

ANALISIS PEFORMA AIR HEATER PLTU BATU BARA BERDASARKAN PERHITUNGAN
ASME PTC 4.3

Muhammad Yahya Ayasy , Jusafwar , Sonki Prasetya

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik , Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
muhammadyahya.ayasy@yahoo.com

Abstrak

Pemanas udara regeneratif pada pembangkit tenaga uap (PLTU) adalah pemanas udara pembakaran yang di pompa oleh kipas lalu meyerap panas gas buang dan menuju ke dalam boiler. Proses perpindahan panas terjadi karena adanya elemen yang berputar sehingga energi panas dari udara pembakaran diserap oleh lembaran logam pada elemen yang dibentuk secara khusus. Penggunaan pemanas udara dapat menambah efisiensi termal unit hingga 10%. Ini berarti menghemat penggunaan bahan bakar sebesar energi panas yang digunakan kembali pada pemanas udara. Penurunan peforma pemanas udara akan menurunkan peforma unit sehingga dapat memberikan dampak kerugian bagi suatu pembangkit. Maka untuk menanggulangnya diperlukan pemeliharaan secara tepat untuk dapat mencegah penurunan peforma pada di pemanas udara. Terdapat beberapa parameter pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga peforma air heater. Parameter pemeliharaan tersebut dapat dianalisis untuk mendapatkan peforma hal apa saja yang perlu dioptimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan parameter pemeliharaan yang harus dilakukan untuk meningkatkan kembali nilai dari peforma pemanas udara. Evaluasi pemanas udara dilakukan berdasarkan ASME PTC 4.3 untuk mengetahui peforma kerja pemanas udara yang digunakan pada PLTU Suralaya dengan merujuk pada parameter efisiensi sisi gas (gas side efficiency) dan juga kebocoran (air heater leakage). Adapun evaluasi didasarkan oleh kondisi kerja saat beban maksimal dan nilai kalori batu bara yang diasumsikan sama. Peforma dievaluasi dalam waktu 6 bulan berturut turut lalu di bandingkan dengan nilai peforma saat komisioning. Lalu penurunan peforma akan di analisis dengan fault tree analysis untuk menentukan penyebab menurunnya nilai efisiensi sisi gas dan bertambahnya nilai kebocoran.

Kata kunci: peforma pemanas udara ASME PTC 4.3, fault tree analysis, pemeliharaan.

Abstract

Regenerative air heater at steam power plant (PLTU) is an air heater driven by a fan and gas into the boiler. The heat transfer process occurs because of the rotating element so that the heat energy of the combustion air is absorbed by the metal sheet on specially formed elements. The use of an air heater can increase the thermal efficiency of the unit by up to 10%. This means saving fuel usage of heat energy reused in water heater. Decrease of peforma air heater will reduce the performance of the unit so that it can give a loss impact for a plant. So to overcome it required proper maintenance to prevent the decrease of performance on the air heater. There are several maintenance parameters required to maintain the performance of the air heater. The maintenance parameters can be analyzed to get the performance of what things need to be optimized. This study aims to provide maintenance parameters that must be done to improve the return value of the air heater performance. Evaluation of air heater is done based on ASME PTC 4.3 to know the performance of air heater used in PLTU Suralaya with reference parameters to gas side efficiency and air heater leakage. The evaluation is based on working conditions when the maximum load and the calorific value of coal are assumed to be the same. Performance is evaluated within 6 consecutive months in comparison with the value of performance during commissioning. Then the performance decline will be analyzed with a fault tree analysis to determine the cause of decreasing the efficiency value of the gas side and increasing the leakage value.

Keywords: air heater permormance , ASME PTC 4.3, fault tree analysis, maintenance.

I. PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan listrik yang semakin meningkat di era modern menuntut produksi listrik yang handal pula. Oleh sebab itu, digunakan alat – alat pembangkitan dengan efisiensi yang tinggi dalam proses generasi listrik. Dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga uap (PLTU) digunakan boiler untuk merubah fase air menjadi uap yang akan memutar turbin dan generator. Boiler PLTU menggunakan bahan bakar batubara sebagai sumber panas yang digunakan untuk memanaskan air, sehingga boiler ditunjang oleh komponen tambahan (auxiliary component) [1]. Boiler modern berkapasitas besar menggunakan air heater yang

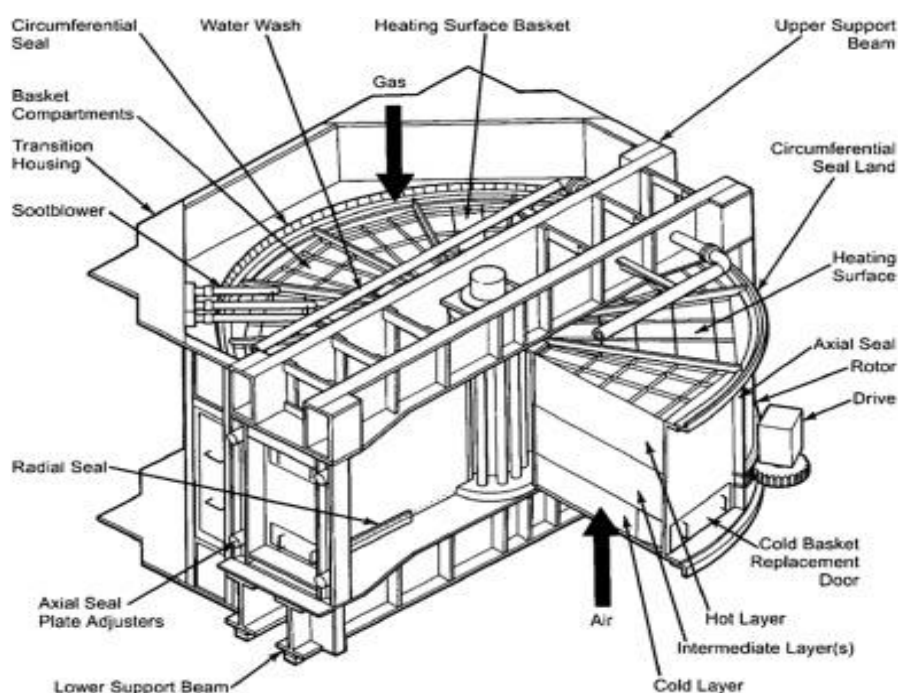
merupakan komponen tambahan (*auxiliary component*) penting dari *boiler* yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi. Fungsi utama *air heater* untuk memanaskan udara pembakaran di dalam *boiler*. Jika udara yang masuk untuk pembakaran tidak memiliki panas sesuai maka konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk mencapai pembakaran sempurna dan ini akan meningkatkan biaya dan mengurangi efisiensi. Ada banyak faktor yang bergantung pada kinerja pemanas udara seperti kebocoran seal yang tinggi, *fouling* dan penyumbatan pada *heating element* [2].

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Shruti, G yang meneliti evaluasi dan optimasi peforma dari *air heater* pada thermal power plant menjelaskan bahwa peforma air heater dipengaruhi oleh besarnya presentase *leakage* dan kemampuan heating elements untuk dapat menyerap panas gas buang [3]. Vinad, K, dkk meneliti kebocoran pada seal dengan CFD medeling dan simulasi pada pembangkit 500 MW, menunjukan bahwa pengaruh *leakage* sangat menentukan peforma dari air heater [4]. Lal. Bahari meena, dkk menganalisis peforma *air heater* terhadap keuntungan ekonomi yang diperoleh, menunjukan bahwa terdapat kenaikan nilai peforma dan keuntungan berupa penghematan konsumsi energi dari mealakukan setting ulang pada seal untuk menurunkan nilai *leakage air heater* [2]. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa *leakage* dan perpindahan panas sangat mempengaruhi peforma air heater dan mempengaruhi juga terhadap keuntungan perusahaan pembangkitan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan peforma pada air heater ,pengaruh penurunan peforma air heater terhadap nilai efisiensi boiler dan solusi pemeliharaan untuk menjaga peforma pada air heater.

1.2 AIR HEATER

Air heater pada PLTU merupakan komponen bantu yang terdapat pada *boiler* yang berfungsi untuk memanaskan udara pembakaran untuk mengurangi kadar kelembaban air pada batubara dan udara pembakaran dengan memanfaatkan panas keluaran boiler yang sudah tidak dapat lagi digunakan untuk memanaskan air umpan. Hal ini memberikan keuntungan dengan peningkatan efisiensi unit hingga 10%. Ini berarti menghemat penggunaan bahan bakar sebesar energi panas yang digunakan kembali pada *air heater*. [1]

Pada PLTU Suralaya digunakan *air heater tipe re-generatif, bi-sector, poros vertical*, dan pada terdapat dua jenis *air heater* yaitu dua buah *primary air heater* sebagai pemanas udara yang berfungsi untuk *mentransfer* batu bara yang keluar dari *primary air fan* dan dua buah *secondary air heater* untuk memanaskan udara pembakaran yang keluar melalui *force draft fan*. Sumber panas didapat dari gas hasil pembakaran (*flue gas*) yang masih mempunyai temperatur hingga 420 °C sehingga energi panasnya masih dapat digunakan kembali untuk memanaskan udara pembakaran yang akan dihembuskan ke *boiler*.



Gambar.1 Regenerative Air Heater [6]

II. METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Metode studi literatur
Studi literatur pengumpulan data dengan membaca jurnal ilmiah, *manual book*, referensi terkait performa pada *air heater*.
2. Observasi lapangan
Observasi lapangan dilakukan dengan melihat parameter yang terdapat di *control room* dan mengikuti proses pengambilan sampel *performance test* pada *air heater* unit 6 untuk mendapatkan contoh prosedur tes performa dan data yang dibutuhkan untuk proses perhitungan.
3. Perhitungan performa *air heater*
Sebuah *air heater* bekerja dengan kondisi konstan, artinya tidak ada kontrol volume, aliran, maupun tekanan dalam udara dan gas buang yang mengalir melalui *air heater*. Mekanisme *sealing device* mencegah aliran udara dan gas buang yang mengalir melalui sisi – sisi elemen *air heater* yang disebut dengan *leakage*. Sehingga parameter kerja sebuah *air heater* dapat dilihat dari efisiensi sisi gas serta kondisi *leakage* [5].
Performa *air heater* di hitung dengan metode ASME 4.3 dengan data yang diperoleh selama 6 bulan pada tes performa yang telah dilakukan pada beban 600 MW.
4. Analisis penurunan performa
Menganalisis penyebab penurunan performa pada *air heater* dengan metode *fault tree analysis*. Hasil dari perbandingan nilai performa *air heater* yang dilakukan di masing-masing bulan berbeda kemudian dianalisis. Analisis dilakukan untuk mengetahui penyebab penurunan performa *air heater*.
5. Hasil Akhir
Hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diketahui penyebab nilai grafik performa dan efisiensi *boiler* tidak optimal lalu memberikan solusi pemeliharaan pada komponen untuk meningkatkan nilai performa *air heater*.

2.1 Perhitungan Kebocoran *air heater*

Kebocoran desain untuk pemanas udara regeneratif bervariasi dari 5% hingga 15% tetapi meningkat seiring waktu karena sistem penyegelan memburuk. Kebocoran udara dapat dihitung langsung sebagai perbedaan mengalir di antara saluran masuk dan saluran keluar baik untuk gas buang atau aliran udara, Namun, sulit untuk mendapatkan pengukuran kecepatan yang akurat dalam saluran besar seperti halnya di pembangkit listrik [6]. Maka lebih akurat bisa dihitung dengan presentase karbon dioksida yang diukur pada sisi masuk dan keluar dari gas buang dan udara sesuai dengan ASME 4.3 *Air heater performance*. Perhitungan *Air Heater Leakage* :

$$\% Leakage = \frac{\% CO^2_{gas\ entering\ AH} - \% CO^2_{gas\ leaving\ AH}}{\% CO^2_{gas\ leaving\ AH}} \times 90 \dots\dots\dots (3.1)$$

2.2 Perhitungan Efisiensi sisi gas *air heater*

Efisiensi sisi gas (*Gas Side Efficiency*) menyatakan energi panas yang dapat dipindahkan dari gas buang ke udara yang melewati *air heater* dibandingkan dengan kondisi idealnya. Kondisi ideal merupakan kondisi dimana tidak terjadi *leakage* [1]. Ketika kondisi di dalam pemanas udara memburuk (*baskets wear, ash pluggage, dll*), efisiensi sisi gas pemanas udara menurun. Hal ini umumnya disertai dengan peningkatan suhu gas keluar dan penurunan suhu udara keluar *air heater*, dan menghasilkan peningkatan heat rate unit [7]. Perhitungan efisiensi gas :

$$\eta_G = \frac{t_{G14} - t_{G15NL}}{t_{G14} - t_{A8}} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

- tG14 : Temperatur gas buang masuk *air heater*
- tG15NL : Temperatur gas buang keluar *air heater* jika tidak terjadi kebocoran (kondisi ideal)
- tA8 : Temperatur udara masuk *air heater*

Untuk nilai $tG15NL$ dapat dicari dengan persamaan 3 berikut :

$$tG15NL = \frac{AL \times (tG15 - tA8)}{100} + tG15 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

AL : Presentase kebocoran air heater

$tG15$: Temperatur gas buang keluar air heater

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kebocoran Air heater

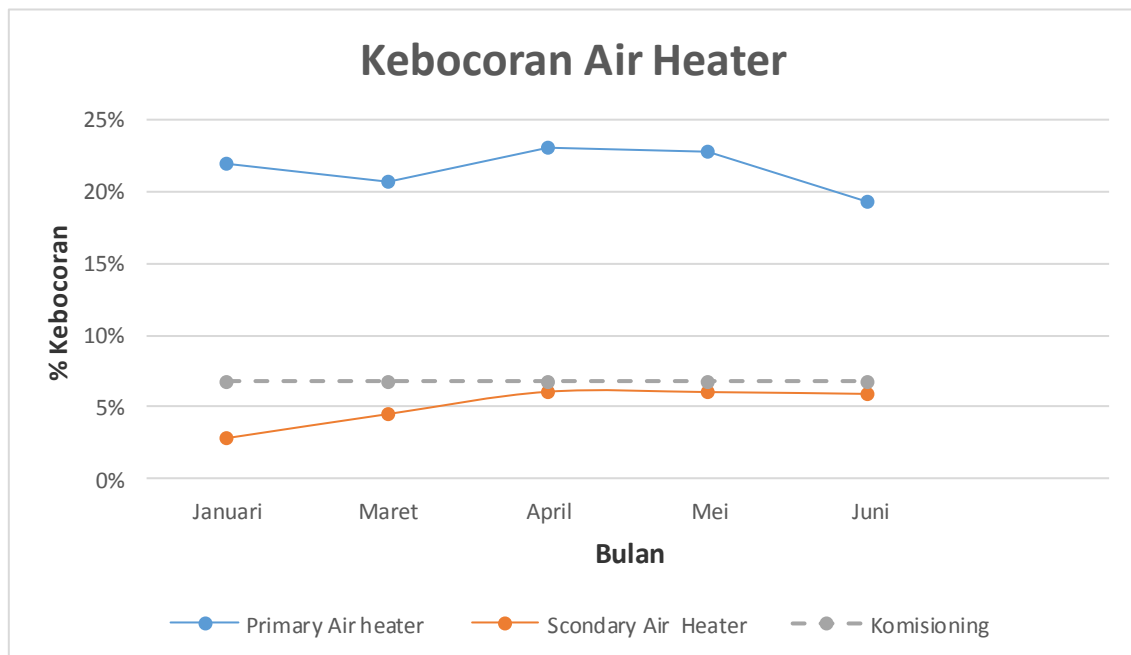
Perhitungan kobocoran air heater diperlukan data berupa kandungan CO_2 pada sisi masuk dan keluar air heater untuk mengetahui nilai dari kebocoran. Perhitungan kebocoran dengan metode menghitung kandungan dari CO_2 ini mempunyai kelebihan yaitu memiliki nilai *error* yang kecil dan mendekati nilai yang aktual. Data kandungan CO_2 disajikan dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel.1 Data kandungan CO_2

Unit		Bulan	CO_2	Kebocoran	
6	Primary air heater	Januari	6A Inlet	16.1 %	15 %
			6A Outlet	13.8%	
			6B Inlet	16 %	29 %
			6B Outlet	12 %	
	Secondary air heater		6A Inlet	16,5 %	2.23 %
			6A Outlet	16.1 %	
			6B Inlet	16.7 %	3.35 %
			6B Outlet	16.1 %	
	Primary air heater	Maret	6A Inlet	16.9 %	12.08 %
			6A Outlet	14.9 %	
			6B Inlet	16.4 %	29.5%
			6B Outlet	12.2 %	
Secondary air heater	6A Inlet		16.9 %	5.06 %	
	6A Outlet		16 %		
	6B Inlet		16.9 %	3.88 %	
	6B Outlet		16.2 %		
Primary air heater	April	6A Inlet	14 %	14.13 %	
		6A Outlet	12.1 %		
		6B Inlet	13.3 %	32.14 %	
		6B Outlet	9.8 %		
Secondary air heater		6A Inlet	14.1 %	7.61 %	
		6A Outlet	13 %		
		6B Inlet	13.7 %	4.84 %	
		6B Outlet	13 %		
Primary air	6A Inlet	Mei	14.4 %	12.86 %	

	heater	6A Outlet	Juni	12.6 %	32.88 %
		6B Inlet		14.2 %	
		6B Outlet		10.4 %	
	Secondary air heater	6A Inlet		14.5 %	7.38 %
		6A Outlet		13.4 %	
		6B Inlet		14.2 %	4.67 %
		6B Outlet		13.5 %	
	Primary air heater	6A Inlet		14.6 %	14.29 %
		6A Outlet		12.6 %	
		6B Inlet		14.5 %	24.47 %
		6B Outlet		11.4 %	
	Secondary air heater	6A Inlet		14.7 %	5.18 %
6A Outlet		13.9 %			
6B Inlet		14.6 %	6.62 %		
6B Outlet		12.6 %			

Berdasarkan tabel. 1 diatas maka di dapat nilai persentasi kebocoran pada *air heater* seperti berikut



Gambar.2 Grafik Kebocoran pada Air Heater

Nilai kebocoran yang dilihat dari kandungan CO₂ pada *air heater* seperti pada gambar 2. Didapat bahwa nilai kebocoran pada *primary air heater* sangat tinggi pada setiap bulannya dan rata-rata kebocorannya sebesar 20%, namun pada bulan february pada performa tes yang dilakukan menunjukkan nilai kebocoran sebesar 0%. Ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh alat ukur yang digunakan saat tes performa tidak terkalibrasi dengan baik sehingga dapat mengakibatkan nilai *error* pada sampel yang di ukur. Nilai kebocoran dari *secondary air heater* pada grafik diatas menunjukkan kebocoran rata-rata sebesar 5% dan ini baik karena desain nilai kebocoran untuk *preheaters* udara regeneratif bervariasi dari 5% hingga 15% tetapi meningkat seiring waktu karena sistem *seal* memburuk [6].

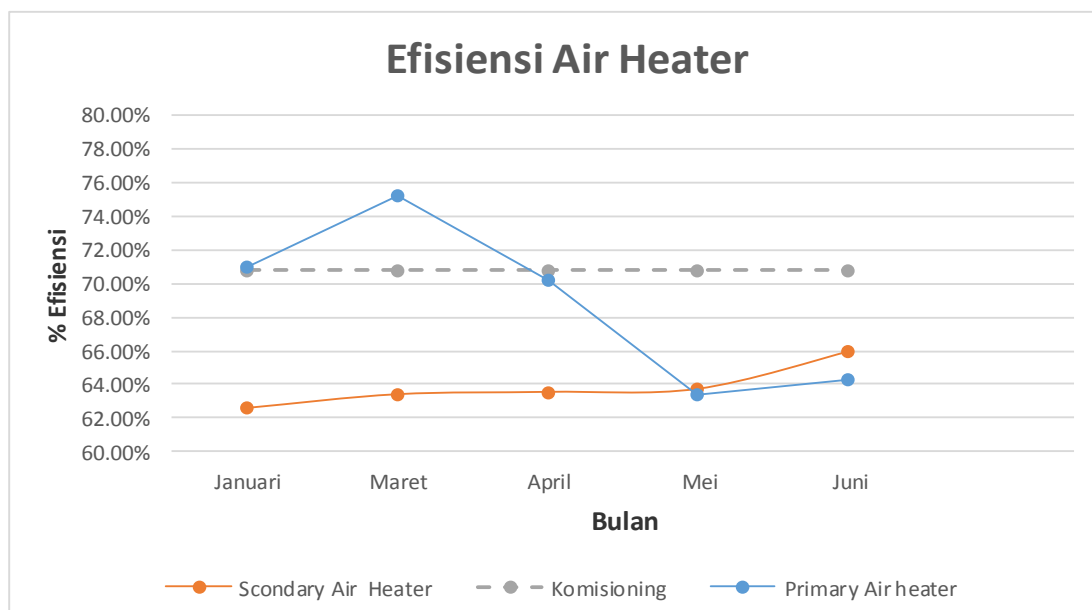
3.2 Efisiensi Air heater

Perhitungan Efisiensi Air heater *air heater* dihitung dari penurunan temperature yang terjadi pada *air heater* pada kondisi ideal. Maka diperlukan data berupa *temperature* udara dan gas buang sebelum dan setelah melewati *air heater*. Data temperatur pada air heater akan di tampilkan dalam tabel.2 berikut.

Tabel.2 Data Temperatur *Air Heater*

Bulan	Unit		Temeperatur				Efisiensi
			tA8	tG14	tG15	tG15NL	
Januari	Primary Air Heater	A	45.22 °C	328.86 °C	135.90°C	140.51°C	71.3 %
		B	43.03 °C	399.34 °C	124.49°C	148.11°C	70.5 %
	Secondary Air heater	A	34.77 °C	412.49 °C	170.34°C	173.36°C	63.3 %
		B	34.52 °C	416.67 °C	175.49°C	180.21°C	61.87 %
Maret	Primary Air Heater	A	42.41 °C	412.31 °C	120.56 °C	130 °C	76.32 %
		B	42.19 °C	422.63°C	117.79°C	140.1 °C	74.2 %
	Secondary Air heater	A	33.98 °C	426.08 °C	160.27°C	167.34°C	65.98 %
		B	33.87°C	439.95 °C	186.76°C	192.7°C	60.8 %
April	Primary Air Heater	A	45.22 °C	406.85 °C	135.90 °C	148.71 °C	71.37 %
		B	44.41 °C	411.11°C	130.38 °C	157.89 °C	69.1 %
	Secondary Air heater	A	36.64 °C	429 °C	161.52°C	171.02°C	65.74%
		B	36.58 °C	431.71 °C	182.36°C	189.41°C	61.32 %
Mei	Primary Air Heater	A	44.65 °C	405.1 °C	162.32 °C	177.45 °C	63 %
		B	43.39 °C	417.05°C	145.2 °C	176.67 °C	63.79 %
	Secondary Air heater	A	35.22 °C	420.62 °C	159.44 °C	168.6°C	65.38 %
		B	35.42°C	432.13 °C	179.32 °C	186.04°C	62.03 %
Juni	Primary Air Heater	A	45.35 °C	398.35 °C	143.27 °C	156.12 °C	60.5 %
		B	44.87 °C	410.3°C	138.9 °C	161.91 °C	67.97 %
	Secondary Air heater	A	36.78 °C	410.71 °C	154.37 °C	160.46 °C	66.9 %
		B	36.63 °C	422.12 °C	163.05 °C	171.84 °C	64.92

Berdasarkan tabel.2 data temperature yang ada pada *air heater* maka di didapat nilai persentasi efisiensi air heater berupa efisiensi sisi gas sebagai berikut.



Gambar.3 Grafik Efisiensi pada Air Heater

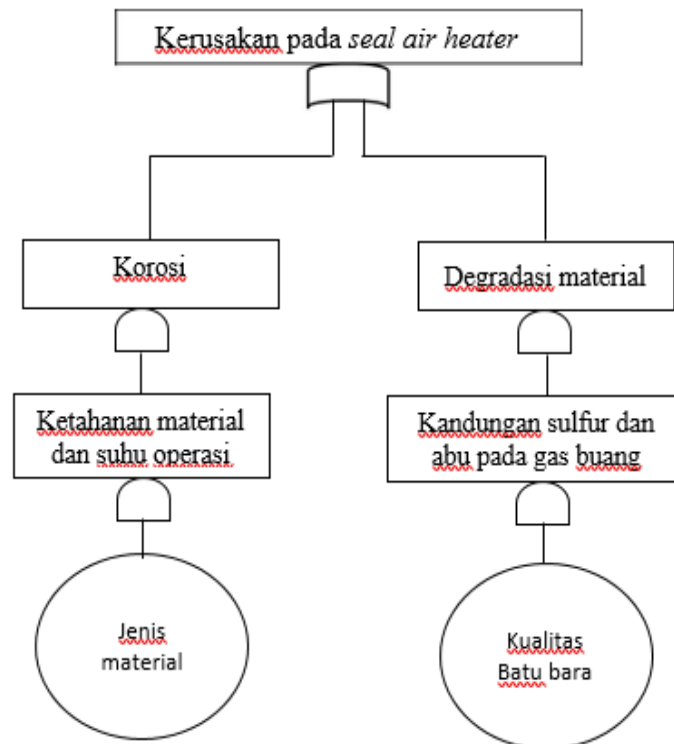
Pada nilai grafik efisiensi air heater didapat bahwa efisiensi yang dilihat dari parameter temperatur pada air heater seperti pada gambar 3. Didapat bahwa nilai efisiensi pada *primary air heater* secara umum lebih baik dari pada *secondary air heater* meskipun nilai kebocorannya sangat tinggi, nilai rata rata efisiensi pada *primary air heater* sebesar 68%, ini karena efisiensi pada *air heater* dipengaruhi oleh penyerapan panas dari gas buang pada *heating element* atau elemen pemanas dan mentransfer ke udara pembakaran.

4.3 Analisis Penurunan Peforma Air heater

Identifikasi penurunan peforma peralatan *air heater* diperlukan untuk mengetahui akar penyebab kerusakan. Jika penyebab kerusakan dapat diminimalisir, maka akan mencegah terulangnya kembali peristiwa kerusakan. Analisis penurunan peforma pada *air heater* dilakukan dengan metode *fault tree analysis*. Metode tersebut untuk menganalisis penyebab permasalahan dengan menggabungkan semua kemungkinan yang menjadi penyebab kerusakan.

4.3.1 Analisis Penyebab kebocoran

Menurunnya peforma air heater dengan indikasi bertambahnya nilai kebocoran yang tidak wajar seperti yang terjadi pada *primary air heater* unit 6 disebabkan oleh system penyegelan kebocoran atau sealing system yang mengalami kerusakan atau tidak sesuai standar, maka kerusakan pada *seal* di cari berdasarkan metode *fault tree analysis* yaitu :



Gambar 4. Analisis penyebab kebocoran pada air heater

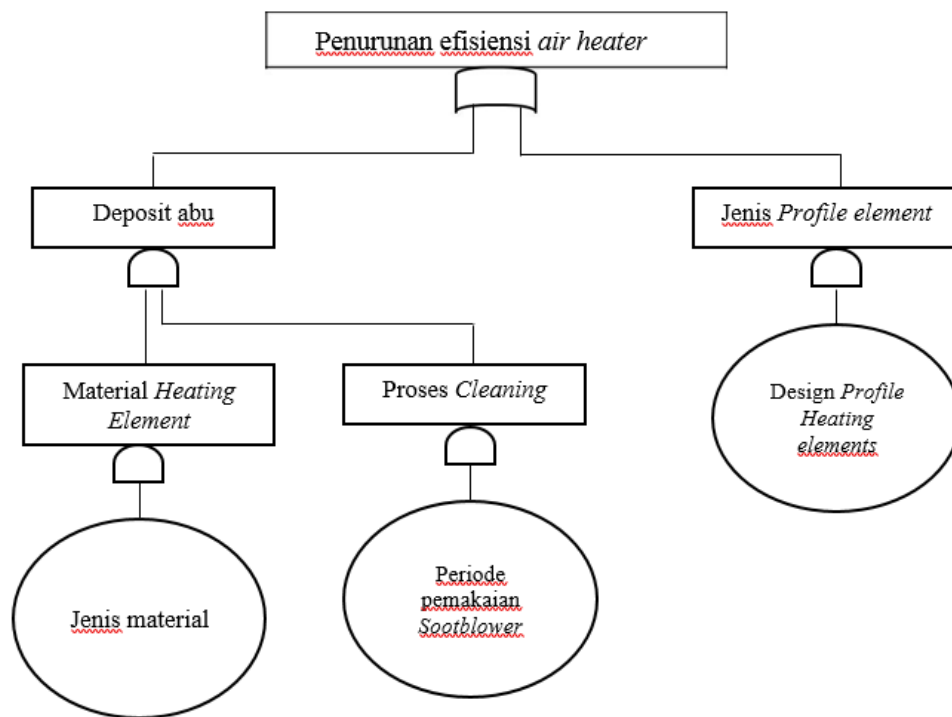
Analisis penyebab kebocoran pada gambar 4 di dapat bahwa Material *seal* mengalami korosi akibat fluida yang mengalir melewati *air heater* di dalamnya sangat tinggi turbulensinya dan suhu yang mencapai 420 °C juga mempercepat laju korosi. Lalu erosi akibat faktor gas buang hasil pembakaran yang mengandung sulfur dan unsur kimia lainnya di dalam fluida gas buang menimbulkan erosi pada material. Korosi juga akan menyebabkan degradasi atau terkikisnya material pada *seal* sehingga membuat kebocoran udara yaitu lewatnya udara pembakaran menuju ke sisi gas buang yang akan menuju *stack*.

Maka parameter pemeliharaan untuk mencegah kebocoran yang akan menurunkan peforma *air heater* adalah dengan melakukan uji laju korosi dan kekuatan pada material *seal* untuk mengetahui *life*

time seal pada konsisi operasi seahingga didapat *schedule* pergantian komponen dan juga melakukan *treatment* pada seal agar lebih tahan korosi, lalu juga menjaga kualitas batu bara.

4.3.2 Analisis Penyebab Penurunan Efisiensi

Menurunnya peforma air heater dengan indikasi nilai efisiensi yang rendah atau tidak sesuai standar yang tidak wajar seperti yang terjadi pada *air heater* unit 6 disebabkan oleh system penyerapan yang terjadi pada *heating element* atau elemen pemanas yang terjadi kerusakan , kerusakan pada *heating element* di cari berdasarkan metode *fault tree analysis* yaitu :



Gambar 5. Analisis penyebab penurunan efisiensi

Penurunan efisiensi diakibatkan oleh tidak efektifnya proses perpindahan panas dari gas buang ke udara pembakaran, ini diakibatkan oleh deposit abu dan juga *profile* pada *heating element* yang dipakai seperti yang dijelaskan pada gambar 5. Deposit abu pada heating element yang terjadi dapat di kurangi dengan melakukan cleaning menggunakan *sootblower air heater*, maka periode penggunaan *sootblower* perlu dipertimbangkan karna jika terlalu sering juga dapat mengakibatkan material yang terkikis oleh uap. Selain itu jenis material juga menentukan terhadap ketahanan dari deposit abu. Melakukan pelapisan pada material akan mengakibatkan ketahanan terhadap deposit meningkat namun daya transfer panas menurun. Perpindahan panas yang terjadi juga ditentukan oleh jenis *profile* pada *heating element*. Maka perlu dilakukan penelitian dan uji coba sebagai referensi penggunaan *design profile* yang mana yang lebih baik dalam proses perpindahan panas pada *air heater*.

Maka parameter pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi adalah melakukan *cleaning* yang tepat untuk membersihkan deposit abu, memilih *design profile* yang tepat dan juga melakukan proses pelapisan pada *heating element* untuk mencegah deposit abu. Namun perlu dipertimbangkan apakah melakukan pelapisan memberikan keuntungan yang lebih, karena dapat menurunkan nilai perpindahan panas yang juga berarti menurunnya efisiensi *air heater*.

IV. KESIMPULAN

1. Perhitungan performa *air heater* yang telah dilakukan dengan metode ASME 4.3 didapat bahwa parameter kebocoran yang terjadi di *primary air heater* memiliki nilai tinggi yang diluar batas standar yang ada yaitu sebesar 20 %, sedangkan efisiensi air heater menunjukkan secara umum *primary* dan *secondary air heater* rata rata berada di bawah standar *design komisioning* yang besarnya 70%. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi nilai kebocoran.
2. Nilai kebocoran yang tinggi secara umum disebabkan oleh sistem *seal* yang ada, Kerusakan yang terjadi pada seal terjadi karna korosi dan degradasi pada material seal. Kerusakan ini dapat dicegah atau diminimalisir dengan menjaga kualitas batu bara yang digunakan agar terhindar dari pengikisan material akibat *sulfur* dan memilih jenis material yang cocok pada kondisi kerja pada *air heater*.
3. Nilai efisiensi yang rendah berdasarkan perhitungan ASME 4.3 adanya deposit abu pada elemen pemanas sehingga mengakibatkan berkurangnya panas yang diserap oleh elemen pemanas. Ini dapat diminimalisir dengan penggunaan *sootblower* untuk membersihkan deposit abu. Lalu pemilihan *design profile* juga menjadi penentu dalam efektifnya proses perpindahan panas yang terjadi pada *air heater*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. N. Purwanto, "PENGARUH UNJUK KERJA AIR HEATER TYPE LJUNGSTORM TERHADAP PERUBAHAN BEBAN DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT I BERDASARKAN PERHITUNGAN ASME PTC 4.3," *Eksergi*, vol. 9, 2013.
- [2] B. L. Meena and M. Y. Sheikh, "PERFORMANCE ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF AIR PREHEATER IN THERMAL POWER PLANT," 2017.
- [3] G. Shruti, "Performance Evaluation and Optimization of Air Preheater in Thermal Power Plant," *international journal of mechanical engineering and technology(IJMET)*, vol. 5, 2014.
- [4] K. B. Vinod, "CFD Modelling and Simulation of 500MW Bisector Air Preheater and Its Performance," *IRJET*, vol. 3, 2016.
- [5] Y. Pravitasaria, M. B. a. Malino, and M. N. Maraa, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *PRISMA FISIKA*, vol. 5, 2017.
- [6] A. Maharaj, W. Schmitz, and R. Naidoo, "A numerical study of air preheater leakage," *Energy*, vol. 92, pp. 87-99, 2015.
- [7] M. S. Rao, "PERFORMANCE EVALUATION AND RECURRING JAMMING PROBLEM ANALYSIS OF AIR PREHEATER IN COAL-FIRED POWER PLANTS," 2015.