadi lebih penting untuk dievaluasi.

3.6. Implikasi Operasional

Implikasi operasional dari hasil ini adalah perlunya pembatasan jumlah plugging dan pengawasan kondisi tube secara periodik. Apabila jumlah tube yang ditutup semakin besar, operator perlu mengevaluasi vacuum condenser, differential pressure air pendingin, fouling factor, serta kandungan Na pada hotwell. Peningkatan kandungan Na menjadi indikator penting adanya kebocoran tube yang berpotensi merusak kualitas air siklus. Pemeliharaan yang disarankan meliputi cleaning ball system, backwash kondensor, pemeriksaan kebocoran, pemantauan temperatur inlet dan outlet air pendingin, serta evaluasi kebutuhan retubing apabila plugging telah mendekati batas teknis. Monitoring tidak cukup hanya melihat satu indikator, tetapi harus mempertimbangkan LMTD, TR, U, flow air pendingin, dan kondisi vakum secara simultan.

Untuk operasi jangka panjang, plugging sebaiknya diposisikan sebagai tindakan korektif sementara. Jika tren kebocoran berulang dan jumlah plug terus meningkat, keputusan pemeliharaan perlu diarahkan pada pemeriksaan menyeluruh material tube, evaluasi korosi, dan rencana retubing agar kemampuan kondensor dalam membuang panas tetap terjaga.

3.7. Keterbatasan Penelitian dan Arah Lanjutan

Penelitian ini menggunakan data operasi aktual sebelum dan sesudah plugging, tetapi kondisi operasi tidak sepenuhnya identik. Beban unit, temperatur air laut, flow circulating water, serta kondisi fouling dapat berubah dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, interpretasi hasil tidak boleh hanya bertumpu pada satu parameter. Perbandingan yang lebih kuat memerlukan data dengan kondisi beban dan temperatur air pendingin yang lebih terkendali.

Penelitian lanjutan perlu memasukkan data vakum kondensor, tekanan sisi exhaust turbin, differential pressure air pendingin, fouling factor, dan kandungan kimia air hotwell. Dengan data tersebut, pengaruh plugging terhadap performa kondensor dapat dipisahkan dari pengaruh faktor operasi lain. Analisis ekonomi juga perlu dilakukan untuk menentukan titik keputusan antara plugging lanjutan dan retubing.

Tabel 8. Rekomendasi Monitoring Pasca-Plugging

Aspek	Parameter kunci	Risiko	Tindak lanjut
Termal	LMTD, TR, U	Penurunan transfer panas	Evaluasi tren harian
Hidrolis	Flow CW, pressure drop	Aliran tidak merata	Backwash dan cleaning
Kimia	Na hotwell, konduktivitas	Kontaminasi air laut	Leak test tube
Mekanik	Jumlah plug, korosi tube	Area aktif turun	Retubing selektif
Operasi	Vakum kondensor	Back pressure naik	Optimasi vacuum pump/ejector

3.8. Rekomendasi Teknis Pemeliharaan

Berdasarkan pola hasil perhitungan, pemeliharaan kondensor perlu dipisahkan menjadi tindakan cepat dan tindakan pemulihan jangka panjang. Plugging dapat digunakan untuk mengisolasi kebocoran agar unit segera kembali beroperasi, tetapi jumlah plugging harus dicatat sebagai indikator penurunan kapasitas perpindahan panas. Setiap penambahan plug perlu diikuti evaluasi LMTD, TR, flow air pendingin, dan vakum kondensor.

Jika tren kebocoran tube berulang, pemeriksaan material tube perlu ditingkatkan melalui inspeksi visual, eddy current test, atau metode NDT lain yang sesuai. Retubing parsial atau total harus mulai dipertimbangkan ketika plugging tidak lagi cukup untuk menjaga kinerja termal dan kualitas air kondensat. Pada tahap operasi, debris filter, ball cleaning, backwash, dan kontrol kimia air pendingin harus dijaga agar fouling tidak memperparah dampak pengurangan area akibat plugging.

Tabel 9. Prioritas Tindakan Berdasarkan Kondisi Kondensor

Kondisi	Indikator	Prioritas tindakan
Plug sedikit dan Na normal	Kinerja relatif stabil	Monitoring rutin dan cleaning
Plug bertambah tetapi vakum stabil	A mulai berkurang	Evaluasi LMTD, TR, U, dan flow CW
Plug banyak dan TR/LMTD turun	Transfer panas menurun	Inspeksi tube dan evaluasi retubing
Na hotwell naik	Indikasi kebocoran aktif	Leak test dan plugging selektif
Vakum turun berulang	Back pressure meningkat	Audit vacuum system dan kebersihan tube

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, tubes plugging menyebabkan kecenderungan penurunan kinerja kondensor Unit 1 PLTU Adipala 1x660 MW. Pada plugging ketiga, LMTD turun menjadi 7,413 °C pada kondensor A dan 8,145 °C pada kondensor B, sedangkan TR turun menjadi 9,855 °C pada kondensor A dan 8,716 °C pada kondensor B. Penurunan tersebut menunjukkan berkurangnya kemampuan penyerapan panas pada area perpindahan panas aktif. Nilai U sesudah plugging ketiga adalah 29,893 kW/m².°C pada kondensor A dan 23,732 kW/m².°C pada kondensor B. Walaupun nilai U meningkat dibanding kondisi sesudah plugging kedua, peningkatan ini tidak menunjukkan perbaikan penuh karena terjadi bersama peningkatan flow air pendingin dan pengurangan luas perpindahan panas. Dengan demikian, evaluasi kinerja kondensor harus dilakukan secara multiparameter, bukan hanya berdasarkan U.

Tubes plugging layak digunakan sebagai tindakan cepat untuk mengatasi kebocoran tube dan mencegah kontaminasi air laut pada hotwell. Namun, apabila jumlah plug semakin besar, tindakan retubing, pembersihan tube, dan evaluasi performa kondensor perlu dipertimbangkan untuk menjaga keandalan operasi pembangkit. Secara operasional, pemantauan pasca-plugging perlu dilakukan melalui pencatatan jumlah tube yang ditutup, tren LMTD, TR, U, flow air pendingin, dan vakum kondensor. Pencatatan berkelanjutan akan membantu menentukan apakah plugging masih memadai atau sudah perlu ditingkatkan menjadi inspeksi material dan retubing.

Untuk penelitian lanjutan, data kondisi operasi sebaiknya diperluas dengan tekanan kondensor, fouling factor, differential pressure air pendingin, dan kualitas kimia hotwell. Data tersebut diperlukan agar pengaruh plugging dapat dipisahkan dari pengaruh perubahan beban, temperatur air laut, dan kondisi kebersihan tube.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak PLTU Adipala 1x660 MW PT PLN (Persero), pembimbing, dan pihak terkait yang telah membantu proses pengambilan data, arahan teknis, serta penyusunan artikel ini.

Daftar Rujukan

- 1) Zata Lini AS, Rudianto B. Penentuan nilai efektivitas condenser di PLTU Paiton Unit 5 PT YTL Jawa Timur. *J Ilm Rotary*. 2016;1(1):1-7.
- 2) Natamenggala GM. Pengaruh plugging terhadap laju perpindahan panas condenser 1B Unit 1 pada PLTU PT PJB UP Gresik. Jakarta: STT-PLN; 2018.
- 3) Makhfidhotul K, Sutjahjo DH. Re-design condenser PLTU Unit 4 studi kasus: PT PJB UP Gresik. *JTM*. 2016;4(3):335-342.
- 4) Ramdani R, Sonawan H. Kaji teoritik pengaruh tube plugging terhadap penurunan beban pembangkit listrik tipe 625
- 5) MW reheat condensing steam turbine. *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*. 2018;17:1-5.
- 6) Moran MJ, Shapiro HN, Boettner DD, Bailey MB. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 8th ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2014.
- 7) ASME. *Performance Test Code on Steam Surface Condensers: Overall Heat Transfer Coefficient*. New York: ASME PTC 12.2; 1998.
- 8) Herawati DA. Pengaruh plugging terhadap laju perpindahan panas rotor cooling air pada PLTGU Blok 2 Unit 1 PT PJB UP Gresik. Jakarta: STT-PLN; 2017.
- 9) Cengel YA, Ghajar AJ. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. 5th ed. New York: McGraw-Hill; 2015.
- 10) Incropera FP, DeWitt DP, Bergman TL, Lavine AS. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2011.
- 11) Kern DQ. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill; 1950.
- 12) Çengel YA, Boles MA. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2015.
- 13) Kakac S, Liu H, Pramuanjaroenkij A. *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 2012.
- 14) Pattanayak L, Ayyagari A, Kumar S. Thermal performance analysis of surface condenser in a thermal power plant. *Int J Eng Res Technol*. 2014;3(7):1120-1125.
- 15) Putra YP, Supriyo B. Analisis performa kondensor pada pembangkit listrik tenaga uap berbasis parameter perpindahan panas. *Jurnal Teknik Energi*. 2019;15(2):65-72.
- 16) HEI. *Standards for Steam Surface Condensers*. 12th ed. Cleveland: Heat Exchange Institute; 2017.
- 17) 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.