

## MENENTUKAN LAJU ALIR BAHAN BAKAR GAS, AIR DAN UDARA YANG OPTIMAL PADA STEAM GENERATOR

Yudi Efendi\*, Utama PS\*\*, Aman\*\*

\*PT.Chevron Pacific Indonesia, Duri Riau

\*\*Jurusan Teknik Kimia FT UR

[Yudi.Efendi@chevron.com](mailto:Yudi.Efendi@chevron.com)

[efendi\\_yudi@yahoo.com](mailto:efendi_yudi@yahoo.com)

### Abstrak

Operasi yang hemat energi merupakan salah satu cara untuk menurunkan biaya lifting minyak bumi. Salah satu operasi yang membutuhkan energi besar di PT. Chevron Pasific Indonesia adalah proses enhanced oil recovery yaitu steam injection di Duri Steam Flood. Untuk memenuhi kebutuhan injeksi steam di Duri Steam Flood, PT. CPI telah mendirikan sebanyak empat stasiun pembangkit uap yang terdiri atas 279 unit steam generator dengan kapasitas pembangkit setiap steam generator sebesar 3600 BWEPD dan tingkat thermal efficiency-nya rata-rata 80 % - 90 %. Dengan tingkat efisiensi tersebut maka konsumsi bahan bakar gas rata-rata mencapai 1100 MSCFD per unit steam generator. Hal ini diakibatkan oleh tidak adanya standar baku variabel proses laju alir bahan bakar gas, bukaan air damper dan laju alir air umpan. Secara teori perbandingan antara laju alir bahan bakar gas dan udara serta air umpan berpengaruh terhadap besarnya thermal efficiency. Pada penelitian ini dilakukan variasi laju alir bahan bakar gas, bukaan air damper untuk mengatur laju alir udara dan laju alir air umpan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap thermal efficiency dan steam quality. Laju alir air umpan divariasikan pada nilai 105 gpm, 100 gpm dan 95 gpm. Pada setiap variasi laju alir air umpan ini bukaan air damper yang berfungsi untuk mengatur laju alir udara di variasikan pada posisi bukaan 100 %, 90 % dan 80 %, sedangkan laju alir bahan bakar gasnya di variasikan pada laju alir volum 1100, 1050 dan 1000 MSCFD . Pada setiap variasi percobaan di ambil sampel data TDS air umpan dan TDS steam outputnya untuk menghitung nilai steam quality serta diukur temperatur air umpan masuk dan steam outputnya untuk proses perhitungan thermal efficiency. Sedangkan excess O<sub>2</sub> yang diukur pada cerobong digunakan sebagai parameter rasio antara udara dan bahan bakar gas pada proses pembakaran. Excess O<sub>2</sub> yang terukur akan menggambarkan apakah proses pembakaran berlangsung sempurna atau tidak, sehingga dapat diketahui tingkat pemakaian bahan bakar gas dan udara yang optimal. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan kondisi operasi yang optimum adalah pada laju alir bahan bakar gas 1000 MSCFD, bukaan air damper 80 % dan laju alir air umpan 100 gpm dengan thermal efficiency yang diperoleh 96.96% dan steam quality 74.07% ( memenuhi standar steam quality EOR 74-75 % ). Dengan menerapkan variabel proses hasil penelitian maka operasi boiler akan lebih efisien dan berpotensi untuk menaikkan produksi steam dan minyak.

Keyword : thermal efficiency boiler/steam generator, optimasi boiler/steam generator

## **Pendahuluan**

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak di dunia dengan total produksi perhari mencapai 900 ribu barel. Secara alamiah produksi minyak akan terus menurun jika tidak ada pengembangan lapangan minyak baru atau tidak ada penggunaan teknologi yang lebih mutakhir untuk mengambil minyak tersebut. Tidak dapat dipungkiri anggaran belanja negara Indonesia masih sangat tergantung pada penjualan minyak dan gas, walaupun sudah banyak dilakukan usaha oleh pemerintah dalam meningkatkan sumber pendapatan dari sektor non-migas.

Untuk mempertahankan tingkat produksi minyak dari tahun-ketahun atau untuk menahan laju penurunan produksi minyak terutama pada ladang minyak yang sudah berumur relatif tua, diperlukan usaha yang dikenal dengan istilah *Enhance Oil Recovery* (EOR). Untuk mendapatkan minyak yang terjebak dalam rongga bebatuan dalam formasi bumi tersebut diperlukan energi atau *driving force* yang lebih besar untuk dapat mengalirkan minyak tersebut menuju sumur minyak untuk kemudian diolah lebih lanjut.

Teknologi EOR ini terdiri dari beberapa tingkatan, yaitu *primary*, *secondary* dan *tertiary* (Woodruff,1981). Penggunaan injeksi uap termasuk kategori *secondary oil recovery*. Pada daerah yang memiliki karakteristik kekentalan minyak yang tinggi, jika hanya menggunakan *primary system* atau *artificial lift* maka sekitar 12 % dari cadangan minyaknya yang dapat diangkat, sedangkan dengan menggunakan injeksi uap maka tingkat *oil recovery*-nya dapat mencapai 35 % ( Woodruff,1981).

Pada unit operasi *Heavy Oil* di Duri penerapan injeksi uap telah dilakukan sejak tahun 1980-an. Dengan cara membangun pusat pembangkit uap atau *steam station* di setiap lokasi berdasarkan kuadran area yang akan diinjeksi uap masing-masing. Dalam setiap *station* terdapat sejumlah pembangkit uap atau *steam generator* yang jumlahnya sesuai dengan tingkat kebutuhan area yang akan diinjeksi. *Steam generator* yang masih beroperasi di wilayah operasi *Duri Steam Flood* (DSF) saat ini berjumlah 279 unit dan semuanya berbahan bakar *natural gas*. Karena dalam operasi normal di *steam generator* tidak ada sistem proteksi terhadap variabel proses laju alir bahan bakar gas dan laju alir udara maka diperlukan pengaturan yang tepat agar proses pembakaran dalam *burner* berlangsung sempurna sehingga menghasilkan panas yang optimal untuk mengkonversi air menjadi uap.

Dikarenakan konsumsi bahan bakar gas dalam jumlah besar setiap harinya untuk memanaskan air dalam *boiler* menjadi uap dengan kualitas yang ditentukan (*steam quality* 74-75%), otomatis diperlukan biaya yang sangat besar. Untuk memperkecil biaya operasi tentunya diperlukan penggunaan energi dan bahan bakar yang efisien sehingga biaya operasi atau *lifting cost* dapat ditekan dan keuntungan dapat ditingkatkan. Selain untuk efisiensi energi dan bahan bakar, pemakaian bahan bakar yang tepat akan menghasilkan tingkat pembakaran yang sempurna, mengurangi *heat loss* serta menurunkan tingkat emisi gas buang dari *steam generator* sehingga lebih ramah lingkungan dan sesuai dengan regulasi tentang lingkungan hidup yang berlaku.

### **TINJAUAN PUSTAKA**

- ***Steam Generator (Boiler)***

*Steam Generator* atau *boiler* adalah sebuah bejana bertekanan tinggi, yang mana air umpan atau *feed water* akan dipompakan ke dalam bejana ini untuk dipanaskan dengan menggunakan *burner* sehingga *feed water* akan menyerap panas yang cukup untuk menghasilkan *steam* sesuai dengan standar yang ditentukan. Menurut tipe pemanasannya, *boiler* dapat digolongkan dua golongan, yaitu tipe *water tube* dimana *feed water* dimasukkan kedalam pipa-pipa sedangkan api *burner* berada diluar pipa (*shell*). Tipe yang kedua adalah *fire tube* dimana api *burner* atau gas panas hasil pembakaran dilewatkan dalam pipa-pipa pemanas, sedangkan air yang dipanasi berada di dalam *shell* (Honeywell,1997).

*Steam generator* yang beroperasi di daerah *Duri Steam Flood* adalah tipe *water tube-once trough*, atau sekali lalu. Jadi sistemnya adalah *open loop*, tidak terdapat *feedback* terhadap besarnya *output steam quality* dan *excess* emisi gas dari *exhaust stack* terhadap *burner management system*.

Pada *steam generator* komponen utamanya dapat dibagi menjadi empat komponen utama yaitu *Feed water system*, *burner system*, *radian section* dan *convection section* (Woodruff,1981). *Feed water system* terdiri atas sebuah pompa yang berfungsi untuk memompakan *soft water* yang telah di *treatment* di *water treating plant* ke dalam *boiler* dengan laju alir dan tekanan yang telah ditentukan sesuai dengan standar *boiler*-nya, sedangkan *burner system* berfungsi untuk terjadinya proses pembakaran antara bahan bakar dan udara yang telah di *blower*. Pada *burner system* terdapat sebuah *burner management system (BMS)* yang

berfungsi untuk mengendalikan setiap *sequence* atau langkah-langkah yang akan berlangsung di sebuah *steam generator*. *Burner management system* biasanya berupa sebuah *control system* seperti *PLC* atau *DCS* atau juga sebuah *programmer* berbasis pada mikroprosesor. Sedangkan pada *steam generator* yang *control system*-nya masih konvensional *burner management system*-nya masih berupa rangkaian *control relay* dan *timer* dan sejumlah peralatan *flame safeguard* (Honeywell, 1997).

*Feed water* yang dipompakan akan menuju *preheater line*, kemudian memasuki *convection section* atau *economizer*. Di *convection section* ini memanfaatkan panas gas buang yang keluar dari *radiant section* untuk memanaskan *feed water* agar temperaturnya naik dari kisaran 180 F menjadi kisaran 250 F. Perpindahan panas yang terjadi pada *convection section* adalah secara *forced convection*. Keluar dari *convection section*, *feed water* akan memasuki *radiant section*, dimana perpindahan panas yang terjadi adalah secara radiasi. Keluar dari *radiant section* suhu *steam* akan berada di kisaran 450-550 F (Turner dkk, 2002).

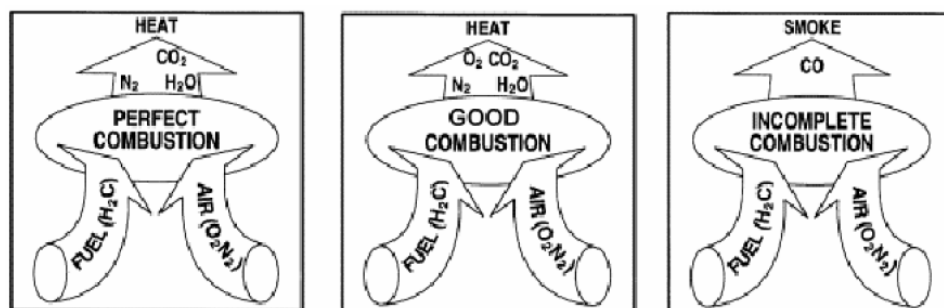
#### • Sistem Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Oksigen (O<sub>2</sub>) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20,9% dari udara. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup. Hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen juga mengurangi transfer panas pada permukaan alat penukar panas, juga meningkatkan volume hasil samping pembakaran, yang juga harus dialirkan melalui alat penukar panas sampai ke cerobong.

C	+ O <sub>2</sub>	→	CO <sub>2</sub>	+ 8.084 kkal/kg Karbon
2C	+ O <sub>2</sub>	→	2 CO	+ 2.430 kkal/kg Karbon
2H <sub>2</sub>	+ O <sub>2</sub>	→	2H <sub>2</sub> O	+ 28.922 kkal/kg Hidrogen
S	+ O <sub>2</sub>	→	SO <sub>2</sub>	+ 2.224 kkal/kg Sulfur

(Sumber : UNEP, 2006)

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” pembakaran (Punte, 2009) yaitu (1) *temperature/* suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar, (2) *turbulence/* turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan (3) *time/* waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna. Bahan bakar yang umum digunakan seperti gas alam dan propan biasanya terdiri dari karbon dan hidrogen. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang, yang mungkin dapat digunakan untuk transfer panas lebih lanjut. Gas alam mengandung lebih banyak hidrogen dan lebih sedikit karbon per kg daripada bahan bakar minyak, sehingga akan memproduksi lebih banyak uap air. Sebagai akibatnya, akan lebih banyak panas yang terbawa pada pembuangan saat membakar gas alam. Terlalu banyak, atau terlalu sedikitnya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah  $O_2$  tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Walau demikian, terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi. Tidak seluruh bahan bakar diubah menjadi panas dan diserap oleh peralatan pembangkit. Biasanya seluruh hidrogen dalam bahan bakar terbakar. Saat ini, hampir seluruh bahan bakar untuk boiler, karena dibatasi oleh standar polusi, sudah mengandung sedikit atau tanpa sulfur. Sehingga tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah mengarah ke karbon yang tidak terbakar (dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna), yang masih menghasilkan CO selain  $CO_2$ .

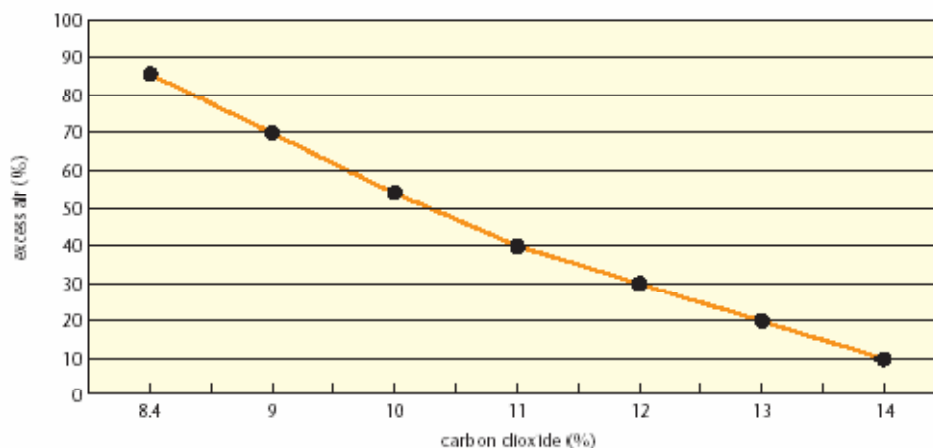


Gambar 1. Pembakaran yang sempurna, yang baik dan tidak sempurna

(Sumber : UNEP, 2006)

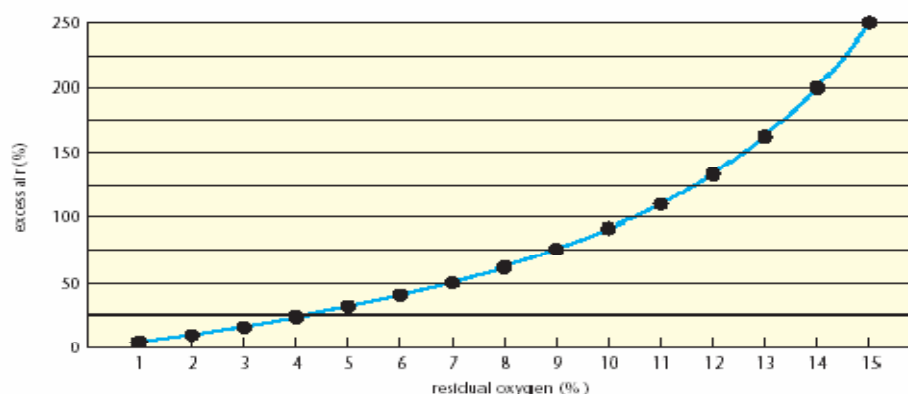
- **Konsep Udara Berlebih**

Untuk pembakaran yang optimum, jumlah udara pembakaran yang sesungguhnya harus lebih besar daripada yang dibutuhkan secara teoritis. Bagian dari gas buang mengandung udara murni, yaitu udara berlebih yang ikut dipanaskan hingga mencapai suhu gas buang dan meninggalkan boiler melalui cerobong (Cox, 2009). Analisis kimia gas – gas merupakan metode objektif yang dapat membantu untuk mengontrol udara dengan lebih baik. Dengan mengukur CO<sub>2</sub> atau O<sub>2</sub> dalam gas buang (menggunakan peralatan pencatat kontinyu atau peralatan Orsat atau beberapa peralatan *portable* yang murah) kandungan udara berlebih dan kehilangan di cerobong dapat diperkirakan. Udara berlebih yang dibutuhkan tergantung pada jenis bahan bakar dan sistim pembakarannya. Cara yang lebih cepat untuk menghitung udara berlebih adalah dengan menggunakan gambar 2 dan 3, setelah persen CO<sub>2</sub> atau O<sub>2</sub> dalam gas buang diukur



Gambar 2. Hubungan antara CO<sub>2</sub> & Udara Berlebih

(Sumber : UNEP, 2006)



Gambar 3. Hubungan antara oksigen sisa dan udara berlebih

(Sumber : *UNEP*, 2006)

- **Total Dissolved Solid (TDS)**

TDS adalah representasi dari jumlah total unsur-unsur terlarut yang terdapat di dalam air. TDS terdiri atas garam-garam anorganik dan sebagian kecil dari bahan organik. Garam-garam anorganik yang terkandung dalam air ini terdiri atas kalsium, magnesium, potassium dan sodium sebagai kation sedangkan karbonat, bikarbonat, nitrat, klorit dan sulfat sebagai anion (SDWF, 2006). Kandungan mineral tersebut berasal dari alam (*natural source*) yang terikut saat fluida air terproduksi yang bercampur dengan *crude oil* dipompa keluar dari dalam formasi bumi. Dalam perhitungan untuk menentukan besarnya *steam quality steam generator*, digunakan metode mengukur perbandingan antara TDS output yang diukur pada *steam* output terhadap TDS input yang diukur pada *feed water*. Besarnya TDS pada *steam* output akan lebih besar dibandingkan dengan TDS input pada *feed water*, hal ini dikarenakan pada *steam* output sebagian dari *feed water* telah berubah menjadi *steam*, sehingga kandungan mineralnya akan tertinggal pada fase cair.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

- **Variable Penelitian**

Variabel proses input yang diubah dalam penelitian ini meliputi :

- Laju alir bahan bakar gas
- Laju alir *feed water*
- Bukaannya *louvre blower*

Variabel tetap adalah :

- Tekanan air masuk ke dalam *boiler*
- Komposisi air masuk ke dalam boiler
- Komposisi bahan bakar gas.

- **Prosedur Penelitian**

Urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tetapkan nilai laju alir *boiler feed water* pada nilai 95 gpm, kemudian atur laju alir bahan bakar pada 1000 mscfd, dan atur bukanya *air damper* pada posisi 80 %.

Mengukur variabel proses berikut ini :



- *TDS in* dan *TDS out*
  - *Excess O<sub>2</sub>*
  - Temperatur *flue gas* pada cerobong
  - Temperatur *steam*
  - Tekanan *steam*
2. Memvariasikan laju alir udara dengan mengubah bukaan *air damper* pada bukaan 90 % dan 100 %.
  3. Memvariasikan laju alir bahan bakar pada 1050 mscfd, 1100 mscfd dan 1150 mscfd.
  4. Merubah laju alir *boiler feed water* pada *rate* 100 gpm dan 105 gpm.

• **PROSEDUR ANALISA**

- Perhitungan *Steam Quality*

*Steam quality* dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$SQ(\%) = \frac{TDS_{out} - TDS_{in}}{TDS_{out}} \times 100\% \quad (\text{Woodruff, 1981})$$

- Perhitungan *thermal efficiency*

$$TE(\%) = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel}} \times 100\% \quad (\text{Woodruff, 1981})$$

**PEMBAHASAN**

Dari hasil pelaksanaan penelitian yang dilakukan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

<i>Rate Feed Water (gpm)</i>	<i>Bukaan Air Damper (%)</i>	<i>Rate Gas (MSCFD)</i>	<i>Excess O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>Steam Temp (F)</i>	<i>Feed Water Temp (F)</i>	<i>TDS<sub>in</sub> (ppm)</i>	<i>TDS<sub>out</sub> (ppm)</i>	<i>SQ(%)</i>	<i>TE (%)</i>
105	80	1000	1.79	493	175	2163	7094	69.51%	97.92%
		1050	1.62	495	175	2163	7852	72.45%	95.63%
		1100	1.5	497	175	2163	8619	74.90%	93.16%
	90	1000	3.98	493	175	2163	6929	68.78%	97.31%
		1050	2.71	495	175	2163	7589	71.50%	94.92%
		1100	2.56	496	175	2163	8355	74.11%	92.63%
	100	1000	5.04	493	175	2163	6797	68.18%	96.80%
		1050	4	494	175	2163	7395	70.75%	94.29%
		1100	2.97	495	175	2163	8018	73.02%	91.77%
100	80	1000	1.78	494	175	2163	8343	74.07%	96.96%

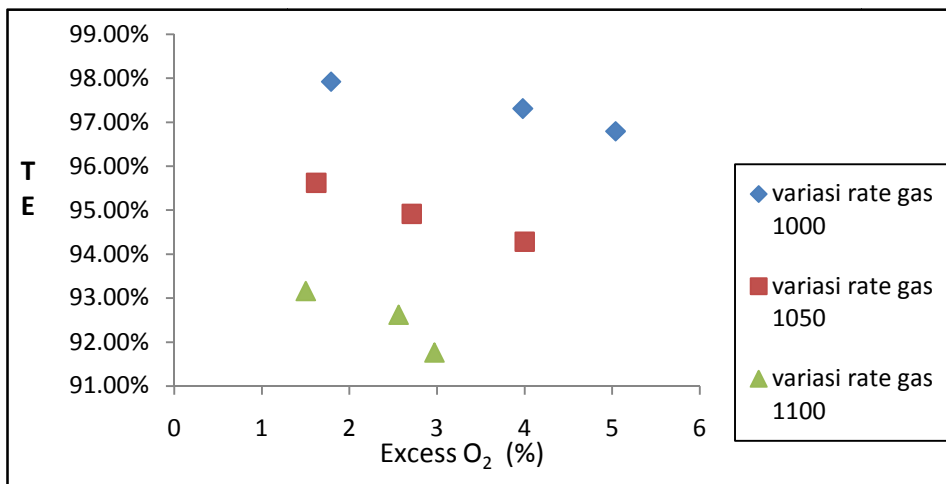


		1050	1.65	495	175	2163	8658	75.02%	93.11%	
		1100	1.5	497	175	2163	9268	76.66%	90.11%	
95	90	1000	3.71	493	175	2163	8212	73.66%	96.60%	
		1050	2.74	495	175	2163	8508	74.58%	92.75%	
		1100	2.5	496	175	2163	9209	76.51%	89.96%	
	100	1000	4.95	493	175	2163	8015	73.01%	96.08%	
		1050	4.16	495	175	2163	8233	73.73%	92.10%	
		1100	2.99	496	175	2163	8916	75.74%	89.40%	
	80	1000	1.81	495	175	2163	10228	78.85%	95.88%	
		1050	1.64	498	175	2163	11510	81.21%	93.06%	
		1100	1.6	499	175	2163	12310	82.43%	89.59%	
	90	1000	1000	3.68	494	175	2163	10085	78.55%	95.52%
			1050	2.67	495	175	2163	10690	79.77%	91.87%
			1100	2.52	496	175	2163	10750	79.88%	87.79%
		100	1000	4.99	494	175	2163	9599	77.47%	94.70%
			1050	3.97	495	175	2163	9890	78.13%	90.69%
			1100	3.07	498	175	2163	9981	78.33%	86.76%

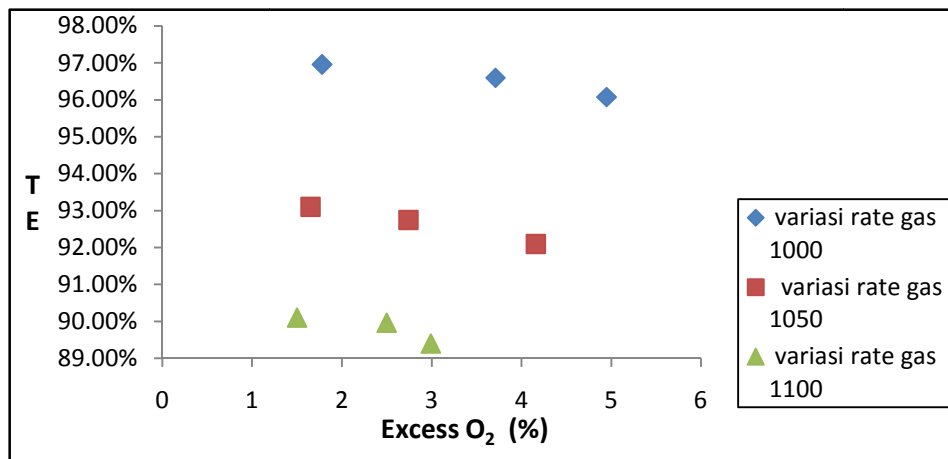
• **Hubungan antara *Thermal Efficiency* terhadap *Excess O<sub>2</sub>***

Dari data hasil penelitian pada tabel 1 dapat dilihat hubungan antara *excess O<sub>2</sub>* pada *exhaust boiler* terhadap besarnya *thermal efficiency boiler*. *Excess O<sub>2</sub>* yang terukur pada bagian *exhaust boiler* merupakan fungsi dari rasio bahan bakar gas dan udara pada proses pembakaran di bagian *burner*. Semakin besar *excess O<sub>2</sub>* terukur berarti semakin berlebih udara yang masuk dalam *burner* sehingga melebihi rasio stokiometri antara udara dan bahan bakar gas. Sebaliknya semakin kecil *excess O<sub>2</sub>* terukur berarti suplai udara yang masuk dalam *burner* berkurang atau suplai bahan bakar gas yang berlebih. Sedangkan *thermal efficiency* merupakan perbandingan antara besarnya panas yang terserap dalam *steam* terhadap besarnya panas yang dihasilkan dalam proses pembakaran.

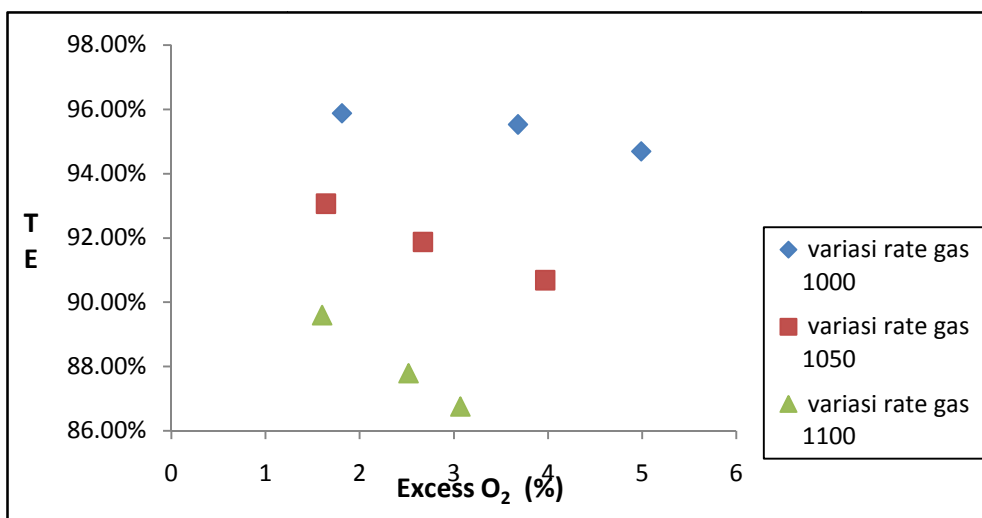
Dari hasil percobaan dapat diketahui bahwa semakin besar laju alir bahan bakar gas pada setiap variasi bukaan *air damper* maka *thermal efficiency boiler* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh faktor keterbatasan kemampuan alat dalam mentransfer panas dari api pembakaran ke air yang mengalir dalam *tube* karena luas perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas *overall design* yang tetap. Selain itu semakin besar udara yang masuk dalam *burner* maka kadar nitrogen akan semakin tinggi, akibatnya suhu api akan mengalami penurunan yang pada akhirnya akan mengurangi nilai transfer panas dan *thermal efficiency* akan menurun.



Gambar 4. Hubungan antara *Thermal Efficiency* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 105 gpm.



Gambar 5. Hubungan antara *Thermal Efficiency* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 100 gpm.

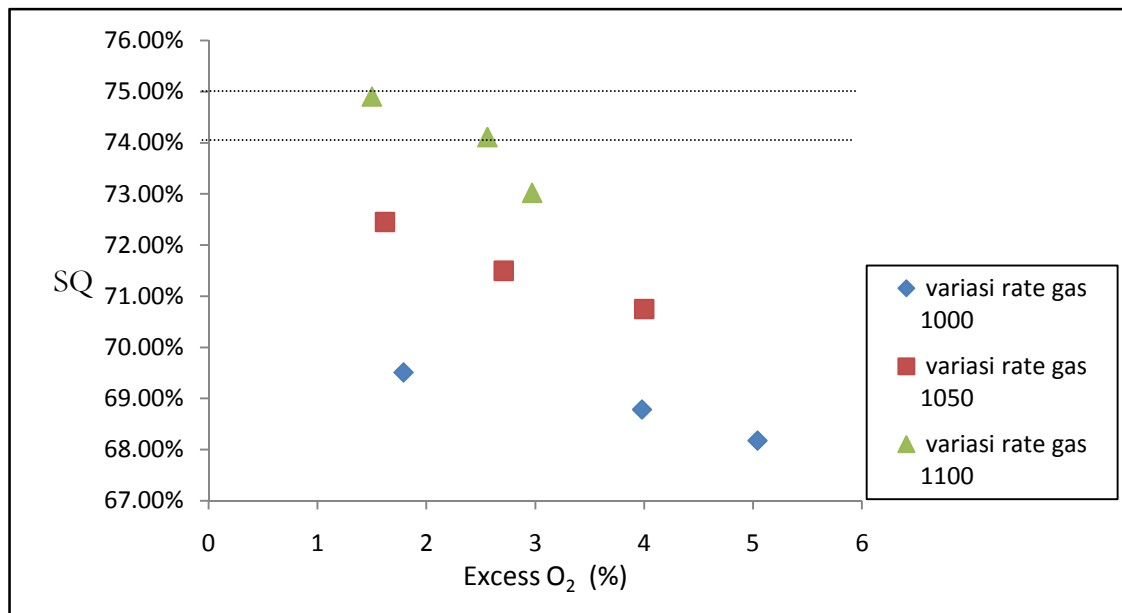


Gambar 6. Hubungan antara *Thermal Efficiency* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 95 gpm.

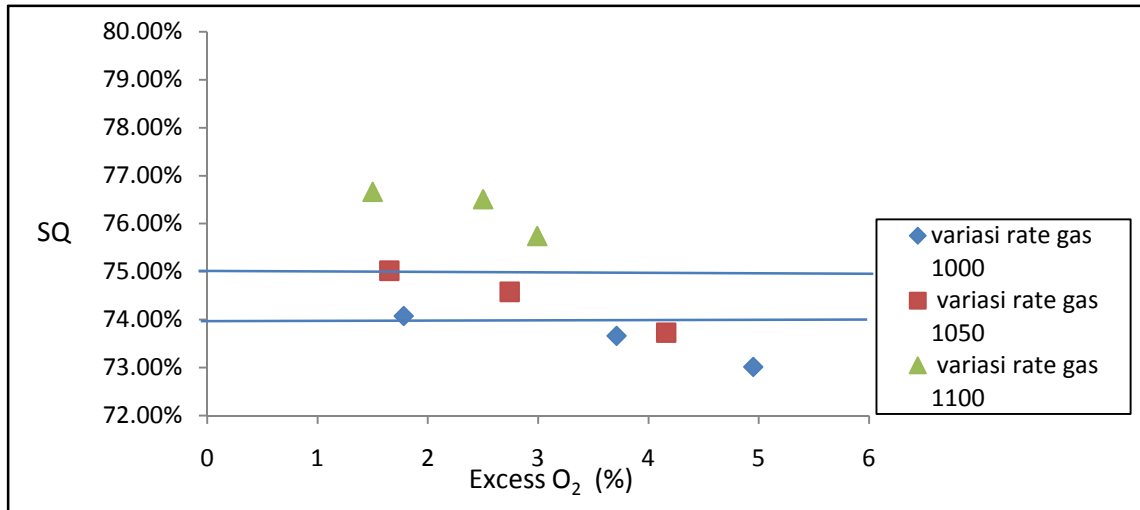
• Hubungan antara *Steam Quality* terhadap *Excess O<sub>2</sub>*

*Steam quality* adalah besarnya fraksi uap dalam output *steam* pada *boiler*. Sebuah *boiler* dikatakan menghasilkan *steam* dengan tingkat *steam quality* 75 % berarti pada output *steam* terdapat fraksi uap sebesar 75 % sedangkan fraksi cairnya 25 %. Dari hasil percobaan diketahui bahwa semakin besar laju alir bahan bakar gas pada variasi bukaan *air damper* maka nilai *steam quality*-nya semakin meningkat. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan tingkat konversi air menjadi uap seiring meningkatnya suhu api pada proses pembakaran. Semakin banyak gas yang dibakar maka suhu api di dalam *burner* meningkat dengan demikian energi panas yang dihasilkan dan dipindahkan ke dalam air yang mengalir di dalam *tube* akan meningkat yang pada akhirnya nilai *steam quality* ikut meningkat.

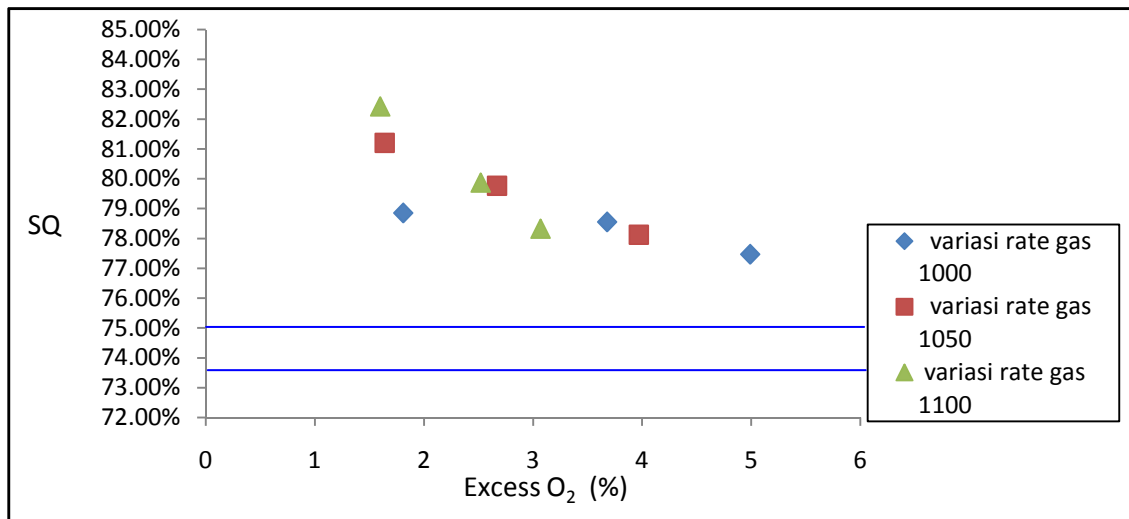
Dari data percobaan juga diperoleh hubungan bahwa pada setiap variasi bukaan *air damper* diketahui semakin besar *excess O<sub>2</sub>* maka nilai *steam quality* akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan semakin berlebih udara yang masuk ke dalam *burner* maka kadar nitrogen akan meningkat dan akan menurunkan suhu api pembakaran dalam *burner* sehingga panas yang dihasilkan akan berkurang dan akibatnya transfer panas kedalam air yang mengalir di dalam *tube* akan menurun dan pada akhirnya nilai *steam quality* akan menurun.



Gambar 7. Hubungan antara *Steam Quality* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 105 gpm.



Gambar 8. Hubungan antara *Steam Quality* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 100 gpm.



Gambar 9. Hubungan antara *Steam Quality* terhadap *Excess O<sub>2</sub>* pada *Rate Feed Water* 95 gpm.

Dan dari data hasil perhitungan kemudian diseleksi variasi laju alir bahan bakar gas, air dan udara yang menghasilkan *steam quality* yang masuk dalam standar baku mutu EOR pada *range* 74%-75%, seperti ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Data *Steam Quality* yang Memenuhi Standar Baku EOR pada Setiap Variasi

Laju Alir FWP (gpm)	Air Damper (%)	Laju alir Gas (mscfd)	TE (%)	SQ (%)	Excess O <sub>2</sub> (%)
105	80	1100	93.16%	74.90%	1.5
105	90	1100	92.63%	74.11%	2.56
100	80	1000	96.96%	74.07%	1.78
100	90	1050	92.75%	74.58%	2.74

Dari data pada tabel 5 diketahui bahwa yang memenuhi standar baku *steam quality* yang dipersyaratkan untuk injeksi uap untuk proses EOR pada range 74-75%, dan dari keempat data variasi yang memenuhi standar baku mutu *steam quality*-ya yang mempunyai nilai *thermal efficiency* tertinggi adalah 96,96% yaitu pada variasi laju alir gas 1000 mscfd dengan bukaan *air damper* 80% dan laju alir *feed water* 100 gpm.

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil percobaan dan perhitungan maka dapat diambil kesimpulan bahwa variasi variabel proses yang optimal adalah pada laju alir *feed water* 100 gpm dengan bukaan *air damper* 80% dan laju alir bahan bakar gas 1000 mscfd yang menghasilkan *steam quality* 74,0741%, *excess O<sub>2</sub>* pada *exhaust* mencapai 1,78 % dan *thermal efficiency* mencapai 96,9561%.

### **DAFTAR PUSTAKA**

1. Cox,P., 2006, *Improve Combustion Efficiency*, <http://www.PG&E.com/bussiness> 2 Agustus 2009.
2. Honeywell, 1976, *Flame Safeguard Controls*, Minneapolis USA.
3. Punte,S., 2006, Bahan Bakar dan Pembakaran, <http://www.energyefficiencyasia.org/fuel&combustion>, 2 Agustus 2009.
4. SDWF, 2006, *TDS and pH*, [http:// www.safewater.org/TDSandpH](http://www.safewater.org/TDSandpH), 14 Januari 2010.
5. UNEP, 2006, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia, [http:// www.energyefficiencyasia.org/efisiensi&energi](http://www.energyefficiencyasia.org/efisiensi&energi), 2 Agustus 2009.
6. Woodruff,W., 1981, *Steam Generator Plant and Operation*, edisi pertama, cetakan ketiga, Cleveland USA.