

Analisis Pengaruh Penggantian *Heating Element* Terhadap Kinerja Air Preheater Tipe Ljungstrom Di PLTU Jateng 2 Adipala 1 × 660 MW

Mulyono ⁽¹⁾, Anis Roihatin ⁽²⁾, Phypit Marisa ⁽³⁾

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl.Prof.H.Sudarto,SH., Tembalang, Semarang 50275, PO BOX 6199/SMS
Telp. (024)7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396
http : //www.polines.ac.id, email :secretariat@polines.ac.id

1) & 2). Staf pengajar Polines

3). Mahasiswa Polines

ABSTRAK

PLTU Jateng 2 Adipala menggunakan pemanas awal udara (*air preheater*) tipe Ljungstrom rotary regenerative. Pada bulan September 2017 telah dilakukan penggantian elemen pemanas pada air preheater A dan B yang semula tipe Double Undulated (DU) menjadi tipe Howden Closed (HC). Penggantian elemen dilakukan karena adanya endapan abu atau blocking elemen yang melebihi batas toleransi dan tidak dapat lagi dibersihkan menggunakan sootblower. Pengamatan dilakukan pada air preheater A dan B untuk kondisi sebelum dan sesudah penggantian elemen pemanas dengan parameter kinerja berupa kebocoran udara (AL), efisiensi sisi gas (GSE), dan X-ratio (Xr). Analisis kinerja dilakukan dengan menggunakan ASME PTC 4.3 sebagai landasan teori. Hasil perhitungan yang dilakukan AL terbaik pada elemen lama yaitu pada APH B sebesar 4,01% pada beban 100% dan AL terbaik pada elemen baru yaitu pada APH B sebesar 5,1443% pada beban 100%. Nilai GSE terbaik pada elemen lama yaitu pada APH B sebesar 69,3504% pada beban 100% dan nilai GSE terbaik pada elemen baru yaitu pada APH B sebesar 65,7484% pada beban 100%. Nilai Xr terbaik pada elemen lama yaitu pada APH B sebesar 0,7514% pada beban 100% dan nilai Xr terbaik pada elemen baru yaitu pada APH B sebesar 0,7229% pada beban 100%.

Kata kunci : Unjuk kerja air preheater, elemen pemanas, ASME PTC 4.3, Ljungstrom.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan pemanasan awal untuk udara pembakaran pada boiler sekarang ini menjadi suatu keharusan sebagai usaha untuk meningkatkan efisiensi boiler. Pemanas awal udara (*air preheater*) biasa digunakan untuk pemanasan awal udara pada pembakaran untuk pembangkit- pembangkit listrik khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Karena digunakan untuk memanaskan udara primer dan sekunder maka alat ini sering disebut sebagai pemanas udara primer (*Primary Air Heater*) dan pemanas udara sekunder (*Secondary Air Heater*).

Secara umum prinsip kerja pemanas awal udara (*air preheater*) adalah gas panas sisa pembakaran dari boiler keluar melewati pemanasan awal udara dan memanasi permukaan elemen pemanas awal udara, karena pemanas awal udara berputar pada porosnya, maka elemen pemanas letaknya berubah akibat putaran poros tersebut. Elemen pemanas yang telah berada pada sisi gas buang akan memanaskan udara yang

masuk dari arah berlawanan sehingga temperatur udara keluar dari pemanas awal udara yang akan digunakan untuk proses pembakaran di boiler menjadi meningkat. Pada PT Indonesia Power UJP PLTU Jateng 2 Adipala, terdapat tiga lapisan pemanas awal udara yang meliputi lapisan panas (*Hot Layer*), lapisan tengah (*Intermediate Layer*) dan lapisan dingin (*Cold Layer*).

Apabila pemanas awal udara (*air preheater*) dioperasikan beberapa waktu, maka akan terjadi penurunan unjuk kerja dari alat tersebut. Penurunan unjuk kerja pada pemanas awal udara disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah endapan abu (*fouling*). *Fouling* terbentuk dari endapan abu bertemperatur tinggi pada permukaan penyerap panas konveksi yang tidak terkena pemanasan dari panas radiasi dari pembakaran (*furnace*).

Pada bulan September 2017 telah dilakukan perbaikan berupa penggantian elemen pemanas (*heating element*), oleh karena itu diperlukan suatu upaya mengevaluasi kinerja dari pemanas awal

udara (*air preheater*) sebelum dan sesudah perbaikan. Evaluasi kinerja diharapkan mampu mengetahui pengaruh penggantian profil elemen pemanas awal udara (*air preheater*) tipe *Ljungstrom* setelah dilakukannya perbaikan pada bulan September 2017.

Perhitungan unjuk kerja *air preheater* menggunakan pedoman *ASME PTC 4.3 Air Heaters*. Data yang diambil untuk menentukan perhitungan unjuk kerja *air preheater* meliputi :

- Temperatur udara masuk *air heater* ($T_{A,in}$)
- Temperatur udara keluar *air heater* ($T_{A,out}$)
- Temperatur gas masuk *air heater* ($T_{G,in}$)
- Temperatur gas keluar *air heater* ($T_{G,out}$)
- Kondisi O_2 *excess* gas buang masuk *air heater* ($O_{2,in}$)
- Kondisi O_2 *excess* gas buang keluar *air heater* ($O_{2,out}$)
- Laju aliran udara primer (*PA flow*)
- Laju aliran udara sekunder (*SA flow*)

Dalam pengambilan data untuk menentukan unjuk kerja *air preheater*, diperlukan beberapa parameter seperti yang dijelaskan. Sebagai pembandingan unjuk kerja *air preheater* maka data diambil dengan kondisi beban dan kandungan batubara yang relatif sama untuk menghindari kondisi anomali dalam penyajian data, kondisi tersebut diantaranya :

1. Kondisi beban unit relatif sama saat pengambilan data.
2. Kondisi bahan bakar yang digunakan memiliki rentang nilai kalor yang tidak jauh berbeda.
3. Kondisi data pendukung lain relatif sama, seperti temperatur dan kelembaban udara sekitar.

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengambilan contoh data yang telah dilakukan maka perhitungan unjuk kerja akan dilakukan berdasarkan beberapa titik, yaitu bulan September 2016 – Agustus 2017 dengan bulan Oktober 2017 pada beban 50%, 80%, dan 100%.

2. METODE

Metode yang digunakan menghitung unjuk kerja *air preheater* di PLTU Jateng 2 Adipala antara lain:

a. Studi Kasus

Dalam penentuan topik studi kasus untuk tugas akhir ini diperoleh dengan melakukan observasi lapangan dan studi literatur untuk pendalaman materi. Kegiatan observasi meliputi studi siklus dan pengujian performa. Materi yang digunakan diperoleh dari *vendor manual*, jurnal ilmiah, dan referensi lain yang valid untuk digunakan sebagai referensi. Selain itu, dilakukan diskusi dengan dosen pembimbing dan pembimbing lapangan dengan memperhatikan ketersediaan data di lapangan, referensi metode, dan tujuan studi kasus.

b. Pengumpulan Data

Data yang diambil untuk menghitung performa *air preheater* merupakan data yang diperoleh dari data operasi *air preheater* pada bulan september 2016 dan bulan oktober 2017 dengan beban operasi yang hampir sama. Data operasi yang diambil meliputi temperatur udara masuk dan keluar *air preheater*, temperatur gas buang masuk dan keluar *air preheater*, kondisi O_2 pada sisi gas buang, laju aliran massa udara dan gas buang, serta beban yang tercatat. Data yang diambil merupakan data operasi dari *air preheater A* saja, dikarenakan data operasi dari *air preheater A* dan B nilainya mendekati sama.

c. Perhitungan Performa

Perhitungan performa *air preheater* menggunakan persamaan 2.1 sampai 2.11 yaitu perhitungan kebocoran udara (*air leakage*), *gas side efficiency*, dan *x-ratio*, perhitungan penghematan bahan bakar oleh penggunaan *air preheater*, perhitungan penghematan energi untuk sistem dengan *air preheater*. Perhitungan performa mengacu pada *ASME PTC 4.3 Air Heaters*.

d. Analisa Data

Setelah dilakukan perhitungan untuk mengetahui performa *air preheater*, dilakukan analisis mengenai hasil perhitungan guna mengetahui pengaruh dari penggantian elemen pemanas (*heating*

element) yang sebelumnya tipe *Double Undulated (DU)* menjadi *Howden Closed (HC)* terhadap kinerja *air preheater type Ljungstrom* di PLTU Jateng 2 Adipala.

3. Perhitungan Unjuk Kerja Air Preheater

Unjuk kerja *air preheater* yang akan dihitung dibawah ini merupakan contoh perhitungan berdasarkan data performance test 1 pada bulan september 2016 dengan data diketahui sebagai berikut :

- Temperatur udara masuk *air heater* ($T_{A,in}$) = 32,87 °C
- Temperatur udara keluar *air heater* ($T_{A,out}$) = 297,91 °C
- Temperatur gas masuk *air heater* ($T_{G,in}$) = 313,37 °C
- Temperatur gas keluar *air heater* ($T_{G,out}$) = 123,72
- Kondisi O_2 excess gas buang masuk *air heater* ($O_{2,in}$) = 6,59 %
- Kondisi O_2 excess gas buang keluar *air heater* ($O_{2,out}$) = 9,66 %
- Laju aliran udara primer (*PA flow*) = 321,73 T/H
- Laju aliran udara sekunder (*SA flow*) = 298,43 T/H

3.1 Perhitungan Kebocoran udara pada Air Preheater (Air Leakage)

Metode penentuan kebocoran udara pada *air preheater* dengan metode volumetrik ini dengan perkiraan empiris kebocoran pemanas udara dengan akurasi ± 1 %. Kebocoran udara pada *air preheater* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Air Leakage (AL)} &= \frac{(O_{2,out} - O_{2,in})}{(21 - O_{2,out})} \times 0,9 \times 100 \\ &= \frac{(9,66 - 6,59)}{(21 - 9,66)} \times 0,9 \times 100 \\ &= \frac{3,07}{11,34} \times 0,9 \times 100 \\ &= 24,36 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dengan $O_{2,in}$ dan $O_{2,out}$ merupakan persen O_2 dalam gas masuk dan keluar *air preheater* diperoleh nilai kebocoran udara pada *air preheater* sebesar 24,36 %.

3.2 Perhitungan Temperatur Gas Keluar Air Preheater Tanpa Kebocoran ($T_{G,out NL}$)

Temperatur gas keluar *air preheater* tanpa kebocoran merupakan kondisi ideal, sebuah kondisi dimana tidak terjadi kebocoran (*leakage*). Temperatur gas keluar *air preheater* tanpa kebocoran ($T_{G,out NL}$) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{G,out NL} &= \left[\frac{AL \times C_{p,Air} \times (T_{G,out} - T_{A,in})}{100 \times C_{p,Gas}} \right] + T_{G,out} \\ &= \left[\frac{24,36 \times 1,00497 \times (123,72 - 32,87)}{100 \times 0,9846488} \right] + 123,72 \\ &= 146,187 \text{ °C} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai kalor spesifik $C_{p,Air}$ dan $C_{p,Gas}$ menggunakan temperatur rata-rata dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{T_{A,in} + T_{G,out}}{2} = \frac{32,87 + 123,72}{2} = 78,29 \text{ °C}$$

Sehingga didapatkan $C_{p,Air}$ sebesar 1,00783 kJ/kg dan nilai $C_{p,Air}$ sebesar 0,9846488 kJ/kg dengan temperatur 123,72 C.

3.3 Perhitungan Gas Side Efficiency (η_G)

Gas side efficiency menyatakan energi panas yang dapat dipindahkan dari gas buang ke udara yang melewati *air preheater* dibandingkan dengan kondisi idealnya. Kondisi ideal merupakan kondisi dimana tidak terjadi *leakage*. *Gas side efficiency* dapat dihitung dengan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gas Side Efficiency } (\eta_G) &= \left[\frac{(T_{G,in} - T_{G,out NL})}{(T_{G,in} - T_{A,in})} \right] \times 100\% \\ &= \left[\frac{(313,37 - 146,187)}{(313,37 - 32,87)} \right] \times 100\% \\ &= 59,60175399 \% \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan X-ratio (Xr)

Nilai x-ratio adalah bilangan tak berdimensi yang berarti nilai perbandingan antara perpindahan panas pada sisi fluida dingin yang melewati *air preheater* dengan perpindahan panas untuk fluida panas yang melewati *air preheater*. X-ratio dapat dicari menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$X - Ratio (Xr) = \left[\frac{(T_{G,in} - T_{G,out NL})}{(T_{A,out} - T_{A,in})} \right]$$

$$= \left[\frac{(313,37 - 146,187)}{(297,91 - 32,87)} \right]$$

$$= 0,6308$$

3.5 Perhitungan Penghematan Bahan Bakar Oleh Penggunaan Air Preheater

Pemanfaatan energi panas gas buang dari sisi keluaran ekonomiser yang digunakan sebagai pemanfaatan ulang energi panas untuk boiler dengan penggunaan air preheater pada PLTU Jateng 2 Adipala dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = \dot{m}_u \times C_{p,Gas} \times (T_{A,out} - T_{A,in})$$

$$= 620,15 \times 1,004977649 \times (313,37 - 123,72)$$

$$= 118,1969 \text{ kJ/s}$$

Sehingga diketahui bahwa energi panas yang diterima oleh udara dalam air preheater berbanding lurus dengan massa udara dan juga perubahan temperatur udara sebelum dan sesudah melewati air preheater.

Energi panas yang dilepas oleh bahan bakar dapat dihitung berdasarkan energi input berupa laju aliran bahan bakar dikalikan dengan nilai kalori bahan bakar. Untuk menghitung energi panas yang dilepas oleh bahan bakar terlebih dahulu harus menghitung nilai kalor bahan bakar yang dapat dihitung dengan persamaan 2.8:

$$N_{bb} = 33950C + 144200\left(\frac{H_2}{8} - \frac{O_2}{8}\right) + 9400S$$

$$= (33950 (0,50708) + 144200 (0,03507 - \frac{0,22442}{8}) + 9400 (0,00792))$$

$$= 17290,38 \text{ kJ/kg}$$

Setelah N_{bb} dihitung kemudian akan didapatkan nilai Q_{bb} untuk mengetahui besarnya penghematan bahan bakar dengan penggunaan air preheater menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{bb} = Q_u$$

$$\dot{m}_{bb} \times N_{bb} = 118,1969 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{m}_{bb} \times 17290,38 \text{ kJ/kg} = 118,1969 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{118,1969 \text{ kJ/s}}{17290,38 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{bb} = 6,835 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

atau 0,006835 kg/s

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai penghematan bahan bakar sebesar 0,006835 kg/s untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 189,65 ($T_{A,out} - T_{A,in}$). PLTU Jateng 2 Adipala beroperasi selama 24 jam dalam sehari, sehingga total penghematan bahan bakarnya sebesar 24,6 kg/jam, atau 590,544 kg/hari.

3.6 Perhitungan Penghematan Energi untuk Sistem dengan Air Preheater

Energi pemanasan udara adalah energi yang diperlukan untuk memanaskan udara dari temperatur lingkungan menjadi temperatur pembakaran. Besarnya energi pemanasan udara tanpa air preheater (Q_{A-C}) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{A-C} = \dot{m}_u \times C_{p,Gas} \times (T_C - T_A)$$

$$= 620,15 \times 1,004977649 \times (571 - 32,87)$$

$$= 335,382 \text{ kJ/s}$$

Sedangkan besarnya energi keluar dengan air preheater (Q_{B-C}) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10 dibawah ini :

$$Q_{B-C} = \dot{m}_u \times C_{p,Gas} \times (T_C - T_B)$$

$$= 620,15 \times 1,004977649 \times (571 - 297,91)$$

$$= 170,2 \text{ kJ/s}$$

Sehingga besarnya penghematan energi untuk sistem dengan air preheater dapat dihitung dengan persamaan 2.11 dibawah ini :

$$\% \text{ Penghematan} = 100 - \left(\frac{Q_{B-C}}{Q_{A-C}} \times 100 \right)$$

$$= 100 - \left(\frac{170,2}{335,382} \times 100 \right)$$

$$= 100 - 50,298$$

$$= 49,702 \%$$

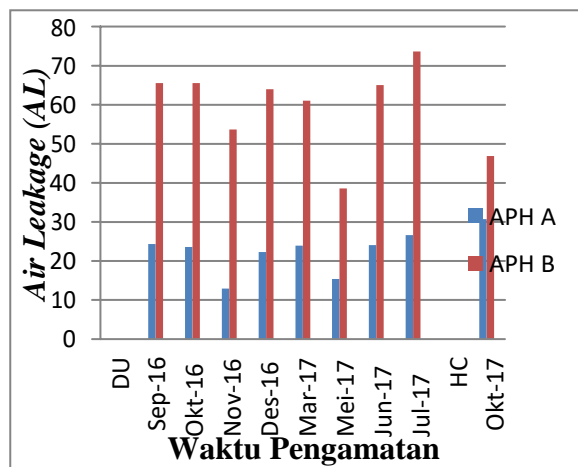
Dari hasil perhitungan maka diketahui besarnya energi yang dihemat sistem dengan penggunaan air preheater sebesar 49,702 %.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Sebagai salah satu komponen yang memanfaatkan panas hasil gas buang dari boiler untuk mengurangi kerugian panas (heat loss), air preheater tidak dapat 100%

menyuplai udara pembakaran ke boiler, karena terdapat *heat loss* pada APH akibat kebocoran (*air leakage*), dan menurunnya kemampuan penyerapan panas akibat adanya endapan abu atau *blocking* elemen.

Air leakage merupakan kebocoran udara yang dapat terjadi melalui celah-celah *seal* akibat kurang rapat atau kerusakan *seal* sehingga dapat terjadi kebocoran udara primer maupun sekunder. Kebocoran udara ini dapat diketahui melalui kadar oksigen pada sisi *outlet* gas yang melewati *air preheater*. Pengindikasian kebocoran udara menggunakan kadar oksigen karena proses pembakaran diasumsikan terjadi secara sempurna apabila tidak terdapat kandungan oksigen pada gas buang karena oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar. Sehingga apabila ada oksigen dalam gas buang, itu artinya udara mengalami kebocoran terhadap aliran gas buang. Untuk mengetahui adanya kebocoran udara, dapat diketahui dengan membandingkan kadar oksigen pada gas buang pada sisi *inlet* dan *outlet*. Apabila terjadi perbedaan kadar oksigen antara *inlet* dan *outlet*, maka dapat dikatakan terjadi kebocoran udara.

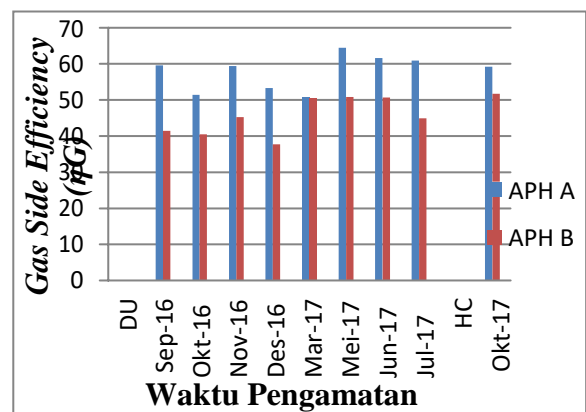


Gambar 4.1 Grafik Air Leakage (AL) dengan Elemen Lama dan Elemen Baru pada Air preheater A dan B

Akibat dari kebocoran udara ini dapat menyebabkan menurunnya kinerja *air preheater*. Dimana udara yang seharusnya digunakan sebagai udara primer dan sekunder berkurang akibat kebocoran ini. Kebocoran udara pada *air preheater* yang digunakan pada PLTU Jateng 2 Adipala

selanjutnya ditunjukkan dengan gambar 4.1. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui terdapat perbedaan trend kebocoran udara antara *air preheater* A dan B. Kebocoran udara (*air leakage*) pada *air preheater* A mengalami penurunan setelah dilakukan pembersihan menggunakan *soot blower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017, dan mengalami peningkatan setelah dilakukan penggantian elemen. Sedangkan pada *air preheater* B, *air leakage* mengalami penurunan setelah dilakukan pembersihan dengan *sootblower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017 dan mengalami penurunan setelah dilakukan penggantian elemen pada bulan September 2017.

Penyebab terdapatnya kebocoran udara dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya penurunan fungsi *seal* (perapat), erosi pada seal akibat abu yang menempel, perbedaan tekanan antara sisi gas dan sisi udara, pengaturan *sealing* yang kurang tepat. Dampak yang muncul akibat kebocoran udara ini antara lain temperatur gas buang ke lingkungan yang masih tinggi, berkurangnya pasokan udara pembakaran, perpindahan panas yang kurang maksimal antara gas dan udara, meningkatnya kecepatan gas buang yang dapat menyebabkan kerja *electrostatic precipitator* (ESP) menjadi semakin berat.

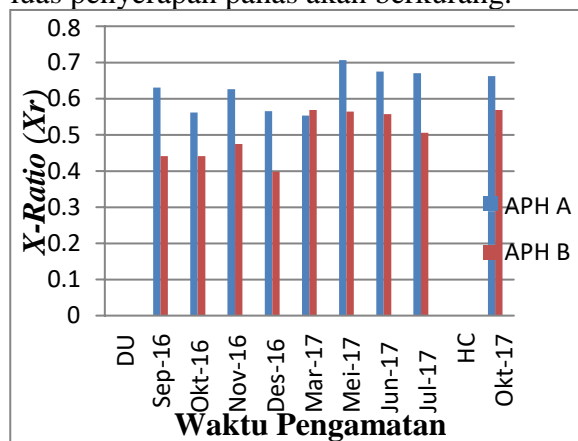


Gambar 4.2 Grafik Gas Side Efficiency (GSE) dengan Elemen Lama dan Elemen Baru pada air preheater A dan B

Parameter unjuk kerja *air preheater* selanjutnya dapat dilihat dari efisiensi sisi gas. Efisiensi *air preheater* dapat diketahui melalui efisiensi pada sisi gas atau *gas side*

efficiency. Dimana dengan nilai *gas side efficiency* yang semakin tinggi, artinya penurunan temperatur gas semakin tinggi. Penurunan temperatur pada sisi gas yang tinggi menggambarkan bahwa terjadi pemanfaatan panas gas buang yang baik untuk pemanasan udara primer maupun udara sekunder. Berdasarkan diagram pada gambar 4.2, efisiensi sisi gas pada *air preheater* A mengalami kenaikan setelah dilakukan pembersihan menggunakan *sootblower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017 dan mengalami penurunan setelah dilakukan penggantian elemen pada bulan September 2017. Sedangkan efisiensi sisi gas pada *air preheater* B mengalami peningkatan setelah dilakukan pembersihan menggunakan *sootblower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017, dan mengalami peningkatan setelah dilakukan penggantian elemen pada bulan September 2017. Namun meskipun mengalami kenaikan maupun penurunan, efisiensi sisi gas pada *air preheater* A maupun B memiliki rentan efisiensi yang tidak terlalu jauh.

Efisiensi yang rendah dapat disebabkan adanya endapan atau deposit yang menutupi elemen pemanas *air preheater* sehingga mengurangi performa kinerja *air preheater*. Perpindahan panas dipengaruhi oleh luas area sehingga apabila terdapat endapan pada elemen *air preheater*, luas penyerapan panas akan berkurang.



Gambar 4.3 Grafik X-ratio (Xr) pada Air preheater A dan B dengan Elemen Lama dan Elemen Baru

Parameter lain yang digunakan untuk mengetahui kinerja *air preheater* adalah *x-ratio*.

ratio. *X-ratio* adalah rasio kapasitas kalor antara udara dan gas buang yang melewati *air preheater*.

Nilai *x-ratio* memiliki trend yang menyerupai *gas side efficiency*. Nilai *x-ratio* yang tinggi mengindikasikan bahwa berat gas buang yang melewati *air preheater* tidak mengalami kelebihan maupun kebocoran udara. Nilai *x-ratio* bergantung pada kelembaban bahan bakar, laju alir massa udara dan gas, kebocoran udara dan kalor spesifik dari udara dan gas. Berdasarkan diagram pada Gambar 4.3, nilai *x-ratio* pada *air preheater* A mengalami kenaikan setelah dilakukan pembersihan menggunakan *sootblower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017 dan mengalami penurunan setelah dilakukan penggantian elemen pada bulan September 2017. Sedangkan nilai *x-ratio* pada *air preheater* B mengalami peningkatan setelah dilakukan pembersihan menggunakan *sootblower* pada bulan November 2016 dan Mei 2017, dan mengalami peningkatan setelah dilakukan penggantian elemen pada bulan September 2017.

Energi panas yang diterima oleh udara dalam *air preheater* berbanding lurus dengan massa udara dan juga perubahan temperatur udara sebelum dan sesudah melewati *air preheater*. Dari perhitungan energi panas yang diterima oleh udara dalam *air preheater* diperoleh nilai Q_u sebesar 118,1969 kJ/s, sehingga dengan persamaan kesetimbangan energi diperoleh nilai penghematan bahan bakar sebesar 0,006835 kg/s. PLTU Jateng 2 Adipala beroperasi selama 24 jam dalam sehari, sehingga total penghematan bahan bakarnya sebesar 24,6 kg/jam, atau 590,544 kg/hari.

Energi pemanasan udara yang diperlukan untuk memanaskan udara dari temperatur lingkungan menjadi temperatur pembakaran pada sistem tanpa *air preheater* (Q_{A-C}) adalah sebesar 335,382 kJ/s. Sedangkan besarnya energi keluar pada sistem dengan *air preheater* (Q_{B-C}) adalah sebesar 170,2 kJ/s. Sehingga besarnya penghematan energi untuk sistem tanpa *air*

preheater dan sistem dengan *air preheater* adalah sebesar 49,702 %.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis unjuk kerja *air preheater* pada PT. Indonesia Power UJP Jateng 2 Adipala, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Prinsip kerja *air preheater* sebagai pemanas awal udara adalah dengan memanfaatkan panas dari gas buang melalui elemen pemanas yang berputar sesuai porosnya. Selain memanfaatkan panas dari gas buang, elemen pemanas dapat menyerap kalor dari udara untuk menurunkan temperatur gas buang.
2. Analisis kinerja *air preheater* dilakukan dengan pengambilan data operasi rata-rata *air preheater* saat dilakukan *performance test* sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul*. Analisis kinerja dilakukan dengan menggunakan ASME PTC 4.3 sebagai landasan teori.
3. Parameter kebocoran udara untuk *air preheater* A pada variasi beban 50%, 80%, dan 100%. Pada beban 50% terjadi kenaikan dari yang semula 5,0064% menjadi 6,2505%, sementara pada beban 80% terjadi kenaikan dari 5,6727% menjadi 6,2505%, sedangkan pada beban 100% terjadi kenaikan dari 4,0180% menjadi 6,7895%. Sementara kebocoran udara untuk *air preheater* B pada variasi beban 50%, 80%, dan 100%. Pada beban 50% terjadi penurunan dari yang semula 5,0064% menjadi 4,7967%, sementara pada beban 80% terjadi kenaikan dari 5,6727% menjadi 6,0789%, sedangkan pada beban 100% terjadi kenaikan dari 4,0179% menjadi 5,1443%.
4. Pada beban 50% terjadi kenaikan efisiensi sisi gas pada *air preheater* A setelah dilakukan penggantian elemen dari yang semula 70,3338% menjadi 71,0636%, sementara pada beban 80% terjadi penurunan dari 69,8859% menjadi 69,8379%, sedangkan pada beban 100% terjadi penurunan dari 69,3504% menjadi 67,2945%. Sementara pada beban 50% terjadi penurunan efisiensi sisi gas pada *air preheater* B setelah dilakukan penggantian elemen dari yang semula 70,3338% menjadi 67,2945%, sementara pada beban 80% terjadi kenaikan dari 69,8859% menjadi 70,1959%, sedangkan pada beban 100% terjadi penurunan dari 69,3504% menjadi 65,7484%.
5. Pada beban 50% terjadi kenaikan *x-ratio* pada *air preheater* A setelah dilakukan penggantian elemen dari yang semula 0,7608% menjadi 0,7876%, sementara pada beban 80% terjadi kenaikan dari 0,7583% menjadi 0,7930%, sedangkan pada beban 100% terjadi kenaikan dari 0,7514% menjadi 0,7586%, sementara pada beban 50% terjadi penurunan nilai *x-ratio* pada *air preheater* B setelah dilakukan penggantian elemen dari yang semula 0,7608% menjadi 0,7468%, sementara pada beban 80% terjadi penurunan dari 0,7583% menjadi 0,7369%, sedangkan pada beban 100% terjadi penurunan dari 0,7514% menjadi 0,7229% pada APH B.
6. Setelah proses *overhaul* pada *air preheater* yang dilakukan, dapat diketahui bahwa kinerja *air preheater* A mengalami penurunan, sedangkan kinerja *air preheater* B mengalami kenaikan.
7. Dari perhitungan energi panas yang diterima oleh udara dalam *air preheater* diperoleh nilai Q_u sebesar 118,1969 kJ/s, sehingga dengan persamaan kesetimbangan energi diperoleh nilai penghematan bahan bakar sebesar 0,006835 kg/s. PLTU Jateng 2 Adipala beroperasi selama 24 jam dalam sehari, sehingga total penghematan bahan bakarnya sebesar 24,6 kg/jam, atau 590,544 kg/hari.
8. Energi pemanasan udara yang diperlukan untuk memanaskan udara dari temperatur lingkungan menjadi temperatur pembakaran pada sistem tanpa *air preheater* (Q_{A-C}) adalah sebesar 335,382 kJ/s. Sedangkan besarnya energi keluar pada sistem dengan *air preheater* (Q_{B-C}) adalah sebesar 170,2 kJ/s.
9. Besarnya penghematan energi untuk sistem dengan *air preheater* membandingkan energi keluar tanpa *air preheater* dan sistem dengan *air*

preheater adalah sebesar 49,702% dengan elemen lama tipe DU dan sebesar 50,823% dengan elemen baru tipe HC.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Team. 1968. *Performance Test Codes 4.3 Air Heaters*. New York : *The American Society of Mechanical Engineers*.
- Arief Mahatma, Wahyu. 2013. *Evaluasi Kinerja Alat Penukar Kalor Air Preheater Tipe Rotary LAP 10320/2200 Unit 2 PT PLN (Persero) SPP PLTU I Jawa Tengah Rembang. Tugas Akhir*. Semarang : Fakultas Teknik Program DIII Kerjasama FT Undip – PLN.
- Dalion Sinaga, Rian. 2015. *Analisa Pemakaian Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Sektor Belawan*. Skripsi. Medan : Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.
- El-Wakil, M.M. Jasjfi, MSc, Ir. E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Erlangga. Jilid 1. Jakarta.
- Howden. 2017. *Air Preheater*. *Howden Hua Engineering Co.Ltd*.
- Incropera, F. P. dan D. P. Dewitt. 1981. *Fundamental of Heat and Mass Transfer* Edisi Keenam. Singapura.
- J.B. Kitto and S.C. Stultz. 2005. *Economizers and Air Heaters Chapter 20. Barberton, Ohio, U.S.A : The Babcock and Wilcox Company*.
- Prianto, Depari. 2011. *Thermal Powerplant*. Adipala. PLN JBTB 4 PLTU Jateng 2 Adipala.
- Team, Howden. 2008. *Indonesia Indramayu Power Plant 3x330 MW APH O&M Manual*. *Howden Hua Engineering Co.Ltd*.