

Pengaruh Pemeliharaan Air Heater Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Unit 4 UP Muara Karang

Johan Siburian, I Nyoman Suprpta Winaya, Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Boiler merupakan salah satu komponen utama dari PLTU, yang memiliki tugas meningkatkan tekanan dan temperatur fluida penggerak turbin melalui proses pembakaran. Proses pembakaran yang terjadi di boiler merupakan salah satu pengeluaran terbesar dalam pengoperasian unit, dimana PLTU unit 4 UP Muara Karang membutuhkan bahan bakar sebesar 39.5 ton/jam. Mahalnya biaya pembakaran menyebabkan unit memaksimalkan panas pembakaran sebaik mungkin, salah satunya adalah penggunaan air heater. Air heater merupakan alat untuk meregenerasi panas sisa pembakaran untuk digunakan kembali pada proses pembakaran. Seiring berjalannya waktu pemakaian tentunya ada penurunan performa komponen, sehingga dibutuhkan pemeliharaan yang teratur, agar kerugian bisa dihindari. Dalam 3 tahun terakhir, air heater mengalami dua kali penggantian komponen yaitu heat element pada tahun 2016 dan seal pada tahun 2019. Penggantian ini diharapkan dapat memberikan keuntungan baik dalam mengembalikan performa alat maupun dari segi pendapatan. Penggantian heat element pada tahun 2016 menaikkan efisiensi dari boiler sebesar 0,7694% dimana keuntungan yang diperoleh menutupi biaya penggantian lebih dari 30% dalam 9 bulan dan mencapai BEP dalam 50 jam pengoperasian unit, dan penggantian seal pada tahun 2019 meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1.0788% dimana biaya penggantian tertutupi pada bulan pertama unit beroperasi dan mencapai BEP dalam 30 menit pengoperasian unit.

Kata Kunci : Air heater, Boiler, Efisiensi, Performa, BEP

Abstract

Boiler is one of the main components of a power plant, which has increasing pressure and temperature of the turbine driving fluid through the combustion process. The combustion process that occurs in the boiler is one of the biggest expenses in operating the unit, where PLTU unit 4 UP Muara Karang requires fuel of 39.5 tons / hour. Because the cost of combustion is so expensive, it makes the unit to advantage combustion heat as well as possible, like using air heaters in power plant. Air heater is a tool to regenerate the residual heat of combustion to be used again in the combustion process. As time goes by, of course there is a decreasing component performance, so regular maintenance is needed, so that losses can be avoided. In the last 3 years, the air heater has replacement component of air heater twice, the heat element in 2016 and the seal in 2019. This replacement is expected to provide benefits in returning the performance of the equipment and in terms of revenue. Replacement of the heat element in 2016 increased the efficiency of the boiler up to 0.7694% where covered the cost of replacing more than 30% in 9 months, and reached BEP in 50 hours when unit been operated, and seal replacement in 2019 increased the efficiency of the boiler up to 1.0788% where replacement costs are covered in the first month and reaches BEP in 30 minutes when unit been operated.

Kata Kunci : Air heater, Boiler, Efficiency, Performance, BEP

1. Pendahuluan

Unit Pembangkit Muara Karang (UP Muara Karang) merupakan salah satu unit bisnis dari PT. Pembangkitan Jawa Bali (PT. PJB), berlokasi di Pluit, Jakarta Utara. UP Muara Karang memiliki 5 unit pembangkit, dengan total kapasitas terpasang 1600 MW. Unit Pembangkit Muara Karang memiliki 2 Unit PLTU yakni unit 4&5 dengan kapasitas maksimal 200 MW per-unit nya. Dalam penggunaan bahan bakar, unit 4&5 bisa menggunakan minyak dan gas, akan tetapi lebih memilih memprioritaskan LNG (*Liquid Natural Gas*) dikarenakan lebih ramah lingkungan dan perawatan pembangkit menjadi lebih mudah.

Pemilihan LNG bukan tanpa alasan, unit akan menghindari penggunaan bahan bakar yang memiliki kandungan emisi gas melebihi batas yang sudah ditentukan dikarenakan dapat menyebabkan kerugian baik terhadap lingkungan, pemeliharaan unit, maupun kesehatan karyawan.

Dalam pengoperasian sebuah pembangkit biaya yang paling besar adalah konsumsi bahan bakar, maka pembangkit akan berupaya untuk tidak membuang energi yang sudah dihasilkan secara sia-sia, dan salah satu cara yang dilakukan adalah dengan meregenerasi atau memperbaharui energi yang tidak terpakai menjadi sumber energi yang akan digunakan untuk menggerakkan sistem seperti yang terjadi di *air heater* [1].

Air heater merupakan alat bantu boiler yang berfungsi sebagai penukar panas fluida. *Air heater* pada PLTU unit 4&5 Muara Karang berjenis *rotary air heater* yang diperkenalkan oleh Ljungstrom. Setiap penurunan 5.5°C *flue gas* yang dialirkan menuju *stack* dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 0,25%, dan penggunaan *air heater* dapat meningkatkan efisiensi unit lebih dari 10% [2].

Akan tetapi seiring berjalannya waktu pemakaian komponen ini akan mengalami penurunan performa dikarenakan beberapa hal seperti *plugging*,

korosi, dan penipisan dikarenakan gesekan. *Plugging* yang terjadi *hot end* dan korosi yang terjadi di *cold end* akan mempengaruhi kemampuan elemen untuk menyerap panas dikarenakan permukaan elemen tertutupi senyawa yang menurunkan nilai konduktivitas elemen [3]. Penipisan *seal* yang terpasang di *rotor* akan mengakibatkan peningkatan *leakage* di *air heater*, sehingga akan menurunkan efisiensi dari *air heater* [4].

Air heater PLTU unit 4 UP Muara Karang mengalami penurunan efisiensi dalam 3 tahun terakhir, yang mengakibatkan pemanfaatan panas pembakaran tidak maksimal sehingga *boiler* membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dalam pengoperasiannya. Penurunan efisiensi menyebabkan sewaktu *overhaul* dilakukan inspeksi pada *air heater*, dan ditemukan bahwa *heat element* dan *seal* memenuhi kriteria penggantian sehingga harus dilakukan penggantian dengan tujuan mengembalikan efisiensi dari *air heater* PLTU unit 4 UP Muara Karang seperti semula.

Heat element merupakan plat besi dengan konduktivitas tinggi yang disusun di *air heater*. Perpindahan panas terjadi dikarenakan adanya perpindahan posisi *heat element* dengan bantuan motor listrik, *heat element* yang sudah menyerap panas *flue gas* akan diputar sehingga melewati aliran *primary air*, yang menyebabkan terjadinya perpindahan panas antara *heat element* dengan *primary air*.

Sistem perapat (*seal*) terbuat dari lempengan besi menyerupai sirip yang diletakkan di sekeliling kerangka rotor. *Seal* digunakan untuk memperkecil tingkat kebocoran (*leakage*) yang mengalir melalui celah celah basket yang tersusun di rotor.

Hasil pemeliharaan yang didapat diharapkan dapat menutup biaya perbaikan atau mencapai *Break event point* (BEP) dan juga meningkatkan keuntungan dari pengoperasian unit setelah dilakukan nya perbaikan.

2. Landasan Teori

Bahan bakar utama yang digunakan dalam proses pembakaran di PLTU Unit 4&5 UP Muara Karang merupakan LNG. Pemilihan bakar ini dikarenakan emisi hasil pembakaran yang lebih ramah lingkungan, pemeliharaan peralatan yang lebih mudah dan kalornya yang tinggi. Nilai kalor adalah energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar sebanyak 1 kg. Nilai kalor dapat dihitung menggunakan persamaan Dulong & Petit seperti berikut:

$$HHV = (33950 \times C) + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + (9400 \times S) \text{ kJ/kg} \quad (1)$$

HHV merupakan energi yang didapat dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa ada kandungan air didalamnya, sedangkan bahan bakar dengan kandungan air didalamnya adalah LHV, dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$LHV = HHV - 2400(H_2O + 9H_2) \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

LHV = Low Heating Value (kJ/kg)

HHV = High Heating Value (kJ/kg)

Proses pembakaran tentunya membutuhkan bahan bakar yang cukup, kebutuhan bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$W_f = \frac{W_s (H_{sat} - H_a)}{LHV \times \eta_f} \quad (3)$$

W_f : Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan

W_s : Kapasitas boiler

H_{sat} : entalpi uap keluar boiler

H_a : entalpi feed water

LHV : low heating value

η_f : Efisiensi dapur teori diasumsikan 94% (Syamsir A., 1998)

Boiler (ketel uap) merupakan salah satu alat yang paling penting dalam pembangkit listrik tenaga uap. *Boiler* merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap panas yang akan digunakan untuk memutar turbin. Uap panas yang digunakan untuk memutar turbin awalnya merupakan air yang sudah melewati proses demineralisasi mengalami perubahan fase dikarenakan kenaikan temperatur pada boiler.

Menghitung efisiensi boiler dengan metode langsung [5] menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler } \eta_k = \frac{Q_{\text{Serap}}}{Q_{\text{in}}} \times 100 \quad (4)$$

Q_{Serap} : Panas yang dimanfaatkan pada proses pembakaran ($Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$)

Q_{in} : Panas yang masuk dalam proses pembakaran (kJ/jam)

Q_{out} : Panas yang keluar dari hasil pembakaran (kJ/jam)

Untuk mengetahui panas yang digunakan dalam proses pembakaran (Q_{in}) perlu dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{\text{in}} = W_f \times LHV \times \eta_f \quad (5)$$

Q_{in} : Panas yang digunakan (kJ/jam)

W_f : Kapasitas bahan bakar (kg/jam)

LHV : Nilai kalor rendah (kJ/kg)

η_f : Efisiensi dapur teori berkisar 90%-97% diasumsikan 94% (Syamsir A., 1998)

Untuk mengetahui Q_{out} , hendaknya kita mengetahui aliran panas (*heat flow*) dari hasil pembakaran di boiler. Untuk mencari Q_{out} dari boiler kita harus menghitung jumlah panas yang diserap oleh setiap *heat flow* dan kemudian menjumlahkannya. Jumlah panas yang diserap oleh *heat flow* uap air dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

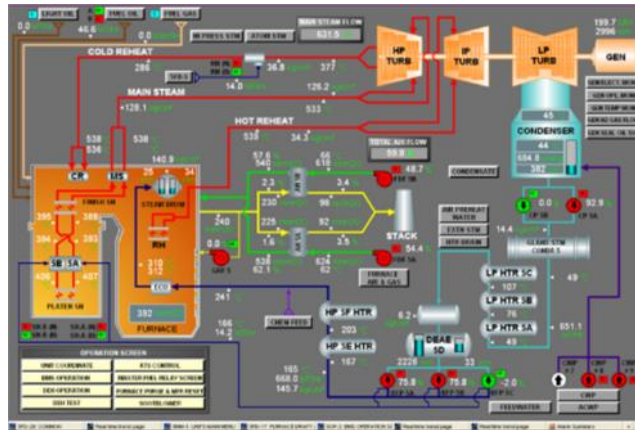
$$Q = W_s \times (\Delta h) \quad (6)$$

Untuk menghitung panas yang diserap *heat flow flue gas* dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = m \times c_p \times \Delta t \quad (7)$$

Q : Panas yang diserap heat flow (kJ/jam)

W_s : Kapasitas aliran uap (kg/jam)



Gambar 1. Total Flow PLTU unit 4 UP Muara Karang

- Δh : Selisih entalpi masuk dan keluar (kJ/kg)
- c_p : Panas Jenis fluida dalam alat (kJ/kgK)
- m : laju aliran massa fluida (kg/jam)
- Δt : Selisih temperatur masuk dan keluar fluida (K)

Air heater merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan efisiensi *boiler* pada PLTU dengan meregenerasi panas dari *flue gas*. Prinsip kerjanya adalah dengan mengalirkan *flue gas* dan *primary air* melewati *heat element* yang sudah tersusun pada *air heater*. Panas dari *flue gas* akan diserap oleh *heat element* sehingga menyebabkan temperatur *flue gas* menurun setelah melewati *air heater*. Elemen yang sudah menyimpan panas dari *flue gas* kemudian akan dilewati aliran *primary air*, yang menyebabkan temperatur dari *primary air* meningkat [6].

Efisiensi dari *air heater* diukur dari besarnya energi yang bisa diregenerasikan dari panas sisa hasil pembakaran (*flue gas*) ke udara pembakaran (*primary air*) dan menyalurkan O_2 ke boiler pada proses pembakaran.

Sebelum mencari efisiensi, kita harus menghitung temperatur gas corrected (gc) menggunakan rumus sebagai berikut.

$$gc = \frac{O_2 \text{ leakage} \times 100 \times AVG \text{ } C_p \text{ air AH in \& out (GAH out temp - AH in temp)}}{(100 \times C_p \text{ gas AH out temp) + GAH out temp} \quad (8)$$

Kebocoran fluida atau air leakage (AL) pada *air heater* dapat dicari melalui metode volumetrik dengan perkiraan empiris kebocoran pemanas udara dengan akurasi $\pm 1\%$.

$$AL = \frac{O_2, out - O_2, in}{(21 - O_2, out)} \times 0,9 \times 100 \% \quad (9)$$

Setelah didapatkan nilai dari gas corrected maka nilai dari efisiensi *air heater* akan bisa diketahui menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi} = \frac{GAH \text{ in temp} - \text{temp gas corrected}}{GAH \text{ in temp} - \text{temp air entering AH}} \quad (10)$$

Pemeliharaan bertujuan untuk mengembalikan performa dari alat mendekati performa semula, sehingga kerugian dapat dihindarkan. Pemeliharaan tentunya mengeluarkan biaya, maka sebelum dilakukan pemeliharaan perlu dilakukan beberapa

pertimbangan salah satunya titik balik modal atau Break Event Point (BEP). BEP dapat diketahui dengan dua cara, yaitu secara matematis dan grafik [7]. Menghitung BEP secara matematis dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

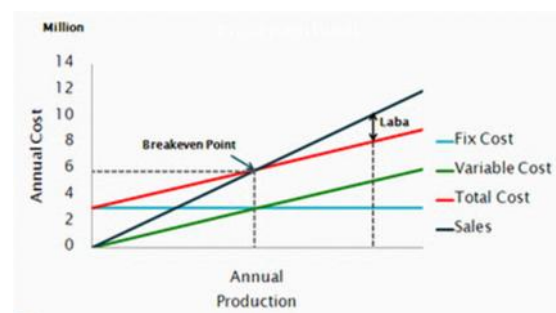
$$BEP = \frac{FC}{P - VC} \quad (11)$$

Rumus diatas merupakan menghitung BEP dalam unit, sedangkan menghitung BEP dalam rupiah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BEP = \frac{FC}{1 - \frac{VC}{S}} \quad (12)$$

- BEP : Break event point
- FC : Fix Cost
- VC : Variabel Cost
- P : Price per unit
- S : Sales volume

Sedangkan untuk mengetahui BEP secara grafik menggunakan cara menarik titik perpotongan dari penjualan dan produksi secara vertikal dan horizontal, seperti berikut ini:



Gambar 2. BEP dalam grafik

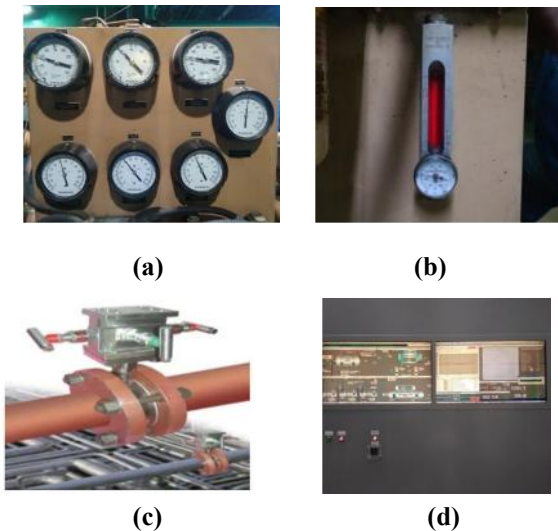
3. Metode Penelitian

Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengumpulkan data dari Central Control Room (CCR) PLTU Unit 4&5 UP Muara Karang. Setelah data terkumpul, maka akan diolah menggunakan rumus guna mengetahui hubungan antar variabel dan perubahan yang terjadi setelah dilakukan penggantian

komponen di *air heater*. Tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Menghitung kebutuhan bahan bakar
- Menghitung kebutuhan udara pembakaran
- Menghitung efisiensi *air heater* sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* 2016
- Menghitung efisiensi *boiler* sebelum dilakukan *overhaul* 2016
- Menghitung efisiensi *boiler* menggunakan data penyerapan panas *air heater* setelah perbaikan, sedangkan data lainnya menggunakan sebelum perbaikan
- Menghitung efisiensi *air heater* sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* 2019
- Menghitung efisiensi *boiler* sebelum dilakukan *overhaul* 2019
- Menghitung efisiensi *boiler* menggunakan data penyerapan panas *air heater* setelah perbaikan, sedangkan data lainnya menggunakan sebelum perbaikan.

Sedangkan alat-alat yang diperlukan untuk memperoleh data adalah sebagai berikut:



Gambar 3. (a) Manometer, (b) Thermometer, (c) Orificemeter, (d) Komputer CCR

Bahan yang digunakan pada penelitian merupakan data yang tercatat pada Log Sheet Tems Panel Ketel PLTU 4&5. Data yang diambil merupakan data performa *boiler* dan *air heater* sebelum dan sesudah *overhaul* 2016 dan 2019.



Gambar 4. Log Sheet PLTU unit 4 PLTU UP Muara Karang

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini data diperoleh dari bagian *Rendall* UP Muara Karang berupa data performance test PLTU unit 4 pada tahun 2016 dan 2019 sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul*, dan beberapa data pendukung lainnya.

Data yang pertama merupakan data komposisi bahan bakar. Bahan bakar utama yang digunakan dalam proses pembakaran di PLTU Unit 4&5 UP Muara Karang merupakan LNG yang berwujud gas yang berasal dari fosil. Setiap bahan bakar memiliki kandungan senyawa yang berbeda-beda, untuk LNG sendiri memiliki kandungan seperti dibawah ini:

Tabel 1. Komposisi bahan bakar LNG (Sumber: UP Muara Karang)

Unsur Kimia	Simbol	Persentase (%)
Metana	CH ₄	89.946
Etana	C ₂ H ₆	3.238
Propana	C ₃ H ₈	2.967
Butana	C ₄ H ₁₀	1.24
n-Pentana	C ₅ H ₁₂	0.157
i-Pentana	C ₅ H ₁₂	0.197
Heksana	C ₆ H ₁₄	0.227
Hidrogen Sulfida	H ₂ S	0.335
Karbon Dioksida	CO ₂	1.207
Hidrogen	H ₂	0.0487

Selanjutnya merupakan data sebelum dan sesudah dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan yang dimaksud disini adalah penggantian komponen *air heater* berupa *heat element* yang dilakukan pada kegiatan *overhaul* 2016. Perhitungan akan membutuhkan beberapa data diantaranya tertera pada tabel berikut.

Data yang terakhir merupakan data sebelum dan sesudah dilakukan pemeliharaan tahun 2019. Pemeliharaan yang dimaksud disini adalah penggantian komponen *air heater* berupa *seal* yang dilakukan pada kegiatan *overhaul* 2019.

Tabel 2. List data yang digunakan untuk menghitung efisiensi pada tahun 2016
(Sumber :UP Muara Karang)

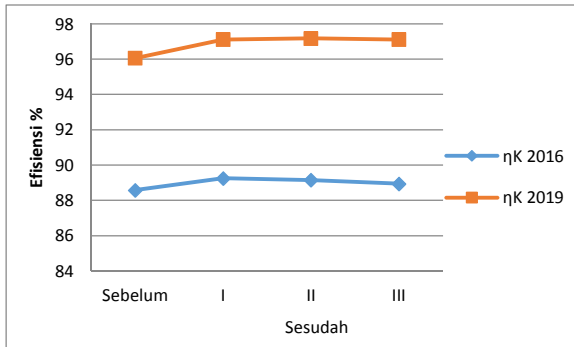
Alat	Jenis Data	Nilai				Satuan
		Sebelum m	Sesudah			
			I	II	III	
Boiler	Main steam flow	517	519	520	518	t/h
	Feed water flow	482	493	494	480	t/h
	Eco in feed water temp	195	216	229	229	°C
	Eco out feed water temp	290	317	313	311	°C
	SH Desuperheater steam inlet temp	454	455.5	464.5	464.5	°C
	SH Desuperheater outlet temp	361.5	368.5	365.5	372.5	°C
	SH out steam temp	536	536	535	536	°C
	RH DSH out steam temp	362	355	356	356	°C
Air heater	Reheater out steam temp	541	539	541	539	°C
	A-AH inlet air temp	39	34	35	38	°C
	B-AH inlet air temp	39	33	34	37	°C
	A-AH outlet air temp	230	248	245	246	°C
	B-AH outlet air temp	256	259	265	264	°C
	A-AH inlet flue gas temp	322	340	341	339	°C
	B-AH inlet flue gas temp	317	335	335	334	°C
	A-AH outlet flue gas temp	128	134	131	133	°C
	B-AH outlet flue gas temp	146	140	146	147	°C
	O ₂ inlet AH	2.7	2.3	2.9	1.4	%
O ₂ outlet AH	6	4.95	4.75	3.8	%	

Tabel 3. List data yang digunakan untuk menghitung efisiensi pada tahun 2019
(Sumber :UP Muara Karang)

Alat	Jenis Data	Nilai				Satuan
		Sebelum m	Sesudah			
			I	II	III	
Boiler	Main steam flow	510	520	520	523	t/h
	Feed water flow	474	502	500	504	t/h
	Eco in feed water temp	157	228	227	228	°C
	Eco out feed water temp	273	307	307	305	°C
	SH Desuperheater steam inlet temp	463	450	452	455	°C
	SH Desuperheater outlet temp	363	373	373	371	°C
	SH out steam temp	539	537	537	538	°C
	RH DSH out steam temp	362	357	357	356	°C
Air heater	Reheater out steam temp	543	540	540	539	°C
	A-AH inlet air temp	37	38	38	38	°C
	B-AH inlet air temp	38	39	38	38	°C
	A-AH outlet air temp	236	261	262	262	°C
	B-AH outlet air temp	229	255	256	255	°C
	A-AH inlet flue gas temp	308	344	343	342	°C
	B-AH inlet flue gas temp	307	341	341	339	°C
	A-AH outlet flue gas temp	135	143	143	143	°C
	B-AH outlet flue gas temp	126	139	138	137	°C
	O ₂ inlet AH	1.8	2.2	4.71	2.61	%
O ₂ outlet AH	3.3	5	6.86	5.74	%	

4.2 Hasil Perhitungan

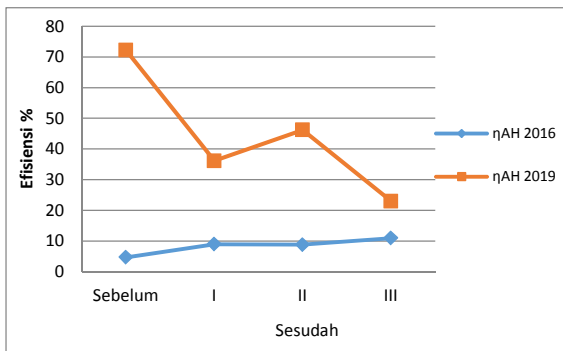
Dari perhitungan yang dilakukan maka didapatkan hasil seperti dibawah ini:



Gambar 5. Grafik Efisiensi Boiler PLTU unit 4 UP Muara Karang

Berdasarkan grafik diatas kita bisa melihat peningkatan efisiensi dari boiler dikarenakan tindakan pemeliharaan. Efisiensi dari boiler yang meningkat menunjukkan bahwa proses pembakaran yang terjadi semakin efisien sehingga penggunaan bahan bakar menjadi semakin sedikit.

Pemeliharaan yang dilakukan pada tahun 2016 meningkatkan efisiensi boiler sebesar 0,761259 %, dan mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,1747% perbulan (tanpa pemeliharaan). Sedangkan pemeliharaan pada tahun 2019 meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1,0458% tanpa mengalami penurunan efisiensi dalam 3 bulan setelah dilakukan pemeliharaan, dikarenakan performa dari alat pasti menurun, penurunan efisiensi dibuat diangka 0,01% dalam 4 bulan.

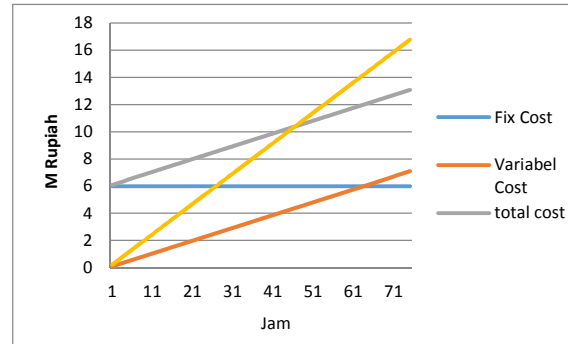


Gambar 6. Grafik Efisiensi Air Heater PLTU unit 4 UP Muara Karang

Berdasarkan grafik diatas kita bisa melihat bahwa pemeliharaan yang terjadi pada 2016 meningkatkan efisiensi dari air heater, sedangkan pemeliharaan yang dilakukan pada tahun 2019 menyebabkan efisiensi dari air heater naik-turun. Efisiensi air heater naik-turun pada tahun 2019 dikarenakan supply O₂ yang tidak stabil dari FDF, sedangkan nilai dari konsentrasi O₂ masuk dan O₂ keluar sangat mempengaruhi efisiensi dari air heater. Kadar O₂ yang terlalu banyak masuk ke air heater seakan menurunkan efisiensi dari air heater tersebut,

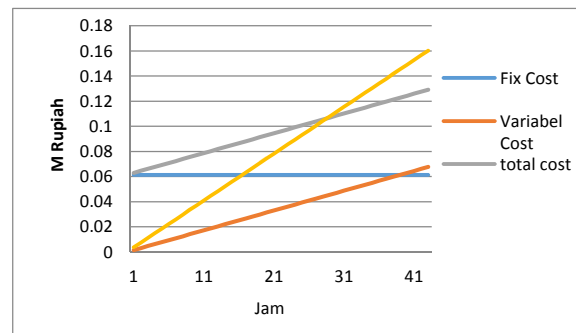
dikarenakan kadar O₂ yang keluar dari air heater hanya berkisar 5%.

Setelah efisiensi dari boiler sudah diketahui maka selanjutnya menghitung BEP, perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui titik balik modal dari pemeliharaan yang dilakukan.



Gambar 7. Grafik BEP pemeliharaan 2016 PLTU unit 4 UP Muara Karang

Pemeliharaan berupa penggantian heat element di air heater pada tahun 2016 menghabiskan dana sebesar Rp. 5.998.300.000. Pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian heat element di air heater akan menyentuh BEP disaat unit menghasilkan 8.485,718732 MWh. PLTU Unit 4 UP Muara Karang beroperasi dengan beban 172 MW, sehingga untuk menutupi biaya pemeliharaan di air heater, PLTU unit 4 UP Muara Karang membutuhkan waktu 49,3 jam pengoperasian dan harus mendapatkan omset sebesar Rp. 10.385.012.150, agar terjadi BEP.



Gambar 8. Grafik BEP pemeliharaan 2019 PLTU unit 4 UP Muara Karang

Pemeliharaan berupa penggantian seal di air heater pada tahun 2019 menghabiskan dana sebesar Rp. 61.429.000. Pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian heat element di air heater akan menyentuh BEP disaat unit menghasilkan 86,90282513 MWh. PLTU Unit 4 UP Muara Karang beroperasi dengan beban 172 MW, sehingga untuk menutupi biaya pemeliharaan di air heater, PLTU unit 4 UP Muara Karang membutuhkan waktu 30,31 menit pengoperasian, dan unit harus mendapatkan omset sebesar Rp. 10.385.012.150, agar terjadi BEP.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari dari studi literatur dan perhitungan pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut:

- a) Setelah dilakukan pemeliharaan berupa penggantian *heat element* di *air heater* pada tahun 2016, efisiensi dari *boiler* mengalami peningkatan sebesar 0,7612 %, dan efisiensi dari *air heater* sendiri mengalami peningkatan efisiensi sebesar 91,12 %. Sedangkan Setelah dilakukan pemeliharaan berupa penggantian *seal* di *air heater* pada tahun 2019, efisiensi dari *boiler* meningkat sebesar 1,0458 %, dan efisiensi dari *air heater* sendiri mengalami penurunan sebesar 50.77 %.
- b) Pada tahun 2017, *Boiler* mengalami penurunan efisiensi sebesar $\pm 0,174\%$ perbulan, sedangkan pada tahun 2019 *boiler* tidak mengalami penurunan efisiensi selama 3 bulan setelah dilakukan pemeliharaan.
- c) Biaya pemeliharaan *air heater* berupa penggantian *heat element* pada tahun 2016 akan mencapai titik BEP dalam 49,3 jam, sedangkan pemeliharaan *air heater* berupa penggantian *heat element* pada tahun 2019 akan mencapai titik BEP dalam 30,31 menit pengoperasian. Hasil keuntungan dari penggantian *heat element* tidak akan balik modal jika tidak dilakukan pemeliharaan yang rutin, keuntungan yang didapat hanya mencapai Rp.1.400.208.698, dimana nilai ini masih kurang Rp.4.598.091.302 dari biaya penggantian. Hasil keuntungan dari penggantian *seal* akan balik modal saat unit beroperasi selama sebulan penuh, dimana keuntungan yang didapat dari penggantian *seal* mencapai Rp. 739.886.868 perbulan, peningkatan efisiensi sudah memberikan untung sebesar Rp. 678.457.868 diluar biaya penggantian.

5.2 Saran

Setelah melakukan studi literatur dan perhitungan, ada beberapa saran yang ingin disampaikan, diantaranya:

- a. Setelah dilakukan perhitungan efisiensi *boiler* mengacu pada data performance test 2017, performa dari *heat element* mengalami penurunan yang lumayan cepat dimana penyerapan panas berkurang 1.623.151 kJ perbulan. Hal ini mengakibatkan efisiensi *boiler* mengalami penurunan sebesar $\pm 0,174\%$ perbulan. Sehingga disarankan untuk memperbaiki jadwal pemeliharaan *air heater* berupa pencucian menggunakan sootblower.
- b. Kadar O₂ yang tidak stabil dari FDF mengakibatkan efisiensi dari *air heater* mengalami hal yang serupa, sehingga disarankan untuk melakukan perbaikan FDF agar *supply* O₂ yang diterima oleh *air heater*

lebih stabil, sehingga mempermudah pengamatan terhadap *air heater*.

Daftar Pustaka

- [1] Dian Mustikaning Kusuma, 2015, *Studi Numerik Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Flue gas – Primary air Pada Rotary Regeerative Air Preheater*, TM 142501, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [2] Stephen K. Storm, 2010, *Experiences with Regenerative Air heater Performances & Optimization*, POWER-Gen Europe, RAI, Amsterdam, Holland.
- [3] Heng Chen, Peiyuan Pan, Huaishuang Shao, Yungang Wang, 3 november 2016, *Corosion and Viscous Ash Deposition of A Rotari Air Preheater in A Coal-Fired Power Plant, Key Laboratory of Thermo-Fluid Sciensi and Engineering of MOE*, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710049, China.
- [4] Gama Budi Prakoso, 2016, *Analisa Pengaruh Unjuk Kerja Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul Terhadap Efisiensi Boiler Unit 3 PLTU 3 Lontar*, Jurusan SI Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- [5] S. C. Stultz, J. B. Kitto, 2005, *Steam Its Generation 41st Edition*, The Babcock & Wilcox Company
- [6] M. Praven, P.S Kishore, 2016, *Effectiveness of Rotary Air Preheater in a Thermal Power Plant, Internasional Journal of Scientific Engineering and Technology*, Volume No.5, Issue No.12, pp:526-531, Andhra University, Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India
- [7] S. P. Hasibuan, 1984, *Manajemen Dasar, Pengertian dan Masalah*, Gunung Agung, Jakarta.



Johan Siburian masuk ke Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2015. Pada Februari 2019, turut mengikuti Program Mahasiswa Magang Bersertifikat, yang ditempatkan di UP Muara Karang selama 6 bulan.

Bidang penelitian yang diminati adalah, mesin konversi energi, motor bakar dalam, dan termodinamika.