

ANALISA PENGARUH PERBANDINGAN DEBIT BAHAN BAKAR GAS DENGAN UDARA PEMBAKARAN TERHADAP EFISIENSI BOILER DI PT.CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Derry Hanriansyah Pratama¹⁾, Ahmad Fadli²⁾, Amun Amri²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
derry_hp@yahoo.com

ABSTRACT

Boiler is an equipment to generate steam. Steam has heat value in which used for some process. In this case, steam has been used for lifting oil from reservoir as an enhanced oil recovery. Operate boiler efficiently is a must. Operate boiler more efficiently can be achieved by fuel gas and air combustion adjustment. The objectives of this research are to know influences of excess oxygen for boiler efficiency and to know right composition between fuel gas and air combustion. Fix variables in this research are feed water flow (110 GPM) and heat value of fuel gas (1,000 BTU/scf). Fuel gas flow and air combustion flow are the adjustable variable. Fuel gas flow was adjusted in 5 flow variances (1050, 1070, 1090, 1110, and 1130 MSCFD). Air combustion flow was adjusted in 5 flow variances (70, 75, 80, 85, and 90% of louver opening). According to analysis results, the most efficient of boiler operation was 81.55%. That was achieved by 1050 MSCFD of fuel gas flow and 70% of air combustion flow. Boiler efficiency will decrease 2% in every 1% of excess oxygen increase.

Keyword: boiler, steam, combustion, efficiency.

1. Pendahuluan

Jenis minyak mentah di lapangan minyak duri adalah berjenis *Heavy Oil*, oleh karena itu keberadaan uap sangat dibutuhkan. Uap berguna untuk mempermudah proses pengangkatan minyak. Uap yang dibutuhkan dalam proses pengangkatan minyak dihasilkan oleh boiler. Untuk kebutuhan operasi *Boiler*, ada beberapa parameter yang harus dijaga kualitasnya di samping target jumlah produksi uap. Beberapa parameter tersebut yaitu: *Steam Quality* sebesar 73-74%, *Excess Oxygen* sebesar 0.5-2%, dan efisiensi di atas 80%. Secara teoritis, *Excess Oxygen* yang dihasilkan akan mempengaruhi jumlah *Heating Value* yang dihasilkan oleh boiler. Pengaturan jumlah udara, bahan bakar gas, dan air akan menjadi objek yang diteliti. Sehingga akan didapatkan rasio

perbandingan antara jumlah udara, bahan bakar gas, dan air yang paling efisien. Dengan mengadakan trial and error dan pengambilan data secara periodik diharapkan akan mendapatkan efisiensi dari Boiler yang maksimum.

Seiring dengan berjalannya waktu, ditemukan beberapa permasalahan diantaranya sulitnya untuk mendapatkan *Steam Quality* sebesar 73-74% dan efisiensi di atas 80% dengan *Excess Oxygen* sebesar 0.5-2%. Usaha dari operator lapangan yang sudah dilakukan saat ini adalah mempertahankan *Steam Quality* sebesar 73-74% dengan hanya mengatur jumlah bahan bakar gas yang dikonsumsi tanpa memperhatikan *Excess Oxygen* yang dihasilkan. Dari data bulan September dan oktober 2012, didapatkan rata-rata efisiensi sebesar 80.89% dengan rata-rata *Excess Oxygen*

sebesar 2.5%. Beberapa parameter yang mempengaruhi steam quality, excess oxygen, dan efisiensi, diantaranya jumlah bahan bakar gas, jumlah udara pembakaran, dan jumlah air umpan.

Perbandingan jumlah bahan bakar dan udara jumlah air umpan akan dibuat konstan sesuai dengan spesifikasi dari pompa itu sendiri. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui debit udara dan bahan bakar untuk mendapatkan efisiensi yang maksimum dan mengetahui pengaruh dari *excess oxygen* terhadap efisiensi dari *boiler*

2. Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air umpan dari *central gathering station area 3 (CGS-3)*, bahan bakar gas, udara lingkungan, dan *TDS solution standard*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *TDS meter, becker glass, oxygen analyzer, boiler, fuel gas flow meter, water flow meter, thermometer, pressure gauge, flow rate bias, fuel gas regulator, dan thermocouple*.

Variabel tetap dalam penelitian ini adalah debit air umpan (110 GPM) dan nilai kalor bahan bakar gas (1000 BTU/scf). Variabel tidak tetap adalah debit bahan bakar gas (1050, 1070, 1090, 1110, dan 1130 MSCFD) dan debit udara pembakaran (70, 75, 80, 85, dan 90%). Sedangkan variabel yang terukur adalah persentase oksigen dalam gas buang, suhu gas buang, suhu uap, tekanan uap, *TDS* keluaran, *TDS* air umpan, dan suhu air umpan.

2.1 Tahap Penelitian

Menyiapkan seluruh alat yang dibutuhkan. Menghidupkan *boiler* yang akan dijadikan objek penelitian sesuai dengan *Standard Operating Procedures*. Mencatat seluruh data awal dari kinerja

boiler setelah beroperasi selama 1 jam sesuai dengan lembar kerja penelitian. Mengatur variasi bukaan *regulator fuel gas* untuk mengatur variasi pasokan bahan bakar dengan variasi debit 1050, 1070, 1090, 1110, dan 1130 MSCFD. Mengatur variasi bukaan *louver* untuk mengatur variasi pasokan udara pembakaran dengan variasi bukaan *louver* 70, 75, 80, 85, dan 90%. Mencatat seluruh parameter yang diukur sesuai dengan lembar kerja setelah *boiler* beroperasi selama 1 jam.

2.2 Tahap Analisa

Analisa efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung dengan menghitung jumlah kalor yang masuk dengan kalor yang dihasilkan. Jumlah kalor yang masuk berdasarkan perhitungan jumlah bahan bakar gas dengan nilai kalor yang dikandungnya.

Sedangkan jumlah kalor keluar berdasarkan nilai kalor yang dikandung oleh uap yang dihasilkan. Setelah efisiensi diketahui, dilihat hubungan antara efisiensi dengan *excess oxygen* yang dihasilkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Steam Quality

Dari data TDS_{in} dan TDS_{out} yang diperoleh dari hasil percobaan, akan kita peroleh *steam quality*. *Steam quality* perlu dihitung terlebih dahulu untuk mengetahui efisiensi *boiler*. Melalui *steam quality* kita dapat melihat jumlah kalor yang diserap oleh *boiler*.

Hasil perhitungan yang telah dilakukan di setiap variasi bukaan *louver* dan debit bahan bakar gas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data *steam quality*

Debit Gas	Bukaan Louver				
	70%	75%	80%	85%	90%
1050 MSCFD	71.46%	71.09%	70.71%	70.51%	70.36%
1070 MSCFD	72.32%	71.98%	71.71%	71.62%	71.48%
1090 MSCFD	73.72%	73.16%	73.11%	72.84%	72.61%
1110 MSCFD	75.67%	75.09%	74.85%	74.61%	74.25%
1130 MSCFD	76.79%	76.68%	76.49%	76.30%	75.97%

Jika melihat *steam quality* pada bahan bakar 1050 MSCFD. Semakin besar bukaan *louver*, nilai *steam quality* semakin rendah. Nilai *steam quality* tertinggi sebesar 71.46% dan nilai *steam quality* terendah pada 70.36%. Nilai *steam quality* tertinggi yang dapat diraih dengan jumlah bahan bakar 1130 MSCFD dan bukaan *louver* 70% yaitu sebesar 76.79%. Sedangkan nilai *steam quality* terendah diraih ketika jumlah bahan bakar 1050 MSCFD dan bukaan *louver* 90% yaitu sebesar 70.36 %. Hal ini membuktikan bahwa nilai *steam quality* dapat dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar dan bukaan *louver*. Dan ini mengindikasikan efisiensi *boiler* dipengaruhi juga oleh kedua variabel tersebut.

3.2 Efisiensi Boiler

Setelah mengetahui nilai *steam quality* kita dapat menghitung efisiensi *boiler*. Efisiensi *boiler* didapatkan dari perbandingan kalor keluar dan kalor masuk. Jumlah kalor masuk akan sesuai dengan jumlah bahan bakar yang dibakar oleh *boiler*. Sedangkan jumlah kalor keluar atau kalor yang terserap akan bervariasi karena dipengaruhi oleh bukaan *louver*.

Data hasil perhitungan efisiensi *boiler* pada beberapa bukaan *louver* dengan berbagai variasi jumlah bahan bakar dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data *thermal efficiency*

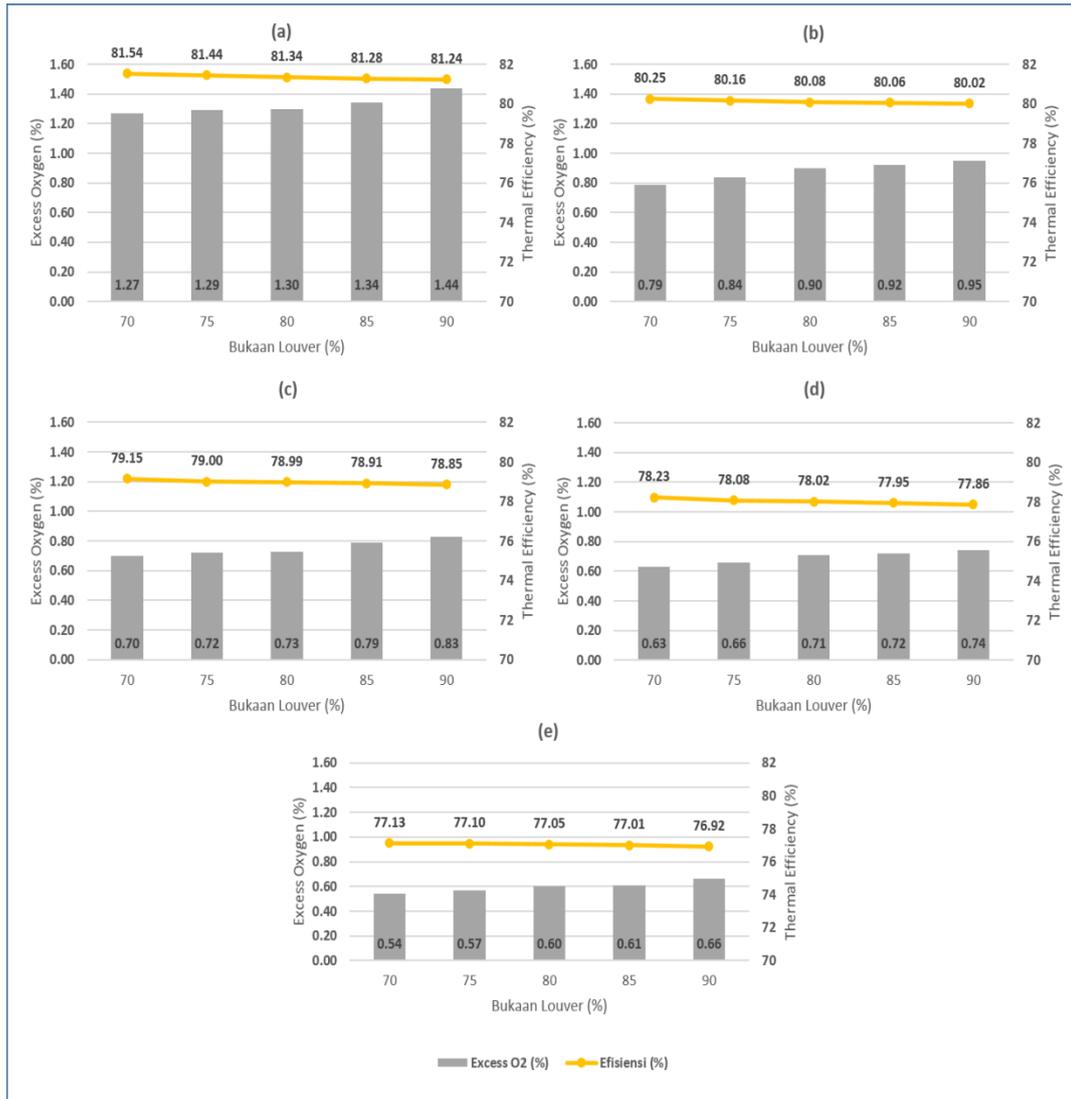
Debit Gas	Bukaan Louver				
	70%	75%	80%	85%	90%
1050 MSCFD	81.55%	81.44%	81.34%	81.28%	81.24%
1070 MSCFD	80.26%	80.16%	80.09%	80.07%	80.03%
1090 MSCFD	79.15%	79.01%	78.99%	78.92%	78.86%
1110 MSCFD	78.23%	78.08%	78.02%	77.96%	77.87%
1130 MSCFD	77.14%	77.11%	77.06%	77.01%	76.93%

3.3 Analisa Pengaruh *Excess O₂* terhadap Efisiensi Boiler

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan nilai *excess oxygen*. Sehingga kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh *excess oxygen* terhadap efisiensi *boiler*. Berikut ini merupakan grafik-grafik yang menggambarkan hubungan antara *excess O₂* dengan efisiensi boiler pada berbagai variasi jumlah bahan bakar dan bukaan *louver*.

Gambar 1 (a) menggambarkan pengaruh *excess O₂* terhadap efisiensi boiler pada jumlah bahan bakar 1050 MSCFD. Pada bukaan *louver* 70% didapat *excess O₂* sebesar 1.27% dan efisiensi boiler sebesar 81.54%. Sedangkan pada bukaan *louver* 75% didapatkan *excess O₂* sebesar 1.29% dan efisiensi boiler sebesar 81.44%. Semakin banyak udara pembakaran, maka didapatkan efisiensi boiler yang mengalami penurunan dengan diikuti kenaikan *excess O₂*. Sehingga kita dapatkan efisiensi tertinggi pada 81.54% dengan *excess O₂* terendah sebesar 1.27%.

Hal ini membuktikan bahwa *excess oxygen* memiliki pengaruh terhadap efisiensi boiler. Hubungan antara *excess oxygen* dengan efisiensi boiler merupakan berbanding terbalik. Jika dirata-ratakan kenaikan *excess oxygen* yang terjadi sebesar 0.04 % dan penurunan efisiensi boiler sebesar 0.09 %.



Gambar 1. Grafik hubungan antara *Excess O₂* dengan Efisiensi Boiler untuk beberapa variasi jumlah bahan bakar (a) 1050 MSCFD, (b) 1070 MSCFD, (c) 1090 MSCFD, (d) 1110 MSCFD, dan (e) 1130 MSCFD.

Sehingga dapat disimpulkan pengaruh excess oxygen pada jumlah bahan bakar 1050 MSCFD adalah setiap kenaikan 1 % dari excess oxygen, efisiensi boiler akan mengalami penurunan sebesar 2.25 %.

Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai ketika menggunakan bahan bakar 1070 MSCFD adalah sebesar 80.25 %. Hal ini terjadi pada bukaan louver 70 %. Sedangkan untuk excess oxygen yang dihasilkan sebesar 0.79 %. Dan efisiensi terendah adalah sebesar

80.02 % dengan excess oxygen sebesar 0.95 %, ketika menggunakan bukaan louver 90 %. Pada gambar 1 (b) terlihat bahwa semakin besar bukaan louver akan semakin besar nilai excess oxygen tetapi efisiensi boiler akan semakin menurun.

Pengaruh excess oxygen terhadap efisiensi boiler pada bahan bakar 1070 MSCFD adalah terjadi penurunan efisiensi boiler sebesar 1.5 % setiap kenaikan excess oxygen sebesar 1 %.

Dengan melihat gambar 1 (c) kita dapat mengetahui pengaruh excess O₂ terhadap efisiensi boiler pada jumlah bahan bakar 1090 MSCFD. Pada bukaan louver 70% didapat excess O₂ sebesar 0.70% dan efisiensi boiler sebesar 79.15%. Sedangkan pada bukaan louver 75% didapatkan excess O₂ sebesar 0.72% dan efisiensi boiler sebesar 79.00%. Semakin banyak udara pembakaran, maka didapatkan efisiensi boiler yang mengalami penurunan dengan diikuti kenaikan excess O₂. Sehingga kita dapatkan efisiensi tertinggi pada 79.15% dengan excess O₂ terendah sebesar 0.70%.

Gambar 1 (c) juga menunjukkan bahwa besar bukaan louver mempengaruhi excess oxygen dengan setiap penambahan 10 % bukaan louver akan menghasilkan kenaikan excess oxygen rata-rata 0.03 % dan penurunan efisiensi boiler sebesar 0.07 %. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa rata-rata setiap kenaikan excess oxygen sebesar 1 %, efisiensi boiler akan mengalami penurunan sebesar 2.3 %.

Pada saat jumlah bahan bakar 1110 MSCFD efisiensi boiler tertinggi dapat diraih ketika bukaan louver sebesar 70 % yaitu sebesar 78.23 % dan terendah sebesar 77.86 % pada bukaan louver 90 %. Sedangkan untuk excess oxygen tertinggi diraih pada saat bukaan louver 90 % sebesar 0.74 %, dan excess oxygen terendah diraih pada saat bukaan louver 70 % sebesar 0.63 %. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 1 (d).

Dengan penambahan bukaan louver, grafik excess oxygen akan mengalami kenaikan sedangkan untuk grafik efisiensi boiler akan mengalami penurunan. Hal ini membuktikan bahwa hubungan antara excess oxygen dengan efisiensi boiler adalah berbanding terbalik. Dengan melihat grafik tersebut rata-rata kenaikan excess oxygen yang terjadi adalah

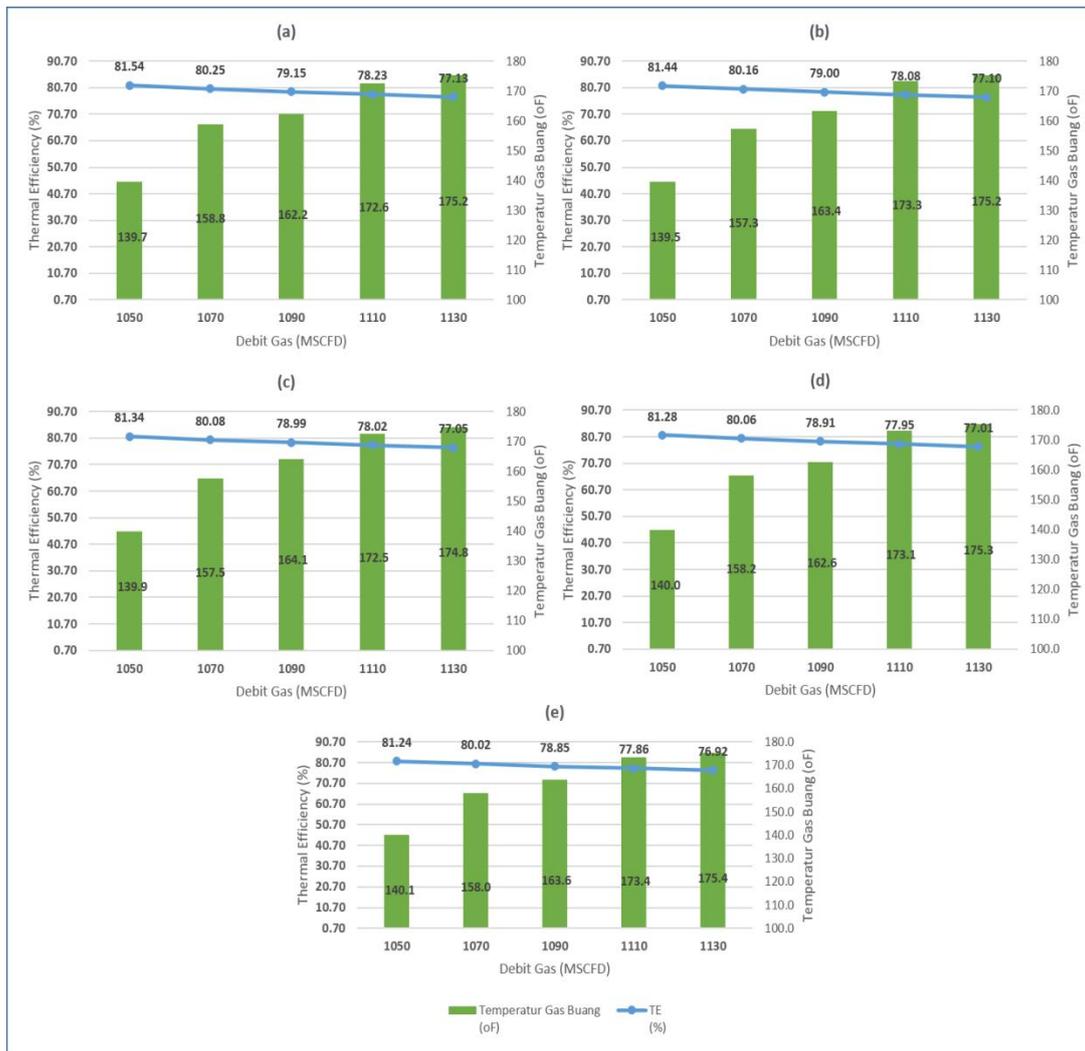
sebesar 0.03 % dan rata-rata penurunan efisiensi boiler sebesar 0.09 %.

Excess oxygen yang dihasilkan pada bahan bakar 1130 MSCFD berada di antara 0.54 – 0.66 %. Nilai tertinggi sebesar 0.66 % terjadi ketika bukaan louver sebesar 90 %. Hal ini dapat dilihat dari gambar 1 (e). Excess oxygen semakin meningkat seiring dengan semakin besar udara pembakaran yang dihembuskan ke dalam boiler. Besarnya bukaan louver akan mempengaruhi nilai excess oxygen yang dihasilkan ketika jumlah bahan bakar tetap. Kenaikkan excess oxygen rata-rata sebesar 0.03 % setiap penambahan bukaan louver sebesar 5 %.

Berbeda dengan efisiensi boiler yang didapatkan. Pada grafik tersebut memperlihatkan bahwa efisiensi boiler akan semakin rendah ketika bukaan louver semakin besar. Efisiensi boiler yang dihasilkan berada pada nilai 76.93 % - 77.13 %. Efisiensi boiler tertinggi dihasilkan ketika bukaan louver 70 %. Sehingga hal ini membuktikan bahwa bukaan louver atau jumlah udara pembakaran akan mempengaruhi efisiensi boiler yang dihasilkan. Penurunan rata-rata efisiensi boiler sebesar 0.21 % setiap penambahan bukaan louver sebesar 5 % atau kenaikan excess oxygen sebesar 0.03 %.

3.4 Analisa Temperatur Gas Buang terhadap Efisiensi Boiler

Dengan melihat data perbandingan antara efisiensi boiler dengan temperatur gas buang terdapat suatu hubungan. Efisiensi boiler ternyata tidak hanya dipengaruhi oleh excess oxygen, tetapi dipengaruhi juga oleh temperatur gas buang. Meskipun nilai excess oxygen semakin menurun tidak semerta-merta efisiensi boiler akan meningkat.



Gambar 2. Grafik hubungan antara efisiensi boiler dengan temperatur gas buang untuk beberapa variasi bukaan louver (a) 70 %, (b) 75 %, (c) 80 %, (d) 85 %, dan (e) 90 %.

Jika kita bandingkan excess oxygen pada bukaan louver 70 % dengan debit gas yang berbeda. Kita dapatkan excess oxygen sebesar 1.27 % pada 1050 MSCFD dan 0.79 % pada 1070 MSCFD tetapi efisiensi boiler yang dihasilkan 81.54 % pada 1050 MSCFD dan 80.25 % pada 1070 MSCFD.

Gambar 2 (a) menggambarkan hubungan antara temperatur gas buang terhadap efisiensi boiler pada bukaan louver 70%. Terlihat pada grafik tersebut temperatur gas buang mengalami peningkatan sedangkan efisiensi boiler mengalami penurunan. Temperatur gas buang pada debit gas 1050 MSCFD sebesar 139.7 °F dan

efisiensi boiler sebesar 81.54%. Sedangkan pada debit gas 1070 MSCFD, temperatur gas buang berada pada 158.8 °F dan efisiensi boiler sebesar 80.25%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian kalor terbuang melalui gas buang dan membuktikan bahwa kapasitas boiler untuk menyerap kalor sudah berada pada titik maksimum.

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan Hubungan antara temperatur gas buang terhadap efisiensi boiler pada bukaan louver 75% dapat dilihat pada gambar 2 (b). Temperatur gas buang mengalami kenaikan rata-rata sebesar 8.9 °F setiap penambahan bahan bakar

sebanyak 20 MSCFD sedangkan efisiensi boiler mengalami penurunan rata-rata 1.1 %. Efisiensi boiler tertinggi diraih ketika bahan bakar 1050 MSCFD. Sedangkan temperature gas buang tertinggi diraih ketika bahan bakar sebanyak 1130 MSCFD.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara temperature gas buang dan efisiensi boiler berbanding terbalik. Ini membuktikan efisiensi boiler dipengaruhi oleh temperature gas buang. Pada bahan bakar 1130 MSCFD efisiensi boiler sebesar 77.10 %. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kalor yang terbuang melalui gas buang yang dihasilkan dengan melihat temperature gas buang yang semakin meningkat.

Pada bukaan louver sebesar 80 %, grafik efisiensi boiler mengalami penurunan sebesar 1.07 % setiap penambahan bahan bakar 20 MSCFD. Sedangkan temperature gas buang mengalami peningkatan sebesar 8.73 °F setiap penambahan bahan bakar 20 MSCFD. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 (c).

Efisiensi boiler tertinggi sebesar 81.34 % dapat diraih ketika bahan bakar 1050 MSCFD, dan efisiensi boiler terendah sebesar 77.06 % terjadi ketika bahan bakar 1130 MSCFD. Sedangkan untuk temperatur gas buang tertinggi sebesar 174.8 °F terjadi ketika bahan bakar 1130 MSCFD dan temperature terendah sebesar 139.9 °F terjadi ketika bahan bakar 1050 MSCFD. Hal ini membuktikan bahwa penurunan efisiensi boiler terjadi karena banyaknya kalor yang terbuang melalui gas buang. Hal ini juga menunjukkan bahwa kapasitas boiler untuk menyerap kalor sudah berada pada titik maksimum. Meskipun jumlah kalor yang dibakar semakin banyak, tetapi kalor yang terserap relatif tetap sehingga efisiensi boiler semakin menurun.

Hal yang mengindikasikan bahwa kemampuan boiler sudah berada pada

titik maksimum terjadi juga pada bukaan louver 85 % yang dapat dilihat pada gambar 2 (d). Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar jumlah bahan bakar yang masuk maka efisiensi boiler semakin menurun. Efisiensi boiler tertinggi yang dapat diraih sebesar 81.28 % dan yang terendah sebesar 77.01 %. Boiler dapat beroperasi dalam keadaan yang paling efisiensi pada bukaan louver 85 % jika menggunakan bahan bakar 1050 MSCFD.

Sebagian kalor terbuang melalui gas buang. Hal ini dapat terlihat dengan meningkatnya temperatur gas buang ketika ada penambahan bahan bakar gas. Hal ini pun membuktikan bahwa kemampuan boiler dalam menyerap kalor sudah maksimal.

Sama dengan pada variasi bukaan louver yang lain, pada bukaan louver sebesar 90 % terjadi penurunan efisiensi boiler seiring dengan penambahan bahan bakar gas. Penurunan efisiensi boiler rata-rata sebesar 1.08 % setiap penambahan bahan bakar gas sebesar 20 MSCFD. Sedangkan untuk temperature gas buang mengalami peningkatan dengan rata-rata sebesar 8.8 °F setiap penambahan bahan bakar gas sebanyak 20 MSCFD. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2 (e).

Efisiensi boiler tertinggi sebesar 81.24 % terjadi ketika bahan bakar yang masuk ke dalam boiler sebanyak 1050 MSCFD. Sedangkan efisiensi boiler terendah sebesar 76.92 % terjadi ketika bahan bakar yang masuk ke dalam boiler sebanyak 1130 MSCFD.

3.5 Analisa *Total Dissolved Solids* terhadap Efisiensi Boiler

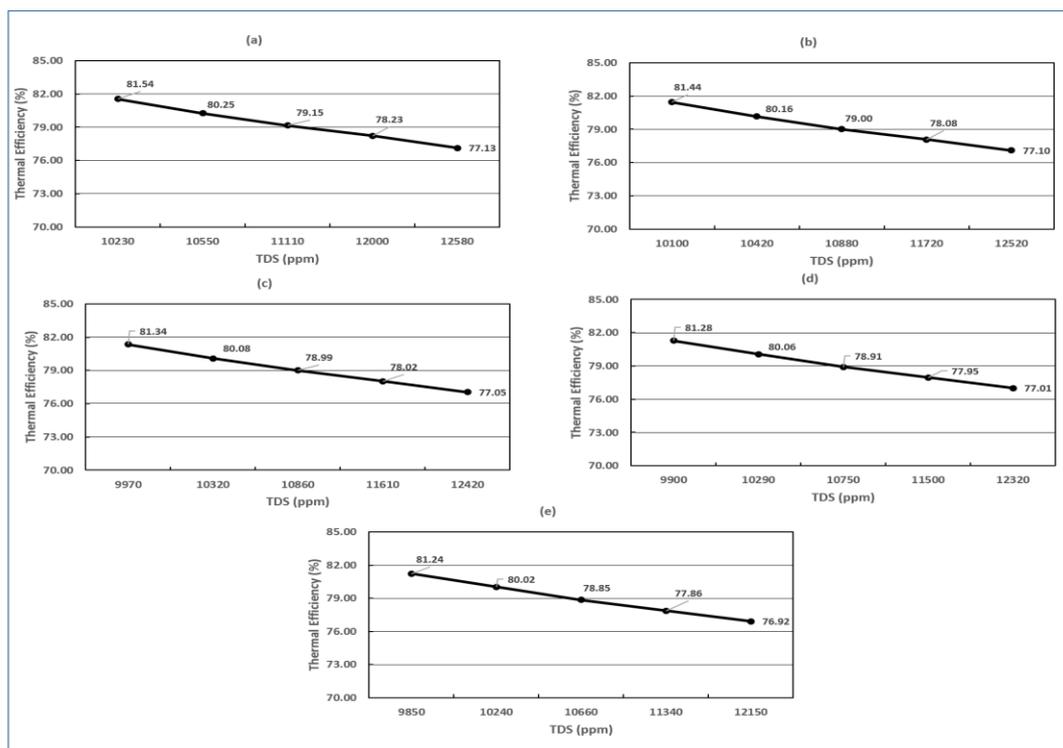
Berdasarkan beberapa grafik yang terlihat di grafik 4.3 memperlihatkan semakin tinggi TDS akan semakin rendah efisiensi boiler yang dihasilkan. Efisiensi boiler tertinggi yaitu 81.54% dengan TDS yang dihasilkan sebesar 10230 ppm dengan jumlah bahan bakar

gas yang masuk ke dalam ruang pembakaran sebanyak 1050 MSCFD.

Sedangkan efisiensi terendah yaitu 76.92% diraih ketika TDS uap yang dihasilkan sebesar 12150 ppm dengan jumlah bahan bakar gas sebanyak 1130 MSCFD. Seperti contoh pada grafik 4.3 (a), rata-rata kenaikan TDS sebesar 605 ppm setiap kenaikan bahan bakar gas sebesar 20 MSCFD. Sedangkan efisiensi boiler akan mengalami penurunan sebesar 1.08%.

Mengacu pada beberapa grafik 4.3 di atas yang memperlihatkan hubungan

antara efisiensi boiler dengan TDS, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara efisiensi boiler dengan TDS berbanding terbalik. Semakin tinggi TDS yang terkandung dalam uap, maka efisiensi boiler akan semakin turun. TDS dapat menjadi salah satu indikator untuk melihat nilai efisiensi boiler yang dihasilkan. Karena dengan melihat TDS uap, maka dapat kita lihat jumlah kalor yang telah diserap oleh uap.



Gambar 3. Grafik hubungan antara efisiensi boiler dengan total dissolved solids untuk beberapa variasi bukaan louver (a) 70 %, (b) 75 %, (c) 80 %, (d) 85 %, dan (e) 90 %.

3.6 Analisa Kapasitas Penyerapan Kalor Boiler

Tabel 3 menggambarkan kalor yang diserap oleh boiler pada variabel bukaan louver dan debit gas yang beragam. Bisa kita lihat kalor yang diserap oleh boiler berada pada nilai 853 – 871 MMBTU. Sedangkan kalor yang masuk berada pada nilai 1050 – 1130 MMBTU.

Kenaikkan kalor yang terserap tidak sebanding dengan kenaikan kalor yang masuk, sehingga hal ini menyebabkan efisiensi boiler menurun. Seperti contoh pada bukaan louver 70% kenaikan kalor yang terserap sebesar 15.41 MMBTU sedangkan kenaikan kalor yang masuk sebesar 80 MMBTU. Hal ini diduga terjadi karena kemampuan boiler dalam menyerap kalor sudah berada pada titik

maksimum. *Boiler* memiliki kemampuan menyerap kalor maksimum pada 871 MMBTU.

Tabel 3.Data Perbandingan Kalor Masuk dan Kalor Terserap.

Bukaan Louver (%)	Debit Gas (MSCFD)	Kalor Masuk (MMBTU)	Kalor Terserap (MMBTU)	Efisiensi (%)
70	1050	1050	856.23	81.55%
	1070	1070	858.73	80.26%
	1090	1090	862.76	79.15%
	1110	1110	868.40	78.08%
	1130	1130	871.64	77.14%
75	1050	1050	855.17	81.44%
	1070	1070	857.74	80.16%
	1090	1090	861.16	79.01%
	1110	1110	866.72	78.08%
	1130	1130	871.32	77.11%
80	1050	1050	854.08	81.34%
	1070	1070	856.95	80.09%
	1090	1090	861.02	78.99%
	1110	1110	866.04	78.02%
	1130	1130	870.77	77.06%
85	1050	1050	853.48	81.28%
	1070	1070	856.71	80.07%
	1090	1090	860.22	78.92%
	1110	1110	865.34	77.96%
	1130	1130	870.22	77.01%
90	1050	1050	853.05	81.24%
	1070	1070	856.31	80.03%
	1090	1090	859.56	78.86%
	1110	1110	864.31	77.87%
	1130	1130	869.26	76.93%

Kapasitas *boiler* dapat ditingkatkan dengan mengurangi kalor yang terbuang dari gas buang. Mengurangi udara pembakaran terbukti dapat meningkatkan kapasitas *boiler*, yang diindikasikan dengan semakin rendahnya *excess oxygen* akan semakin tinggi efisiensi *boiler* yang dapat diraih.

3.7 Analisa Ekonomi

Dengan melihat adanya tingkat efisiensi yang berbeda, maka dapat kita analisa dari nilai ekonominya. Pada bukaan *louver* 70% didapatkan perbedaan efisiensi boiler rata-rata sebesar 1.10% dan dapat menghemat bahan bakar sebanyak 18.141 MSCFD/%. Sedangkan pada bukaan *louver* 75% didapatkan perbedaan efisiensi boiler rata-rata sebesar 1.08%. Jika diambil rata-rata selisih *efficiency boiler* secara keseluruhan maka didapatkan nilainya sebesar 1.08% setiap kenaikan 20 MSCFD.

Hal ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1% dari *thermal efficiency boiler* dapat menghemat 18.52 MSCFD. Ini merupakan sebuah peluang yang cukup bagus untuk mengurangi biaya operasional. Dengan melihat harga gas saat ini yang dikeluarkan oleh kementerian perindustrian berada pada US\$. 10 / MMBTU.

Maka kita dapatkan biaya operasional yang dapat dihemat sebesar US\$.185.2 per hari per unit boiler. Jika kita kalikan dengan jumlah boiler yang beroperasi di PT.CPI sebanyak 100 unit, maka biaya operasional yang dapat dihemat sebanyak US\$.18,520 per harinya atau US\$.6,759,800 per tahun atau setara dengan Rp.81.12 Miliar dengan kurs Rp.12,000/US\$.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat kita simpulkan:

1. Bahwa komposisi yang paling efisien antara bukaan *louver* dan debit gas yaitu pada bukaan *louver* 70% atau setara dengan debit udara 10080 MSCFD dan debit gas pada 1050 MSCFD. Komposisi ini menghasilkan efisiensi *boiler* yang tertinggi yaitu sebesar 81.55% dan *excess oxygen* sebesar 1.27%. *Excess oxygen* pada 1.27% masih masuk dalam batas-batas keselamatan sesuai SOP (Standard Operating Procedure) 0.5 – 2%.
2. *Excess oxygen* memiliki pengaruh terhadap kenaikan efisiensi boiler sebesar 2% setiap 1% penurunan *excess oxygen*. Namun hal dipengaruhi oleh variabel lain yaitu kapasitas *boiler* dalam menyerap kalor. Hal ini terlihat dari temperatur gas buang yang semakin meningkat.

4.2 Saran

Berikut ini beberapa saran yang dapat dijadikan rujukan bagi perusahaan PT.CPI untuk mengoperasikan boiler dengan efisien dan untuk pengembangan secara berkelanjutan, diantaranya:

1. *Boiler* dioperasikan dengan komposisi bukaan *louver* 70% dan debit gas 1050 MSCFD.
2. Efisiensi *boiler* dapat ditingkatkan dengan mengatur variabel *temperature gas buang*.
3. Efisiensi *boiler* dapat ditingkatkan juga dengan mengatur variabel debit air umpan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama ini. Terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

Asmudi, 2011, Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU PT.Indonesia Power UBP Perak, <http://digilib.its.ac.id>. 14 April 2012.

Branan, C., 2002, *Rules of Thumbs for Chemical Engineer*, edisi ke 3, Gulf Professional Publishing, Houston.

Febriantara, A., 2008, Klasifikasi Boiler, <http://febriantara.wordpress.com>. 14 April 2012

Lesmono, Y., 2011, Boiler, <http://yudilesmono.blogdetik.com>. 14 April 2012.

Pratama, M., 2009, Pengontrolan Tekanan Pada Boiler Dengan Menggunakan Ditistributed Control System (DCS) CENTUM CS-3000 Di Unit 92 HRSG Aplikasi Di PT.Arun NGL, <http://repository.usu.ac.id>. 14 April 2012.

Reynolds, W., dan Perkins, H., 1977, *Termodinamika Teknik*, edisi ke 2, Erlangga, Jakarta.

Suwarno, A., 2010, Pengertian Boiler Secara Umum, <http://asm-teknik.com>. 14 April 2012.

Suwasono, A., 2011, Boiler Dan Pemanas Fluida Termis, <http://www.agussuwasono.com>. 14 April 2012.

Wessel, D. J., 2002, *ASHRAE Handbook*, edisi 2001 Fundamentals, ASHRAE, Atlanta.