

PENGARUH KUALITAS BATU BARA TERHADAP EFISIENSI BOILER UNIT UTILITAS BATU BARA PT PETROKIMIA GRESIK MENGGUNAKAN METODE *INDIRECT/ HEAT LOSS* MENGACU PADA ASME PTC 4

Fakhriyah Qothrun Nada

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: fakhriyah.18004@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

PT Petrokimia Gresik dalam memproduksi pupuk organik maupun non organik menggunakan beberapa sumber energi, salah satunya adalah unit Utilitas Batu Bara (UBB) yang terletak di pabrik III PT Petrokimia Gresik. Pada unit UBB terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas pembangkitan daya mencapai 32 MW (Net 25 MW). Salah satu peralatan utama dalam PLTU adalah boiler yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap bertekanan dengan cara pemanasan yang berasal dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar. Bahan bakar yang digunakan di unit UBB yaitu Batu bara. Untuk memenuhi kebutuhan listrik maupun *Steam* di PT Petrokimia Gresik, kinerja boiler sangat diperhatikan baik dari segi bahan bakar maupun parameter operasi supaya tetapa efisien, dengan menggunakan acuan ASME PTC 4. Penelitian ini menganalisa kualitas batu bara berupa nilai HHV terhadap efisiensi boiler yang ada di unit UBB PT Petrokimia Gresik menggunakan *metode heat loss/ indirect*, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kualitas batu bara berupa nilai HHV terhadap efisiensi boiler. Batu bara yang digunakan memiliki nilai HHV 4.995 kcal/kg, 4.993 kcal/kg, dan 4.986 kcal/kg. Dari perhitungan efisiensi boiler yang mengacu pada ASME PTC 4 dengan data operasi, spesifikasi boiler dan data kandungan batu bara, didapatkan hasil bahwa nilai kalor batu bara mempengaruhi efisiensi boiler. Hasil efisiensi boiler tertinggi yaitu 87,03% pada HHV 4.995 kcal/kg dan efisiensi terkecil 85,62% pada HHV 4.993 kcal/kg, dengan faktor kerugian panas terbesar yang mempengaruhi efisiensi batu bara adalah karena gas buang kering, moisture dari pembakaran H₂, dan moisture dari bahan bakar.

Kata Kunci : PLTU, boiler, batu bara, efisiensi, *heat loss*.

Abstract

PT Petrokimia Gresik in producing organic and non-organic fertilizers uses several energy sources, one of which is the Coal Utility Unit (UBB) located at PT Petrokimia Gresik's factory III. In the UBB unit, there is a Steam Power Plant (PLTU) with a power generation capacity of up to 32 MW (Net 25 MW). One of the main pieces of equipment in a PLTU is a boiler which is used to convert water into pressurized steam by means of heating from burning fuel in the combustion chamber. The fuel used in the UBB unit is coal. To meet the needs for electricity and steam at PT Petrokimia Gresik, boiler performance is paid close attention to both in terms of fuel and operating parameters so that it remains efficient, using the ASME PTC 4 reference. This study analyzes the quality of coal in the form of HHV values on boiler efficiency in units UBB PT Petrokimia Gresik using the heat loss/indirect method, the purpose of this study is to determine the effect of coal quality in the form of HHV values on boiler efficiency. The coal used has HHV values of 4,995 kcal/kg, 4,993 kcal/kg, and 4,986 kcal/kg. From the boiler efficiency calculations referring to ASME PTC 4 with operational data, boiler specifications, and coal content data, the results show that the calorific value of coal affects boiler efficiency. The highest boiler efficiency results were 87.03% at HHV 4,995 kcal/kg and the smallest efficiency was 85.62% at HHV 4,993 kcal/kg, with the biggest heat loss factor affecting coal efficiency due to dry flue gas, moisture from burning H₂, and moisture from the fuel.

Keywords: PLTU, boiler, coal, efficiency, *heat loss*.

PENDAHULUAN

PT Petrokimia Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dalam industri petrokimia yang memproduksi

beragam jenis produk pupuk dan non pupuk. PT Petrokimia Gresik termasuk pabrik pupuk terlengkap di Indonesia dengan visinya yaitu menjadi produsen pupuk dan produk kimia lainnya yang berdaya saing tinggi dan produksinya

paling diminati konsumen (Jasa Tirta I, 2020). Produk pupuk yang dihasilkan diantaranya adalah pupuk Urea, ZA, NPK Phonska, SP-36, ZK, NPK Kebomas, dan pupuk organik petrogekanik, sedangkan untuk produk kimia atau produk non pupuk PT Petrokimia Gresik memproduksi Amoniak (NH₃), Asam Sulfat (H₂SO₄), gas karbondioksida (CO₂), dan Asam Fosfat (P₂O₅). Untuk menunjang produksinya PT Petrokimia Gresik memiliki 3 pabrik yang terletak di kabupaten Gresik yang saling berdekatan, hal ini bertujuan agar proses produksi dapat bersinergi dan saling mendukung satu sama lain.

Sumber energi yang digunakan untuk produksi pupuk maupun non pupuk di PT Petrokimia berasal dari gas turbine generator (GTG), Steam Turbine Generator (STG), Utilitas Batubara, dan Gardu Induk PLN. Pada unit utilitas batubara terdapat pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan kapasitas pembangkitan daya mencapai 32 MW (Net 25 MW) menggunakan bahan bakar batu bara, yang terletak di area pabrik 3. Peralatan utama yang digunakan pada PLTU adalah, boiler, turbin, kondensor, dan *boiler feed pump*.

Boiler atau ketel uap merupakan salah satu alat konversi energi yang mengubah air menjadi uap bertekanan dengan cara pemanasan, panas tersebut berasal dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar. pada umumnya bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap pada boiler berasal dari bahan bakar gas, cair (residu, solar), maupun bahan bakar padat (batu bara) (Sugiharto, 2020). Ada 2 boiler yang digunakan pada UBB PT Petrokimia Gresik yang memiliki kapasitas 2 X 150 ton/jam, pressure 90kg/cm² dan temperatur 540 °C dengan distribusi steam ke pabrik 1 mencapai 110 ton/jam, pressure 45kg/cm², temperatur 350°C, pada pabrik III mencapai 75 ton/jam, pressure 36kg/cm² (g), temperatur 400 °C, dan steam ke pabrik II mencapai 65 ton/jam, pressure 10 kg/cm² (g) dengan temperatur 400 °C. hal tersebut menunjukkan bahwa boiler termasuk salah satu komponen utama PLTU yang berperan penting untuk menentukan efisiensi pembakaran bahan bakar pada PLTU yang sedang beroperasi.

Boiler yang terletak di Unit Utilitas Batu bara PT Petrokimia Gresik menggunakan jenis *Pulverized coal*, dimana batu bara akan dihaluskan menggunakan *coal mill* kemudian disemprotkan menuju *furnace* dengan bantuan *primary air fan* oleh udara luar serta udara panas dari *air preheater*, panas yang dihasilkan akan mengalir menuju *superheater 2* kemudian menuju *superheater 3*, dari *superheater 3* menuju *superheater 1* kemudian melewati *upper economizer* menuju *air preheater*, setelah itu melewati *low economizer* kemudian melewati air preheater kedua Lalu menuju ESP. Dalam air preheater terdapat FD Fan yang berfungsi untuk menyedot udara luar (*cold air*) untuk menurunkan panas pada *air preheater* kedua (*secondary air heater*) menuju ESP (Santiatma, 2017). Batu bara yang dibakar di dalam boiler akan menghasilkan udara panas yang sudah bercampur dengan *fly ash*, sedangkan batubara yang dibakar didalam boiler dan dari hasil pembakaran tersebut akan menghasilkan udara panas yang bercampur dengan *fly ash* serta *bottom slag*.

Batu bara termasuk salah satu bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap pada boiler. Batu bara

mempunyai beberapa jenis sesuai dengan kualitas nilai kalor yang dimiliki, menurut (Arinaldo & Adiatama, 2019) total cadangan batu bara di Indonesia adalah 22,6 miliar ton atau 2,2% dari total cadangan global. Namun, hingga 60% sumber cadangan batu bara yang ada di Indonesia termasuk dalam kategori kualitas rendah (kurang dari 5100 cal/gram) sehingga jarang diekspor dan hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan lokal (Nathanael, 2020). Sedangkan kualitas batu bara sangat mempengaruhi kinerja boiler karena parameter nilai kalori yang berbeda-beda, sehingga perlu adanya penelitian tentang pengaruh kualitas batu bara terhadap efisiensi boiler, khususnya boiler di unit UBB PT Petrokimia Gresik

Untuk menghitung nilai efisiensi pada boiler dapat menggunakan metode *direct/ input-output* dan *indirect/ heat loss* yang mengacu pada ASME PTC 4. pada penelitian ini menggunakan metode *indirect/ heat loss* karena dengan metode ini dapat mengetahui faktor apa saja yang memengaruhi efisiensi boiler terhadap kualitas batu bara, dengan judul penelitian “pengaruh kualitas batu bara terhadap efisiensi boiler unit utilitas batu bara PT Petrokimia Gresik menggunakan metode *indirect/ heat loss* mengacu pada ASME PTC 4”.

Diharapkan dengan penelitian ini dapat mengetahui pengaruh kualitas batu bara terhadap efisiensi boiler yang ada di unit utilitas batu bara PT Petrokimia Gresik menggunakan metode *indirect/ heat loss* yang mengacu pada ASME PTC 4.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dan deskriptif kualitatif, yang mendeskripsikan pengaruh kualitas batu bara terhadap kerugian panas, dan efisiensi boiler, termasuk dalam penelitian kuantitatif karena membutuhkan perhitungan pada variabel penelitian yang mengacu pada aturan ASME PTC 4 metode *heat loss* serta berusaha untuk memberikan rekomendasi supaya boiler tetap optimal.

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Petrokimia Gresik, pabrik IIIB Unit Utilitas Batu Bara yang beralamat di Jl. Jenderal Ahmad Yani, Gresik Jawa Timur 61119.

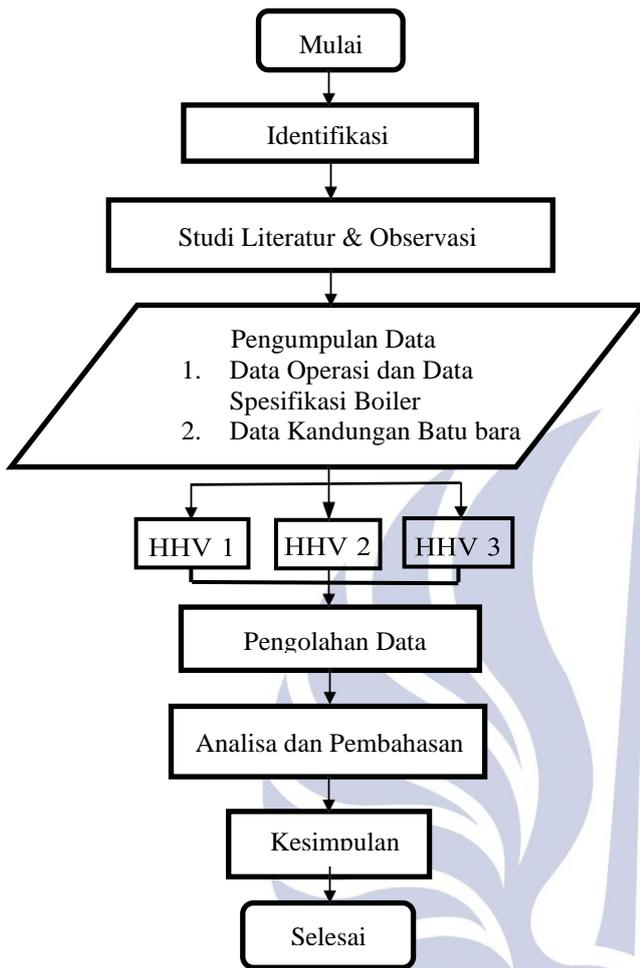
Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai pada bulan Agustus-Desember tahun 2022

Objek Penelitian

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah satu unit boiler Jenis *Water Tube* Unit Utilitas Batu bara PT Petrokimia Gresik.

Diagram Alir Penelitian



Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas dari penelitian ini adalah kualitas dari batu bara 4.995 kcal/kg, 4.993 kcal/kg, dan 4.986 kcal/kg.

Variabel Terikat

Variabel terikat yang akan mempengaruhi variabel bebas adalah efisiensi boiler.

Variabel Kontrol

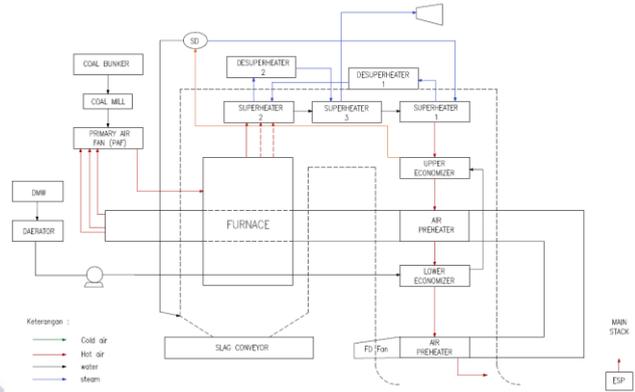
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah parameter data yang diambil pada pukul 14.00 WIB dengan temperatur udara masuk 33 °C. Dan pembangkit beroperasi dengan beban penuh 32 MW gross (25 MW Net) selama minimal 1x24 jam.

Teknik Pengumpulan Data

Data yang harus dikumpulkan untuk menghitung efisiensi boiler, sebagai berikut:

- Data spesifikasi boiler yang berada di unit utilitas batu bara PT Petrokimia Gresik
- Mengumpulkan data parameter dari setiap jalur lintasan operasi pada boiler yang digunakan untuk melakukan perhitungan efisiensi.

- Data kandungan spesifikasi batu bara yang digunakan untuk bahan bakar boiler.



Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dapat dilakukan setelah semua data operasi, data parameter boiler serta data bahan bakar terkumpul dan dapat dilakukan perhitungan efisiensi boiler. Perhitungan efisiensi boiler ini menggunakan metode *heat loss* yang mengacu pada ASME PTC 4 yang dapat mengetahui kehilangan energi panas yang terjadi sebagai indikator *heat loss*, dengan perhitungan sebagai berikut:

- Perhitungan kerugian panas karena gas buang kering (Q_{pLDFg})

$$Q_{pLDFg} = M_{qDFg} \cdot H_{DFgLvCr} \cdot 100\%$$
- Perhitungan Kerugian Panas karena moisture dari pembakaran H₂ (Q_{pLH2F})

$$Q_{pLH2F} = M_{qWH2F} \cdot (H_{StLvCr} - H_{WRe}) \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian Panas karena Moisture di bahan bakar (Q_{pLWF})

$$Q_{pLWF} = M_{qWF} \cdot (H_{StLvCr} - H_{WRe}) \cdot 100\%$$
- Perhitungan Kerugian Panas karena Moisture di Udara (Q_{pLWA})

$$Q_{pLWA} = \frac{M_{FrWA} \cdot M_{qDA} \cdot H_{WvLvCr}}{HHVF} \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian panas akibat karbon yang tidak terbakar (Q_{pLUBc})

$$Q_{pLUBc} = M_{pUbC} \frac{HHVCRs}{HHVF} \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian panas karena hidrogen tidak terbakar di residu (Q_{pLH2Rs})

$$Q_{pLH2Rs} = M_{pUbC} \frac{HHVCRs}{HHVF} \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian panas karena karbon monoksida di gas buang (Q_{pLCO})

$$Q_{pLCO} = DV_{pCO} + M_{oDFg} \cdot M_{wCO} \cdot \frac{HHVCO}{HHVF} \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian panas karena Pulverizer (Q_{pLPr})

$$Q_{pLPr} = M_{qPr} \cdot (HHVPR + HPr) \cdot 100\%$$
- Perhitungan kerugian panas karena hidrokarbon tidak terbakar di gas buang (Q_{pLUBHc})

$$Q_{pLUBHc} = DV_{pHc} \cdot M_{oDFg} \cdot M_{wHc} \cdot \frac{HHVHc}{HHVF} \cdot 100\%$$

- Perhitungan kerugian panas karena sensibel (QpLRs)

$$QpLRs = \sum \frac{MqRs \cdot HRs}{HHVF} \cdot 100\%$$

- Perhitungan kerugian panas karena aliran udara (QpLALg)

$$QpLALg = MqALg \cdot (HALvCr - HALgEn) \cdot 100\%$$

- Perhitungan kerugian panas karena pembentukan NO_x (QpLNO_x)

$$QpLNO_x = DVpNO_x \cdot MoDFg \cdot \frac{HrNO_x}{HHVF} \cdot 100\%$$

- Perhitungan kerugian panas karena radiasi dan konveksi (QrLSrc)

$$QrLSrc = 0,18\%$$

- Perhitungan kerugian panas karena tambahan kelembapan (QrLWAd)

$$QrLWAd = \sum MrSt \cdot (HStLvCr - HWRe)$$

- Perhitungan kerugian panas karena kalsinasi dan dehidrasi (QrLClh)

$$QrLClh = \sum MrSbk \cdot MFrClhk \cdot HrK$$

- Perhitungan kerugian panas karena air dalam sorbent (QrLWSb)

$$QrLWSb = MrWSb \cdot (HStLvCr - HWRe) \cdot 100\%$$

Sesuai dengan data para parameter, Operasi dan bahan bakar yang terkumpul, terdapat 10 kerugian panas saja yang dapat dihitung dalam penelitian ini, diantaranya:

- Perhitungan kerugian panas karena gas buang kering (QpLDFg)
- Perhitungan Kerugian Panas karena moisture dari pembakaran H₂ (QpLH₂F)
- Perhitungan kerugian Panas karena Moisture di bahan bakar (QpLWF)
- Perhitungan Kerugian Panas karena Moisture di Udara (QpLWA)
- Perhitungan kerugian panas akibat karbon yang tidak terbakar (QpLUBC)
- Perhitungan kerugian panas karena karbon monoksida di gas buang (QpLCO)
- Perhitungan kerugian panas karena sensibel (QpLRs)
- Perhitungan kerugian panas karena pembentukan NO_x (QpLNO_x)
- Perhitungan kerugian panas karena radiasi dan konveksi (QrLSrc)
- Perhitungan kerugian panas karena tambahan kelembapan (QrLWAd)

Teknik Analisa Data

Pengambilan data pada penelitian ini menggunakan data operasional pada tiap komponen yang dilakukan secara langsung dan tidak langsung, dan dihitung secara teoritis menggunakan metode *indirect/heat loss* yang mengacu pada ASME PTC 4. Kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar lebih dapat dipahami. Adapun teknik analisa data yang dilakukan adalah Analisa perbandingan efisiensi boiler dengan variasi kualitas batu bara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 1. Hasil Efisiensi Boiler *Heat Loss Methode*

HHV 1	HHV 2	HHV 3	Satuan
87,03	85,74	85,62	%

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Heat Loss

Parameter Heat Loss		HHV		
		4995 kCal/kg	4993 kCal/kg	4986 kCal/kg
Gas buang kering	%	5,79	6,88	6,74
Moisture dari pembakaran H ₂	%	4,43	4,44	4,47
Moisture di bahan bakar	%	3,11	3,23	3,35
Moisture di udara	%	0,19	0,21	0,22
Karbon tidak Terbakar diresidu	%	0,00020	0,00020	0,00025
Hidrogen tidak terbakar di residu	%	-	-	-
Karbon monoksida di gas buang	%	0,21	0,12	0,234
Pulverizer rejects	%	-	-	-
Hidrokarbon tidak terbakar di gas buang	%	-	-	-
Panas sensibel di residu	%	0,0026	0,0026	0,0033
Aliran udara	%	-	-	-
Formasi NO _x	%	4,77x10 ⁻⁶	4,79x10 ⁻⁶	5,36x10 ⁻⁶
Radiasi dan konveksi	%	0,18	0,18	0,18
Kelembapan tambahan	%	0,018	0,019	0,019
Kalsinasi dan dehidrasi pada penyerap	%	-	-	-
Air di penyerap	%	-	-	-

Pembahasan

A. Kajian Efisiensi Boiler Desain

Efisiensi boiler sesuai desain berdasarkan *data sheet* yaitu sebesar 91% menggunakan LHV batu bara sebesar 3.751 kCal/kg dan 90,2% menggunakan HHV batu bara sebesar 3.784

kCal/kg, dengan karakteristik *ultimate* dan *proximate* batu bara sebagai berikut.

Tabel 4.6 Karakteristik *Ultimate* dan *Proximate* batu bara desain

Kandungan	As Received (%)
Proximate Analysis	
Total Moisture	38,0
Ash	3,3
Volatile	32,1
Fixed Carbon	26,6
Ultimate Analysis	
Moisture	38,0
Ash	3,3
Carbon	45,0
Hydrogen	3,0
Nitrogen	0,7
Total Sulfur	0,1
Oxygen	12,9

Tabel 4.7 Data *water and steam system boiler design*

No	Keterangan	Satuan	Nilai Sesuai Design
1	<i>Main Steam Flow</i>	T/h	150
2	<i>Steam Pressure</i>	Mpa	9,8
3	<i>Feedwater temperature</i>	°C	215
4	<i>Design pressure (drum)</i>	kg/cm ²	110
5	<i>Design temperature steam at superheater outlet</i>	°C	540
6	<i>Boiler thermal efficiency (LHV)</i>	%	91
7	<i>Boiler thermal efficiency (HHV)</i>	%	90,2

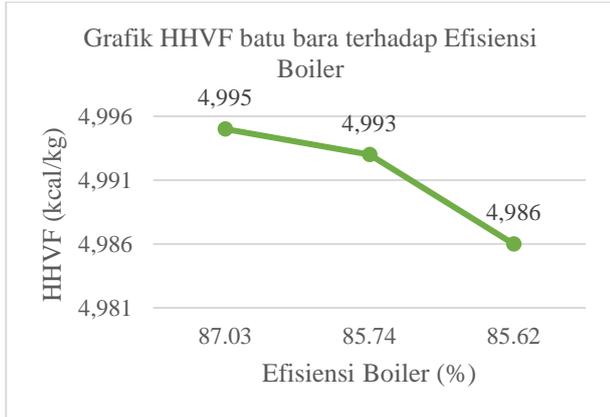
Tabel 4.7 menunjukkan data *water and steam system boiler* sesuai desain pada dokumen data sheet, yang kemudian dilakukan komisioning pada tahun 2010 oleh vendor dan kontraktor untuk mengetahui dan memastikan apakah boiler dapat beroperasi dengan baik dan telah memenuhi semua peraturan yang berlaku, regulasi, kode, dan standar yang telah ditetapkan.

Tabel 4.8 Data *water and steam system* pada saat komisioning

No	Keterangan	Satuan	Nilai Sesuai Design
1	<i>Main Steam Flow</i>	T/h	155,5
2	<i>Steam Pressure</i>	Mpa	9,15
3	<i>Feedwater temperature</i>	°C	215
4	<i>Design pressure (drum)</i>	kg/cm ²	110
5	<i>Design temperature steam at superheater outlet</i>	°C	525
6	<i>Boiler thermal efficiency</i>	%	91,46

Dari hasil komisioning yang dilakukan terdapat perbedaan antara tekanan steam saat komisioning adalah 9,15 Mpa, sedangkan tekanan steam desain adalah 9,8 Mpa. Selain itu juga temperature steam juga terdapat perbedaan pada saat komisioning adalah 525°C, sedangkan temperature steam desain adalah 540°C. Untuk efisiensi pada saat komisioning sebesar 91,46% dikarenakan terdapat penurunan steam outlet boiler pada tekanan 9 Mpa dan pada temperatur 500°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa boiler kemungkinan tidak dapat mencapai kondisi desain pada saat normal operasi dikarenakan boiler belum dilakukan pengujian pada kondisi operasi normal, yaitu pada BMCR 100% (*Steady state*) dan MCR 110% (*peak load*) selama 2-4 jam sesuai standar ASME

B. Efisiensi Boiler *Heat Loss Methode*

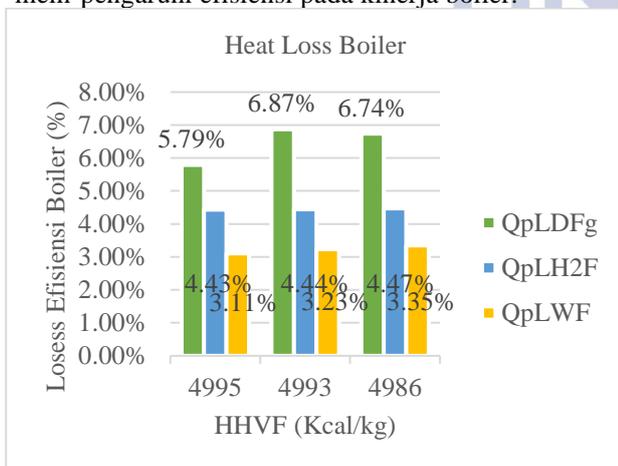


Gambar 1. Grafik Efisiensi Boiler terhadap HHVF Batu Bara

Perhitungan Efisiensi boiler menggunakan metode *Heat Loss/ Indirect* ditunjukkan pada gambar 1 yang menunjukkan nilai efisiensi boiler terhadap nilai kalor batu bara. Hasil efisiensi terendah yaitu sebesar 85,62% dengan nilai HHVF batu bara sebesar 4.986 kcal/kg, dan efisiensi tertinggi sebesar 87,03% dengan nilai HHVF 4.995 kcal/kg, karena memiliki kadar kerugian panas yang rendah yaitu sebesar 3,17% dari efisiensi boiler desain 90,2% dibandingkan dengan HHVF 4.993 kCal/kg dan 4.986 kCal/kg. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kalori batu bara merupakan faktor utama yang mempengaruhi nilai efisiensi boiler pada perhitungan kerugian panas. Perhitungan Efisiensi boiler menggunakan metode kerugian panas/ *heat loss* dapat mengetahui faktor sumber kerugian panas terbesar dan tingkat gangguan perhitungan yang relatif rendah.

C. Analisa *Heat Loss/* Kerugian Panas

Perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode kerugian panas/ *heat loss* berasal dari parameter operasi dan nilai kandungan bahan bakar batu bara yang digunakan untuk proses perhitungan kerugian panas yang keluar atau tidak dapat dimanfaatkan sehingga mem-pengaruhi efisiensi pada kinerja boiler.

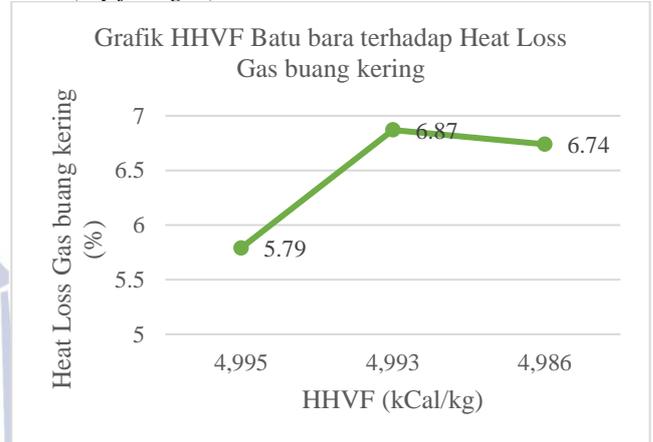


Gambar 2. Grafik *Heat Loss Boiler*

Berdasarkan pada gambar 2 terdapat 3 *heat loss* yang terbesar yaitu karena gas buang kering, moisture dari

pembakaran H₂, dan moisture dari bahan bakar dari 10 kerugian panas yang dihitung. dengan menggunakan metode kerugian panas, dapat dilakukan analisa terhadap 3 *heat loss* yang mempengaruhi efisiensi boiler dari perhitungan kerugian panas, yaitu:

- Analisa kerugian panas karena gas buang kering (*dry flue gas*)

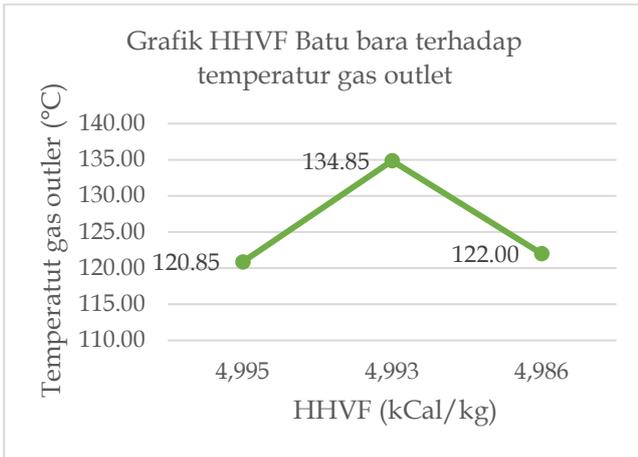


Gambar 3. Grafik *heat loss* gas buang kering terhadap HHVF Batu bara

Berdasarkan gambar 4.3 kerugian panas karena gas buang kering terbesar terdapat pada nilai HHV 4.993 kcal/kg dengan nilai 6,87% dan 5.79% untuk kerugian panas terendah dengan nilai HHV batu bara 4.995 kcal/kg. Penyebab dari persentase kerugian panas yang besar adalah temperatur gas buang dan *excess air*, pada tabel 4.6 menunjukkan data analisa kerugian panas karena gas buang.

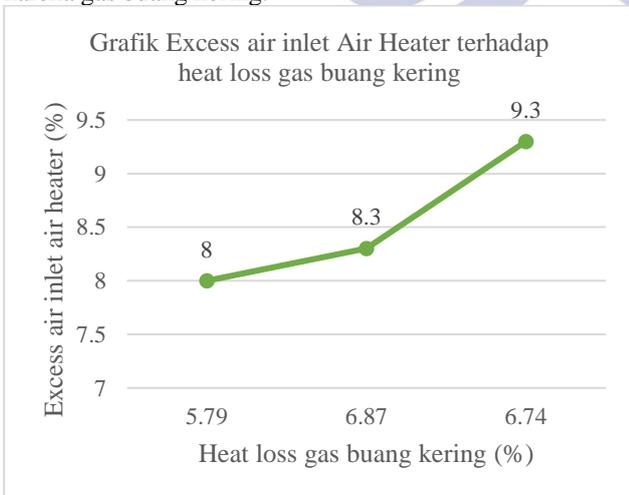
Tabel 3. Data analisa kerugian panas karena gas buang kering

Parameter	Satuan	Parameter		
Gas buang kering	%	5,79	6,61	6,74
Excess air inlet air heater	%	8	8,3	9,3
Excess air outlet air heater	%	9,54	9,62	11,10
Temperatur gas buang	°C	120,85	134,85	122
HHV Batu bara	kCal/kg	4.995	4.993	4.986



Gambar 4. Grafik temperatur gas outlet terhadap HHVF Batu bara

Berdasarkan gambar 4 menunjukkan bahwa parameter *outlet gas* buang yang tinggi tidak berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kalor. Dimana *temperatur outlet gas* tertinggi terdapat pada nilai kalor batu bara 4.993 kCal/kg sebesar 134,85°C, sedangkan untuk nilai kalor tertinggi 4.995 kcal/kg memiliki tempertatur outlet yang rendah yaitu sebesar 12,85°C. penyebab dari tingginya temperatur outlet gas buang karena ketidakefektifan proses *heat transfer* pada setiap/ salah satu tingkatan (*Superheater, Economizer* dan *Preheater*), selain itu juga tumpukan ash di area *economizer* juga merupakan faktor penyebab terhambatnya perpindahan panas dari *economizer* menuju tube (*superheater*). Selain karena temperatur outlet gas buang yang besar, kerugian panas karena gas buang kering juga bisa dikarenakan kandungan *excess air* yang tinggi, sehingga perlu dilakukan analisa terhadap nilai *excess air* untuk menentukan faktor yang mempengaruhi *heat loss dry flue gas/* kerugian panas karena gas buang kering.



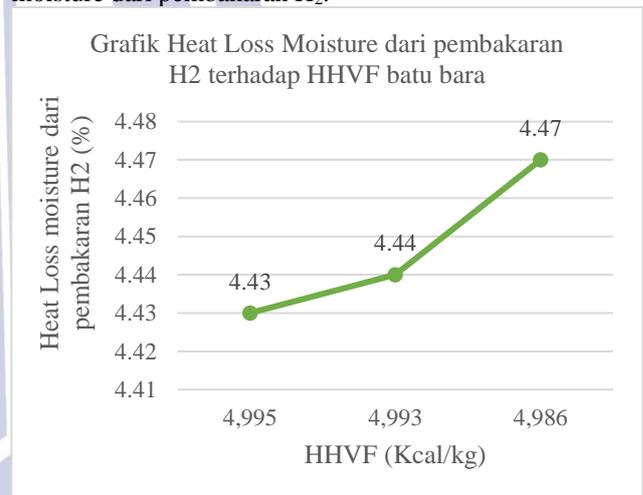
Gambar 5. Grafik *Heat Loss* gas buang kering terhadap nilai *excess air inlet air heater*

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa *excess air inlet* air heater mempengaruhi kadar kerugian panas gas buang kering yang juga akan mempengaruhi nilai efisiensi boiler. Nilai *excess air* terbesar yaitu 9,3% pada HHV batu bara

4.986 kcal/kg dan nilai *excess air* terendah yaitu sebesar 8% pada HHV batu bara 4.995 kcal/kg, akan tetapi setelah dilakukan perhitungan kerugian panas karena gas buang kering pada HHV batu bara 4.993 kcal/kg sebesar 6,87% karena memiliki temperatur outlet gas buang yang tinggi, meskipun pada HHV batu bara 4.986 kcal/kg memiliki nilai *excess air inlet air heater* yang tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwasannya kerugian panas akibat gas buang kering berpengaruh terhadap *temperature flue gas* dan juga *excess air inlet air heater*.

- Analisa kerugian panas karena *moisture* dari pembakaran H₂

Kerugian panas yang disebabkan oleh *moisture* dari dalam pembakaran H₂ disebabkan oleh kandungan hidrogen yang menghambat proses nyala api pada saat pembakaran bahan bakar batu bara sehingga mengurangi nilai efisiensi boiler. Semakin tinggi nilai kandungan hidrogen dalam bahan bakar maka, semakin besar kerugian panas karena *moisture* dari pembakaran H₂.

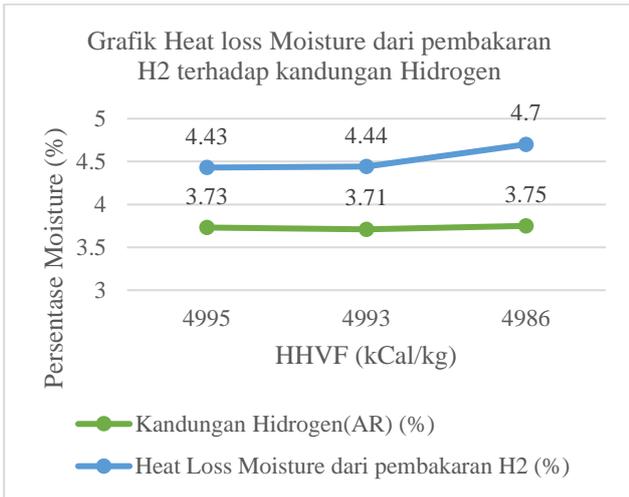


Gambar 6. Grafik *heat loss moisture* dari pembakaran H₂ terhadap nilai HHV batu bara

Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa kerugian panas karena *moisture* dari pembakaran H₂ terbesar pada HHV 4.986 kcal/kg dengan nilai 4,47% dan untuk HHV 4.995 kcal/kg memiliki nilai kerugian panas karena *moisture* dari hidrogen terkecil yaitu sebesar 4,43%.

Tabel 4. Data Analisa kerugian panas karena *moisture* dari pembakaran H₂

Parameter		4995 kCal/kg	4993 kCal/kg	4986 kCal/kg
Heat Loss Moisture	%	4,43	4,44	4,7
Kandungan Hidrogen (AR)	wt%	3,730	3,714	3,759
Nilai kalori Batu bara	Kcal/kg	4.995	4.993	4.986



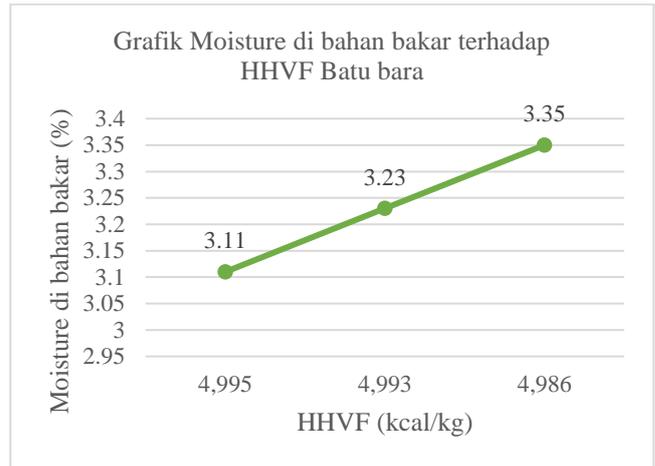
Gambar 7. Grafik Grafik *Heat Loss moisture* dari pembakaran H₂ dan Kandungan hidrogen batu bara terhadap HHVF Batu bara

Berdasarkan gambar 4.7 kerugian panas karena moisture dari pembakaran H₂ didapatkan hasil teritinggi 4.47% dari bahan bakar batu bara dengan nilai HHV 4.986 kcal/kg dan kandungan hidrogenn pada bahan bakar sebesar 3,759%. Untuk kerugian panas terendah yaitu sebesar 4.43 % pada bahan bakar dengan nilai HHV 4.995 kcal/kg dan kandungan hidrogen sebesar 3.73 %. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin tinggi kandungan hidrogen yang terkandung dalam batu bara semakin tinggi, maka akan semakin tinggi pula kerugian panas yang disebabkan oleh moisture dari pembakaran H₂.

- Analisa kerugian panas karena moisture di bahan bakar.

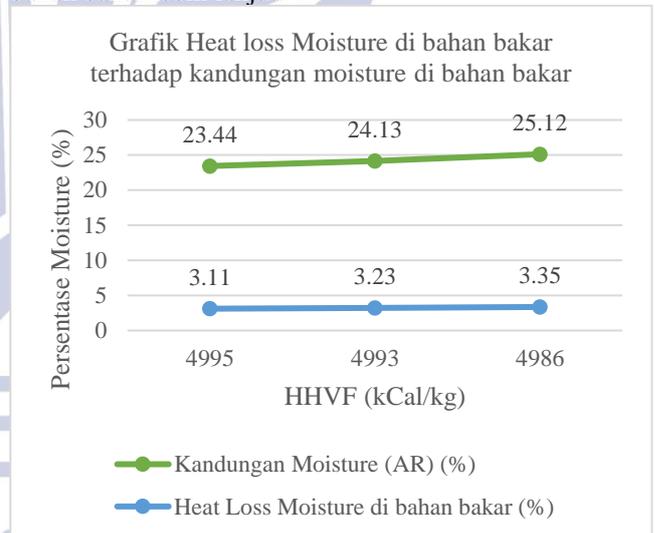
Tabel 5. Data Analisa Kerugian panas karena moisture di bahan bakar

Parameter		4995 kCal/ kg	4993 kCal/ kg	4986 kCal/ kg
Moisture di bahan bakar	%	3,11	3,23	3,35
Kandungan Moisture (AR)	wt%	24,18	25,1	30,05
Nilai kalori Batu bara	kCal/kg	4.995	4.993	4.986



Gambar 8. Grafik *heat loss moisture* di bahan bakar terhadap HHV Batu bara

Pada grafik gambar 8 menunjukkan kerugian panas karena *moisture* di bahan bakar terhadap HHV batu bara, kerugian panas terbesar yaitu pada HHV 4.986 kcal/kg dengan nilai 3,35 % dan kerugian panas terkecil yaitu pada HHV 4.995 kcal/kg dengan nilai kerugian panas karena *moisture* di bahan bakar sebesar 3,11 %. Dengan parameter kandungan *moisture* pada bahan bakar data dilakukan analisa kerugian panas karena *moisture* di bahan bakar lebih lanjut.



Gambar 9. Grafik *heat loss moisture* di bahan bakar terhadap kandungan moisture di bahan bakar

Berdasarkan pada gambar 9 grafik *heat loss moisture* di bahan bakar di dapatkan hasil kerugian panas tertinggi sebesar 3.35% pada terkecil yaitu HHV 4.986 kcal/kg dengan kandungan *moisture* dalam batu bara 25,12 wt%. Pada HHV terbesar 4.995 kcal/kg, memiliki kerugian panas karena moisture di bahan bakar terkecil yaitu sebesar 3,11% dengan kandungan moisturenya yaitu 23,44 wt%.

Dapat diketahui pada tabel 4, gambar 8, dan gambar 9, menunjukkan bahwa penyimpanan batu bara pada gudang penyimpanan Unit UBB masih perlu diperhatikan pada saat penyiraman air, sehingga dapat dibedakan mengenai kondisi kelembapan batu bara. Kerugian panas

karena moisture/ kelembapan pada bahan bakar terjadi karena batu bara banyak mengandung air, yang menyebabkan terjadinya kerugian panas yang besar dikarenakan air menyerap kalor yang digunakan untuk menaikkan titik didih pada bahan bakar batu bara saat pembakaran berlangsung.

- Analisa efisiensi boiler desain dengan hasil perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode *heat loss*
Setelah dilakukan perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode *heat loss* dilakukan analisa perbandingan dengan efisiensi boiler desain.

Tabel 6. Analisa perbandingan efisiensi boiler metode heat loss dengan efisiensi boiler desain

HHVF Perhitungan (kCal/kg)	Nilai Efisiensi HHVF Desain 3.784 kCal/kg	Nilai Efisiensi HHVF Perhitungan	Selisih
4.995	90,2 %	87,03 %	3,17 %
4.993		85,74 %	4,46 %
4.986		85,62 %	4,58 %

Pada tabel 6 menunjukkan bahwa nilai efisiensi boiler menggunakan metode *heat loss* mengalami penurunan setelah uji komisioning pada tahun 2012 dengan nilai 90,2% kemudian pada tahun 2022 dilakukan perhitungan efisiensi dengan nilai HHVF yang berbeda. Didapatkan selisih terkecil yaitu pada HHVF 4.995 kCal/kg sebesar 3,17% dengan efisiensi 87,03%. Hal tersebut dikarenakan pada saat komisioning boiler belum pada keadaan optimal, selain itu juga beberapa faktor yang mempengaruhi menurunnya efisiensi boiler pada perhitungan menggunakan metode heat loss adalah:

1. Besarnya kerugian panas yang disebabkan karena gas buang tinggi dikarenakan temperatur *outlet* gas buang yang juga tinggi.
2. Besarnya kerugian panas karena moisture dari pembakaran H₂ dikarenakan tingginya kandungan hidrogen yang dimiliki bahan bakar
3. Besarnya kerugian panas karena *moisture* pada bahan bakar dikarenakan tingginya kandungan *moisture* pada bahan bakar

PENUTUP

Simpulan

Perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode kerugian panas (*heat loss*) atau metode tidak langsung (*indirect*) dapat mengidentifikasi adanya kerugian panas yang terdapat pada boiler. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa kualitas batu bara mempengaruhi efisiensi boiler, diperoleh hasil analisa perbandingan efisiensi boiler dengan variasi kualitas batu bara berupa nilai HHVF batu bara terbesar yaitu pada HHVF 4.995 kCal/kg dengan nilai 87,03% dan nilai efisiensi terendah didapatkan pada HHVF 4.986 kCal/kg dengan nilai 85,62%. Dengan faktor kerugian panas terbesar yaitu karena gas buang kering, *moisture* dari pembakaran H₂, dan *moisture* dari bahan bakar. Nilai kerugian panas karena gas buang kering terbesar yaitu 6,88% pada HHVF 4.993 kCal/kg dengan nilai temperatur gas buang tertinggi 134,85°C. Untuk yang terendah sebesar 5,79% dari HHV 4.995 kCal/kg dengan nilai temperatur gas buang 120,85°C. Nilai kerugian panas terbesar karena Kelembapan (*moisture*) di bahan bakar yaitu 3,35% karena kandungan *moisture* pada bahan bakar tertinggi dengan nilai 25,14 wt% dari HHVF 4.986 kCal/kg dan terendah yaitu 3,11% pada HHVF 4.995 kCal/kg dengan nilai 23,44 wt%.

Jika dibandingkan dengan efisiensi boiler sesuai desain sebesar 90,2% dengan HHVF 3.784 kCal/kg memiliki selisih sebesar 3,17% dengan perhitungan efisiensi boiler menggunakan HHVF 4.995 kCal/kg sebesar 87,03% dikarenakan boiler belum dilakukan pengujian pada kondisi operasi normal, yaitu pada BMCR 100% (*Steady state*) dan MCR 110% (*peak load*) selama 2-4 jam sesuai standar ASME.

Saran

Berdasarkan dari hasil perhitungan ini, maka peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut ini:

- Penyimpanan batu bara dengan optimal dengan menyemprot batu bara saat kondisi kering sampai cukup lembab dan tidak terlalu basah, karena untuk menghindari basahnya batu bara yang menyebabkan kandungan moisture batu bara yang tinggi.
- Jalur aliran outlet air preheater harus diperbaiki karena indikasi jumlah excess air yang tinggi karena terdapat kebocoran udara lingkungan yang masuk sehingga mengakibatkan kerugian panas yang tidak optimal saat diperhitungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar, H. dkk. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*. Yogyakarta: CV. Pustaka Ilmu. (Issue March).
- American Society of Mechanical Engineers, A. (1998). *Fired Steam Generators ASME PTC 4-2008 Performance Test Codes*. 2008. <http://cstools.asme.org>
- Arinaldo, D., & Adiatama, J. C. (2019). *Dinamika Batu Bara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil*. *Institute for Essential Services Reform (IESR)*, 1–12. [37](http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/04/SPM-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- bahasa-lowres.pdf
- Asmar, & Wahyu, S. (2019). *ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN LISTRIK TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PT.INDONESIA POWER UJP PLTU BARRU*.
- ASTM: D-388. (2005). ASTM: D388 Coals by Rank. *ASTM International, ASTM D388*-(January 2000), 1–6. www.astm.org
- Edress, N. A. A., & Khaled, K. A. M. (2018). Coalification and fuel analysis of the Lower Carboniferous Thora coal seam in the Bedaa- Gebel Hazbar- Gebel Nukhul district, Sinai, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 144, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.04.006>
- Gunawan, W., & Gunawan, B. A. (2020). Studi Efisiensi Boiler Terhadap Nilai Kalor Batubara Pada Boiler Jenis Pulverizer Coal Kapasitas 300 T/H. *Jurnal Intent: Jurnal Industri Dan Teknologi Terpadu*, 3(2), 122–130. <https://doi.org/10.47080/intent.v3i2.958>
- Haryanto, T. (2016). *Analisis Unjuk Kerja Turbin Dan Generator Pada Persentasi Pembebanan Yang Berbeda Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 6–47. <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/8485>
- Hendri, Suhengki, & Ramadhan, P. (2017). *ANALISA EFISIENSI BOILER DENGAN METODE HEAT LOSS SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL PT. INDONESIA POWER UBP PLTU LONTAR UNIT 3. 4*.
- Hofstrand, D., 2007. Energy measurements and conversions. Iowa State University Extension and Outreach. (2008). COAL -- A Fossil fuel the mining and processing of coal. *Energy Information Administration*, 1–5.
- Jannah, L. R. (2021). *UTILITAS BATU BARA DI DEPARTEMEN PRODUKSI III-B PT. PETROKIMIA GRESIK*. <http://dx.doi.org/10.1080/01443410.2015.1044943%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.581%0Ahttps://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2547ebf4-bd21-46e8-88e9-f53c1b3b927f/language-en%0Ahttp://europa.eu/.%0Ahttp://www.leg.st>
- Jasa Tirta I. (2020). Visi , Misi dan Tata Nilai Perusahaan Umum Jasa Tirta II. In *Jasa Tirta II* (pp. 1–2). <https://petrokimia-gresik.com/page/visi-misi-dan-budaya-perusahaan>
- Komarudin, K., Saputro, A., & Wahyuningsih, E. (2020). ANALISIS KENAIKAN PLANT HEAT RATE PLTU SEBELUM PERBAIKAN BERKALA TERHADAP KONDISI TESTING KOMISIONING (Studi Kasus : PLTU XX). *Bina Teknika*, 16(1), 25. <https://doi.org/10.54378/bt.v16i1.1740>
- Muzaki, I., & Mursadin, A. (2019). ANALISIS EFISIENSI BOILER DENGAN METODE INPUT– OUTPUT DI PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk. UNIT BANJARMASIN. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(1), 37–46. <https://doi.org/10.20527/sjmeKinematika.v4i1.50>
- Nathanael, G. K. (2020). Kerjasama Luar Negeri Indonesia dan China: Studi Kasus Ekspor Batubara. *Jurnal Mandala Jurnal Ilmu Hubungan Internasional*, 203–219. <https://doi.org/10.33822/mjihi.v3i2.2320>
- Pasymi, P., & Hatta, U. B. (2020). *Batubara (jilid 1). February*.
- Pratomo, R. A. (2018). *Analisis Penurunan Performa Pada Boiler Feed Pump Sebagai Langkah Reactive Maintenance Di Pt Pjb Up Gresik*. 85. <https://repository.its.ac.id/59536/>
- Raufi, L. I. (2016). *Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Supercritical Pada Perangkat Lunak Cycle-Tempo Dengan Analisa Modeling of Supercritical Steam Power Plant Using Cycle - Tempo With Analysis of Loads Variation*.
- Sandi, R. P. (2022). *PENGARUH KUALITAS BATUBARA TERHADAP EFISIENSI BOILER TIPE CFB UNIT 3 PLTU JERANJANG LOMBOK BARAT DENGAN METODE ASME PTC 4 Mohammad Effendy Abstrak*.
- Sinaga, A. (2019). *Pengaruh Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pada Unit 3 Pltu Pt . Pln (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan Skripsi Oleh: Andreas Sinaga Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Pengaruh Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi*. 1–78.
- Sudirmanto, & Effendi, A. R. (2020). Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo. *Jurnal PowerPlant*, 8(1), 1–29.
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 10(2), 51–57. <https://doi.org/10.37525/sp/2020-2/260>
- Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*.
- Tanuma, T. (2017). Introduction to steam turbines for power plants. In *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100314-5.00001-4>
- United Nations Environment Programme. (2006). Boiler & pemanas fluida termis 1. *Peralatan Efisiensi Energi Untuk Industri Di Asia*, 1–42. www.energyefficiencyasia.org
- Arinaldo, D., & Adiatama, J. C. (2019). *Dinamika Batu Bara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil*.
- Santiatma, I. (2017). *Pemodelan dan Analisa Boiler Menggunakan Kesetimbangan Massa dan Energi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 90.