



ANALISA PENGARUH UDARA LEBIH (*EXCESS AIR*) PEMBAKARAN TERHADAP EFISIENSI TERMAL BOILER CFB KAPASITAS 270 TON PERJAM

Abdurahim Sidiq, Muhammad Suprpto, Leo Dwi Cahyo Santoso*

¹²³Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan MAB
Jalan Adhyaksa No.2 Kayutangi Banjarmasin

E-mail : rahimsidiqs7q@gmail.com, muhammadsuprpto13@gmail.com,
leodwicahyosantoso22@gmail.com*

Masuk : 26 Agustus 2022

Direvisi : 05 september 2022

Disetujui : 18 September 2022

Abstrak: Pembangkit listrik PLTU di Pulang Pisau menggunakan bahan bakar batubara low rank, peralatan yang digunakan untuk membakarnya ialah *boiler* tipe CFB (Circulating Fluidizing Bed). *Steam generator* atau *boiler* adalah alat yang digunakan untuk merubah air menjadi uap dalam siklus energi termal. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan rasio udara pembakaran berdasarkan COA (Coal Of Analisis), serta untuk mengetahui pengaruh udara lebih atau *excess air* terhadap efisiensi *boiler* dan efisiensi termal berdasarkan data – data operasional. Data yang dikumpulkan didapat dari PLTU Pulang Pisau. Data kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler* dan efisiensi termal. Untuk menentukan rasio udara pembakaran stoikiometri digunakan persamaan berdasarkan ASME PTC 4. Perhitungan efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung. Hasil perhitungan menunjukkan semakin kecil nilai *excess air* maka efisiensi termal semakin bagus begitu juga efisiensi *boiler*. Direkomendasikan untuk *boiler* tipe CFB menggunakan *excess air* dikisaran 15% sampai dengan 20%.

Kata Kunci: *excess air*, *boiler*, efisiensi termal

Abstract: The PLTU Pulang Pisau power plant uses low rank coal as fuel, the equipment used to burn it is a CFB (Circulating Fluidizing Bed) type boiler. Steam generator or boiler is a device used to convert water into steam in the thermal energy cycle. This research was conducted by determining the combustion air ratio based on COA (Coal Of Analisis), and to determine the effect of excess air on boiler efficiency and thermal efficiency based on operational data. The data collected was obtained from the Pulang Pisau PLTU. The data is then used to calculate boiler efficiency and thermal efficiency. To determine the stoichiometric combustion air ratio, an equation based on ASME PTC 4. The calculation of boiler efficiency uses the direct method. The calculation results show the smaller the excess air value, the better the thermal efficiency as well as the boiler efficiency. It is recommended for CFB type boilers using excess air in the range of 15% to 20%.

Keywords: *excess air*, *boiler*, thermal efficiency

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi terutama energi listrik di Indonesia semakin tidak terpisahkan untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat. Ketel uap atau yang biasa disebut *boiler* merupakan alat yang digunakan untuk merubah air menjadi uap atau dengan kata lain *boiler* adalah alat untuk menghasilkan uap. Pada *boiler* terdapat salah satu bagian yang disebut ruang pembakaran dimana itu adalah salah satu bagian terpenting pada sebuah *boiler*. [1]

Suatu Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) dalam proses pembakaran bahan bakar diperlukan udara sebagai proses berlangsungnya pembakaran di ruang bakar (*furnace*). Pada prinsipnya, proses pembakaran akan berlangsung jika 3 (tiga) syarat terjadinya proses pembakaran terpenuhi yakni adanya oksigen dari udara, bahan bakar, dan terdapat nyala api. Pada siklus kerja PLTU, batubara sebagai bahan bakar utama akan dibakar di ruang bakar (*furnace*) dan akan menghasilkan energi panas, energi panas inilah yang digunakan untuk memanaskan pipa-pipa di dalam *boiler*. Di dalam pipa-pipa terdapat air umpan (*feedwater*) yang sebelumnya telah dialirkan dan dilewatkan disepanjang dinding-dinding *boiler* akan menyerap panas dari proses pembakaran tersebut dan akan berubah fasanya dari air menjadi uap yang selanjutnya uap yang dihasilkan tersebut akan digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. [2]

Pada PLTU PULANG PISAU menggunakan *boiler* tipe CFB dengan kapasitas aliran uap 270t/h. Kinerja dari sebuah *boiler* di PLTU sangat dipengaruhi dari berbagai macam aspek, salah satunya sangat ditentukan oleh efisiensi termal pada proses *combustion* batubara tersebut, karena selain berpengaruh pada efisiensi pembangkitan, juga dapat menurunkan biaya operasi pembangkitan itu sendiri. Volume atau kebutuhan udara pembakaran dapat berpengaruh terhadap efisiensi panas karena dengan kita dapat menentukan udara pembakaran atau *combustion* yang tepat maka dapat menghasilkan pembakaran batubara yang komplit. Dalam menentukan udara pembakaran ada yang dinamakan udara lebih atau biasa disebut dengan *excess air*. [3]

Identifikasi masalah dalam penelitian ialah untuk mengetahui hubungan atau pengaruh dari udara bakar lebih atau biasa disebut dengan *excess air* terhadap efisiensi *boiler* serta dampaknya terhadap NPHR ataupun efisiensi termal jika rasio udara pembakaran tidak tepat. Adapun masalah yang ditemui peneliti ialah cara menentukan udara pembakaran yang tepat berdasarkan unsur yang terkandung dalam bahan bakar seperti batubara, seberapa besar pengaruh udara lebih (*excess air*) pembakaran terhadap efisiensi *boiler* dan efisiensi termal serta Seberapa besar kebutuhan udara lebih yang tepat untuk mendapatkan efisiensi termal yang baik pada *boiler* CFB di PLTU PULANG PISAU.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan dapat menentukan kebutuhan udara yang tepat berdasarkan kandungan bahan bakar seperti batubara, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dan dampak dari udara lebih pada proses pembakaran terhadap efisiensi termal serta untuk menentukan kebutuhan udara lebih yang tepat untuk menghasilkan efisiensi termal yang baik pada *boiler* tipe CFB dengan kapasitas aliran uap 270t/h pada PLTU PULANG PISAU. Parameter dan variable yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variabel tetap yakni nilai kalori yang terdapat pada batubara dari hasil analisa *ultimate* yang digunakan di PLTU PULANG PISAU. Variable bebas pada penelitian ini ialah udara lebih (*excess air*), parameter pada penelitian ini ialah pada proses *combustion*, performa *boiler* serta efisiensi termal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi atau rujukan untuk menentukan udara pembakaran yang tepat dengan udara lebih atau *excess air* pada proses pembakaran dalam proses pengoperasian *boiler* tipe CFB di PLTU PULANG PISAU.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di perusahaan yang bergerak dibidang pembangkitan listrik yang terletak di wilayah kalimantan tengah yakni PT. PJB UBJOM PLTU PULANG PISAU dengan boiler tipe CFB dengan kapasitas 270 ton per jam. Pengambilan data-data yang diperlukan dilakukan di perusahaan terkait, Data sebagai dasar penulis untuk penelitian ini didapat dengan cara sebagai berikut :

- Studi lapangan / pengamatan secara langsung
- Studi literatur
- Wawancara

Supaya pembahasan penelitian ini tidak meluas maka harus dibatasi dalam proses analisis dan perhitungan, pembatasan penelitian ini adalah:

1. Boiler yang digunakan sebagai objek penelitian adalah boiler tipe CFB dengan kapasitas 270t/h di PLTU PULANG PISAU.
2. Proses yang dianalisis adalah pengaruh udara lebih atau (*excess air*) pada proses *combustion* terhadap efisiensi termal boiler tipe CFB.
3. Mengabaikan faktor-faktor di luar kendali
4. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode langsung atau *direct mode*.
5. Coal flow kurang lebih 42 ton/jam dan load atau beban kurang lebih di 52MW.

Data atau parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi hasil pengujian laboratorium batubara, data atau parameter pada tampilan DCS (*Distributed Control System*) yang berada di ruang pusat kendali atau CCR (*Central Control Room*) serta CoA batubara sebagai variable tetap. Data analisa batubara ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data CoA Batubara

Data Analisa Sample Batubara				
Simbol	Parameter	deskripsi	satuan	Ar
HHVF	Calorific Value GCV / HHV	(CoA)	kcal/kg	4067
Ultimate Analisis				
MpCF	Carbon in Fuel	(CoA)	%	43.12
MpH2F	Hydrogen in Fuel	(CoA)	%	2.91
MpO2F	Oxygen in Fuel	(CoA)	%	13.25
MpSF	Sulfur in Fuel	(CoA)	%	0.08
MpN2F	Nitrogen in Fuel	(CoA)	%	0.67
MpAsF	Ash in Fuel	(CoA)	%	3.02
MpWF	Moisture in Fuel	(CoA)	%	36.95
total			%	100
Proximate Analisis				
MFrWF	Total Moisture Content (ar)	(CoA)	%	36.95
MFrFC	Fixed Carbone Content (ar)	(CoA)	%	29.75
MFrVm	Volatile Matter (ar)	(CoA)	%	30.28
MFrAsF	Ash Content (ar)	(CoA)	%	3.02
total			%	100.00

Selanjutnya menghitung kebutuhan udara stoikiometri udara teoritis, excess air serta udara ideal berdasarkan CoA dan menggunakan persamaan berdasarkan ASME PTC-4 [4].

Menghitung udara teoritis:

$$MFrThACr = \left(\frac{11,51.MpCF}{100}\right) + \left(\frac{4,31.MpSF}{100}\right) + \left(\frac{34,30.MpH2F}{100}\right) - \left(\frac{4,32.MpO2F}{100}\right) \dots\dots(1)$$

Keterangan:

- MFrThACr : Nilai udara teoritis (Kg/Kg of coal)
- MpCF : Kandungan karbon pada batubara (%)
- MpH2F : Kandungan hidrogen pada batubara (%)
- MpO2F : Kandungan oksigen pada batubara (%)
- MpSF : Kandungan sulfur pada batubara (%)

Menghitung *Excess air*

Dengan melihat parameter pada DCS diketahui pembacaan O2 di DCS adalah 11.5%

$$XpA = \frac{O2 / 100.(31,32MpCF + 11,528MpSF + 13,443MpN2F + 10,331MFrThACr)}{MFrThACr.(2,73 - 13,068.O2 / 100)} \dots(2)[4]$$

Keterangan:

- XpA : Nilai persentase access air (%)
- MFrThACr : Nilai udara teoritis (Kg/Kg coal)
- O2 : Nilai oksigen pada pembakaran (%)
- MpCF : Kandungan karbon pada batubara (%)

Nilai udara lebih atau *excess air* yang digunakan berdasarkan pembacaan O² pada DCS adalah 25%.

Menghitung total udara ideal

$$MFrDA = \frac{1 + XpA}{100} \times MFrThACr \text{ (ASME, 2008)} \dots\dots\dots(3)[4]$$

Keterangan:

- MFrDA: Nilai udara ideal (Kg/Kg of coal)
- XpA : nilai excess air (%)
- MFrThACr : Nilai udara teoritis (Kg/Kg of coal)

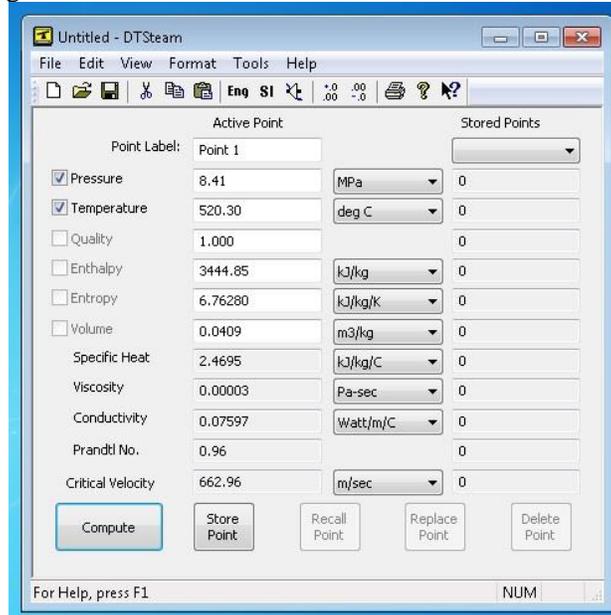
Nilai total udara pembakaran atau rasio total udara pembakaran kering untuk 1Kg batubara adalah 6,7194Kg/Kgcoal.

Setelah itu melakukan variasi terhadap excess air pada pola pengoperasian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Air Fuel Ratio

Excess air	Udara teoritis	Total udara	Satuan
25%	5.3923	6.7194	Kg/Kg coal
30%	5.3923	7.01	Kg/Kg coal
35%	5.3923	7.2796	Kg/Kg coal
20%	5.3923	6.4707	Kg/Kg coal
15%	5.3923	6.2011	Kg/Kg coal

Mencatat parameter yang terbaca di DCS pada masing-masing variasi excess air kemudian melakukan proses perhitungan enthalpi menggunakan *software win steam* yaitu dengan kita memasukkan nilai pressure dan nilai temperaturnya maka akan didapatkan hasil nilai enthalpinya, untuk tampilan *software*nya sebagai berikut:



Gambar 1. Tampilan *software win steam*

Pengolahan data pada penelitian ini akan menggunakan persamaan – persamaan berdasarkan ASME PTC-4 Steam Generator. Melakukan perhitungan efisiensi boiler dengan persamaan berikut:

$$\eta_{Bf} (HHV) = \frac{QrO}{QrF} \times 100\% \dots\dots\dots(4)[4]$$

Keterangan:

- η_{Bf} : Efisiensi bahan bakar atau efisiensi boiler (%)
- QrO : total energi output dari uap (Kj/s)
- QrF : energi input bahan bakar (Kj/s)

Persamaan energi input

$$QrF = MrF \left(\frac{Kg}{h} \right) \times HHVF \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) \dots\dots\dots(5)[4]$$

Keterangan:

- QrF : energi input bahan bakar (Kj/s)
- MrF : coal flow atau laju alir bahan bakar (Kg/h)
- $HHVF$: nilai kalori yang terkandung dalam batubara (Kcal/kg)

Persamaan energi output

$$QrO = \{ [Hvp] * [Wvp] \} - \{ [Haalim] * [Waalim] \} - \{ [Hss] * [Wss] \} \dots\dots\dots(6)[4]$$

Keterangan:

- QrO : total energi output (Kj/h)
- Hvp : nilai enthalpy main steam (Kj/kg)
- Wvp : flow main steam (Kg/h)
- $Haalim$: nilai enthalpy eco inlet water (Kj/kg)
- $Waalim$: flow eco inlet water (Kg/h)

Hss : nilai *enthalpy* pada *spray water* (Kj/kg)

Wss : *flow spray water* (Kg/h)

Persamaan NPHR (Nett Plan Heat Rate)

$$NPHR = \frac{MrF \times HHVF}{Pnetto} \text{ (Kcal / Kwh) } \dots\dots\dots(7)[4]$$

Keterangan:

MrF : *coal flow* atau laju alir bahan bakar (Kg/h)

HHVF : nilai kalori yang terkandung dalam batubara (Kcal/Kg)

$$Pnetto = Pgross - Paux \dots\dots\dots(8)[4]$$

Persamaan efisiensi termal

$$\eta_{thermal} = \frac{860}{NPHR} \dots\dots\dots(9)[4]$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian di PLTU PULANG PISAU mendapatkan data-data lapangan. Penelitian dilakukan pada tanggal 01 juli 2022 di PLTU PULANG PISAU. Setelah dilakukan variasi untuk udara lebih pembakaran dari 15%, 20%, 25%, 30, dan 35% didapatkan data dari parameter di DCS ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Air fuel ratio dengan excess air 25% pada coal flow 41,51t/h

Coal Flow (t/h)	udara teoritis (t/h)	Total Udara ideal (t/h)
1	5392	6719
5	26961	33596,9
10	53923	67193,8
15	80884	100790,7
20	107846	134387,6
25	134807	167984,5
30	161769	201581,4
35	188730	235178,3
40	215692	268775,1
41,51	223834	278921,4
45	242653	302372,1
50	269615	335969

Tabel 4. Data parameter DCS

Parameter	Simbol	Satuan	Excess Air				
			25%	30%	35%	20%	15%
<i>Load gross</i>	Pg	MW	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8
<i>Aux power atau ps</i>	Ps	MW	6.464	6.622	6.648	6.4	6.2
<i>Main stm prs</i>	Pvp	MPa	8.3	8.275	8.18	8.4	8.41
<i>Main stm temp</i>	Tvp	°C	520.8	520.749	520.46	521.1	521.3
<i>Main steam flow</i>	Wvp	t/h	219.524	218.54	219.316	220.647	220.927
<i>Entalpi main steam</i>	Hvp	kJ/kg	3447.3	3447.5	3447.8	3446.9	3447.3
<i>Eco inlet water flow</i>	Waalim	t/h	218.63	218.497	221.967	217.48	215.65
<i>Entalpi eco inlet water</i>	Haalim	kJ/kg	920,46	922,65	930,74	916,22	918,25
<i>Eco inlet water temp</i>	Paalim	°C	214.4	214.895	216.67	213.463	213.913
<i>Eco inlet water press</i>	Taalim	MPa	9.927	9.9	10	10	9.98
<i>Spray water flow</i>	Wss	t/h	0	0	0	0	0
<i>Entalpi spray water</i>	Hss	kJ/kg	920,46	922,65	930,74	916,22	918,25
<i>Spray water temp</i>	Tss	°C	214.4	214.895	216.67	213.463	215.913
<i>Spray water press</i>	Pss	MPa	9.927	9.9	10	10	9.98
<i>Total air</i>	Arf	m3/h	256701.5	264015.6	277620.1	242771.1	236055.7
<i>Total coal flow</i>	Mrf	t/h	41.51	41.51	41.51	41.51	41.51
<i>Kalori bb</i>	HHVF	kcal/kg	4067	4067	4067	4067	4067

Pengaruh *excess air* terhadap efisiensi termal pada excess air 25% menggunakan persamaan berikut:

Mengitung Efisiensi termal

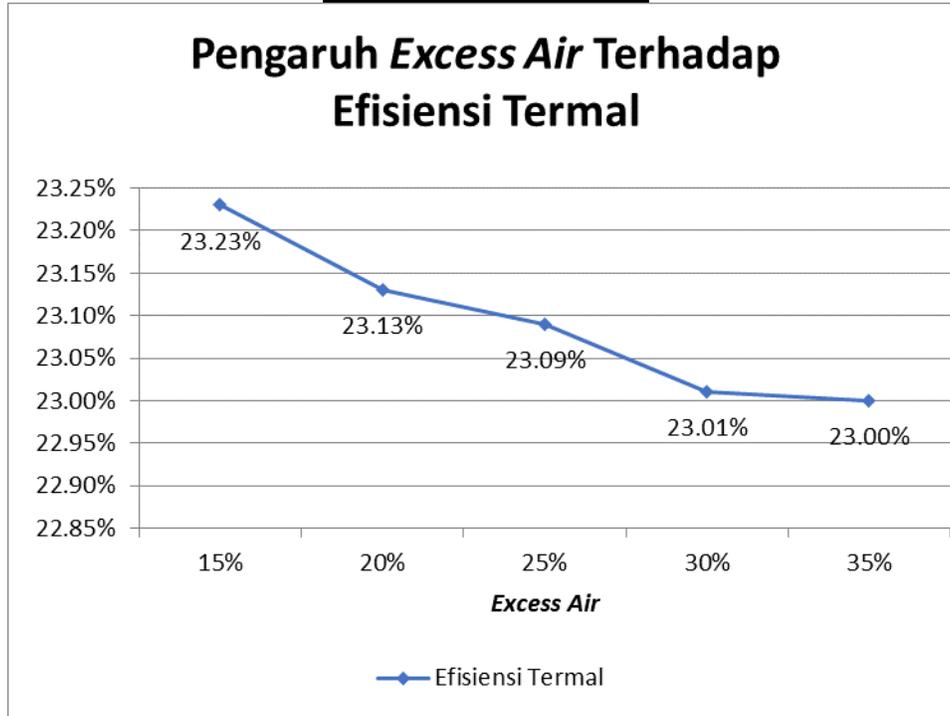
$$\begin{aligned} \eta_{\text{termal}} &= \frac{860}{NPHR} \\ &= \frac{860}{3723,78} \times 100 \\ &= 23,09\% \end{aligned}$$

Untuk lebih lengkapnya ditunjukkan pada Tabel 5. sebagai berikut:

Tabel 5. Pengaruh *excess air* terhadap efisiensi termal

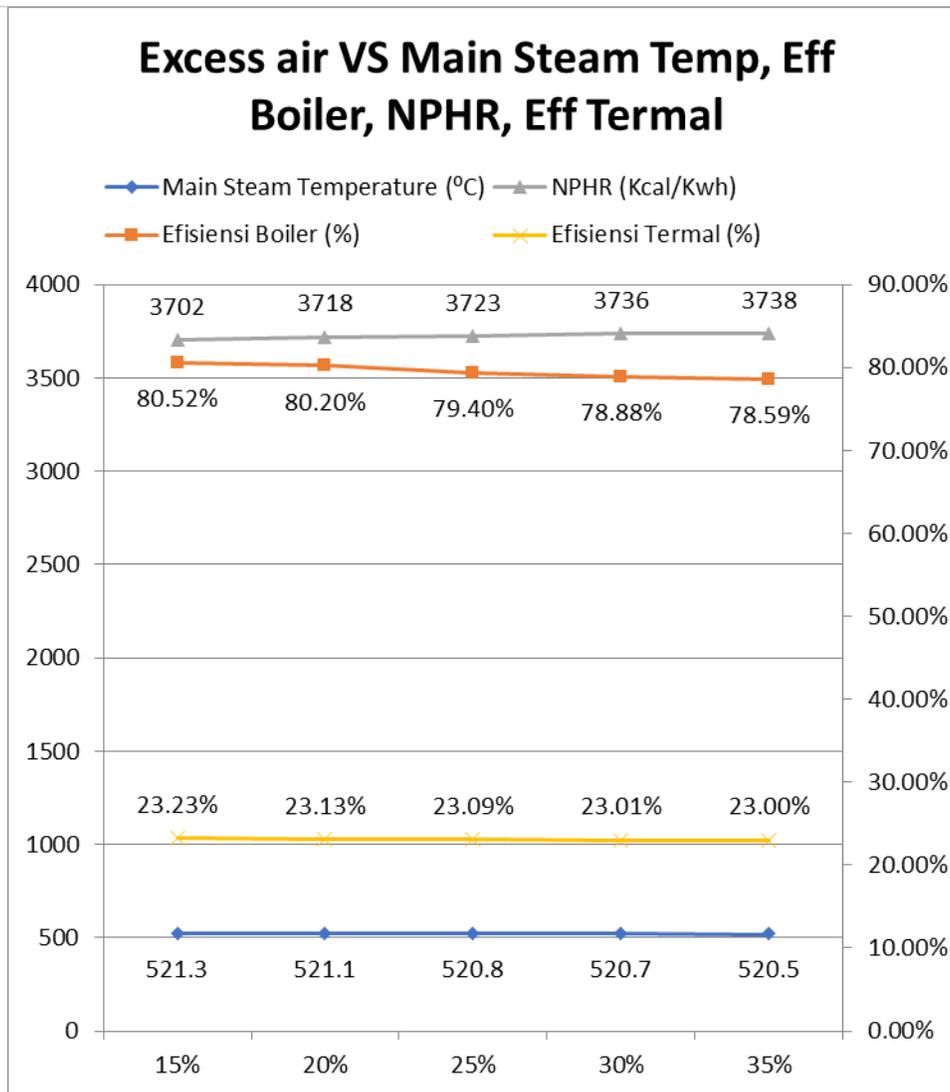
Excess Air	Efisiensi Termal
15%	23.23%
20%	23.13%
25%	23.09%

Excess Air	Efisiensi Termal
30%	23.01%
35%	23.00%



Gambar 2. *Excess air* VS Efisiensi Termal

Berdasarkan hasil pengujian di atas didapatkan hasil ketika *excess air* kita tambah atau kita kurangi maka efisiensi termal akan turun atau naik kurang lebih sebesar 0,05%, maka didapatkan hasil ketika menggunakan *excess air* 15% maka didapatkan *main steam temperature* sebesar 521,3°C, efisiensi *boiler* sebesar 80,52%, NPHR sebesar 3702Kcal/Kwh serta didapatkan efisiensi termal sebesar 23,23%. Pada *excess air* 20% maka didapatkan *main steam temperature* sebesar 521,1°C, efisiensi *boiler* sebesar 80,20%, NPHR sebesar 3718Kcal/Kwh serta didapatkan efisiensi termal sebesar 23,13%. Pada *excess air* 25% maka didapatkan *main steam temperature* sebesar 520,8°C, efisiensi *boiler* sebesar 79,40%, NPHR sebesar 3723Kcal/Kwh serta didapatkan efisiensi termal sebesar 23,09%. Pada *excess air* 30% maka didapatkan *main steam temperature* sebesar 520,7°C, efisiensi *boiler* sebesar 78,88%, NPHR sebesar 3736Kcal/Kwh serta didapatkan efisiensi termal sebesar 23,01%. Pada *excess air* 35% maka didapatkan *main steam temperature* sebesar 520,5°C, efisiensi *boiler* sebesar 78,59%, NPHR sebesar 3738Kcal/Kwh serta didapatkan efisiensi termal sebesar 23% seperti pada grafik berikut:



Gambar 3. Grafik Hasil Penelitian

Pembakaran dinyatakan bagus dapat dilihat dari oksigen sisa pembakaran pada parameter operasi dan penggunaan excess air antara 15% sd 20%. [5]

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa maka dapat disimpulkan bahwa untuk menentukan udara pembakaran stoikiometri yang pertama perlu diketahui adalah unsur yang terkandung dalam bahan bakar. Selain itu dampak dari excess air secara cost dengan harga batubara sebesar Rp 696.72,00 dan nilai kalori 4067 dengan hasil produksi 51800KW maka NPHR ketika menggunakan excess air 25% ke 15% NPHR mengalami penurunan sebesar 21Kcal/KWH jika di rupiahkan maka mengalami keuntungan atau penghematan sebesar Rp 4,4jt perhari. Ketika NPHR dari excess air 25% ke 35% NPHR mengalami kenaikan sebesar 15Kcal/KWH jika di rupiahkan maka mengalami kerugian atau pemborosan sebesar Rp 3,1jt perhari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan, H. Y., Gunawan, H., & Maluegha, B. (2015). Kajian Efisiensi Termal Dari Boiler Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 4, 97.
- [2] Syarief, A., Setiambodo, Y. B., Ramadhan, M. N., & Sabitah, A. (2020). Analisis Kebutuhan Udara Pembakaran Untuk Mengoptimalkan Proses Pembakaran Boiler Pt. Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Asam Asam Unit 3 & Unit 4. *Info-Teknik*, 21(1), 85. <https://doi.org/10.20527/infotek.v21i1.8966>
- [3] Muholad, W., Hasbi, M., & Endriatno, N. (2021). Analisa Pengaruh Excess Air Terhadap Efisiensi Pembakaran Boiler Jenis Pulverizer Coal 230 T/H. *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(3), 114. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v6i3.20979>
- [4] ASME. (2008). *ASME, PTC 4 STEAM GENERATOR* (Vol. 4).
- [5] Basu, 2015, P. (n.d.). Circulating fluidized bed boilers abroad. In *Thermal Engineering* (Vol. 54, Issue 6). <https://doi.org/10.1134/S004060150706016X>