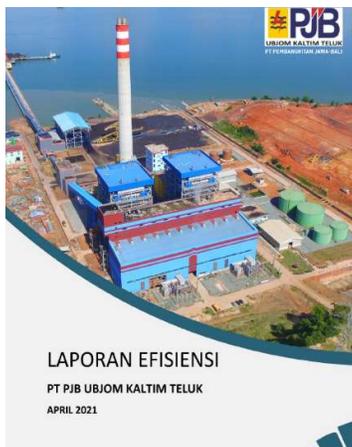


**LAPORAN PEKERJAAN TAHAP IV  
(APRIL – JUNI 2021)  
ANALISIS LAPORAN EFISIENSI  
PT PJB UBJOM KALTIM TELUK  
BULAN APRIL, MEI DAN JUNI 2021  
PLTU TELUK BALIKPAPAN KALIMANTAN**



**Diajukan ke  
PT PLN (Persero)  
Kantor Induk Pembangkitan dan Penyaluran Kalimantan**



**Diajukan oleh  
Prof. Ir. Yazid Bindar, PhD, IPM  
Ahli Kepala Konsultan**



2021

## EXECUTIVE SUMMARY

Pada tahap keempat dari pekerjaan “Smart Operation” CFB PLTU Kalimantan dengan lokasi di PLTU Teluk Balikpapan difokuskan untuk evaluasi terhadap laporan Performance Test (PT) bulan April hingga Juni 2021. Hasil laporan tersebut juga dibandingkan dengan hasil analisis yang tertuang dalam laporan tahap 1 hingga 3. Adapun hasil evaluasi dari laporan PT sebagai berikut:

1. Fungsi laboratorium batubara PLTU Teluk Balikpapan dapat **dikembangkan untuk mendukung operasi** pembangkit dari sebelumnya hanya mengecek batubara yang dibeli dari pihak luar. Pengembangan fungsi laboratorium batubara seperti melakukan analisis distribusi ukuran partikel batubara yang masuk dan keluar crusher. Hal ini akan menjadi bahan evaluasi terhadap kinerja crusher sehingga langkah lanjutan dapat dilakukan untuk optimalisasi kinerja crusher dalam mendukung penyediaan batubara berkualitas.
2. Nilai kandungan air batubara diatas 40 % menunjukkan penanganan batubara di coal stackyard belum optimal. Perlu dilakukan **pengecekan secara berkala oleh tim laboratorium batubara** untuk memastikan tidak terjadi genangan air saat mentransportasikan batubara ke area crusher.
3. Alat ukur untuk laju alir batubara, laju alir udara sekunder serta komposisi O<sub>2</sub> **perlu dikalibrasi kembali untuk memastikan nilai -nilai terukur sudah tepat** sehingga langkah lanjutan perbaikan bisa dilakukan.
4. Laporan efisiensi termal untuk parameter NPHR, efisiensi termal dan efisiensi boiler dapat dijadikan dasar dalam melakukan program **continuous improvement** untuk peningkatan kinerja pembangkit PLTU Teluk Balikpapan.



## KATA PENGANTAR

PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkit dan Penyaluran Kalimantan telah memberikan kesempatan kepada PT LAPI ITB untuk melakukan evaluasi secara mendalam terhadap beberapa pembangkit yang menggunakan teknologi circulated fluidized bed (CFB) Boiler. Pada tahun pertama ini dilakukan evaluasi terhadap operasi di unit pembangkit CFB PLTU Teluk Balikpapan dengan dimulai sejak Juli 2020. Pada tahap 1 dilakukan kajian komprehensif pengaruh kondisi batubara serta crusher terhadap kinerja unit. Selanjutnya pada tahap kedua ini dilanjutkan evaluasi data operasi unit terhadap kinerja pembangkit. Pada tahap ketiga dilakukan analisis pada salah satu bagian yang paling kritis yaitu area loop seal. Kemudian pada tahap keempat ini, tim PT LAPI ITB melakukan analisis terhadap laporan efisiensi PT PJB UBJOM KALTIM TELUK pada bulan April, Mei, Juni 2021.

Studi tahap empat oleh Tim Konsultan Ahli PT LAPI ITB bersama –sama dengan tim PLTU Teluk Balikpapan telah melakukan diskusi dan hasilnya dituangkan dalam laporan akhir ini. PT LAPI ITB mengucapkan banyak terima kasih atas kerjasamanya dan berikutnya akan dilanjutkan untuk kajian loopseal serta fluidisasi. Semoga kondisi operasi PLTU Teluk Balikpapan dapat semakin baik serta kinerja unit semakin terjamin

Konsultan Ahli PT LAPI  
Bandung, 30 Juni 2021

**Prof. Ir. Yazid Bindar, M.Sc, Ph.D**

Ahli Kepala

## DAFTAR ISI

	RANGKUMAN EKSEKUTIF	ii
	KATA PENGANTAR	iv
	DAFTAR ISI	v
	DAFTAR GAMBAR	vi
	DAFTAR TABEL	vii
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1 LATAR BELAKANG	1
	1.2 TUJUAN PEKERJAAN	2
	1.3 RUANG LINGKUNG PEKERJAAN	2
	1.4 METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN	2
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA PARAMETER KINERJA PLTU CFB	3
	2.1 NET PLANT HEAT RATE (NPHR)	4
	2.2 EFISIENSI BOILER	6
	2.3 EFISIENSI TERMAL	10
BAB III	ANALISIS DATA LAPORAN EFISIENSI APRIL – JUNI 2021	12
	3.1 DATA BATUBARA PERFORMANCE TERST	12
	3.2 ANALISIS LAJU ALIR BATUBARA	16
	3.3 ANALISIS LAJU ALIR UDARA PRIMER DAN SEKUNDER	20
	3.4 ANALISIS TEMPERATUR GAS PANAS	27
BAB IV	ANALISIS PARAMETER PERFORMANCE TEST	32
	4.1 ANALISIS BEBAN (MW)	32
	4.2 ANALISIS BATUBARA	33
	4.3 ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT	35
BAB V	KESIMPULAN	37
BAB VI	REKOMENDASI	38
	DAFTAR PUSTAKA	39
	LAMPIRAN	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Alur Proses Pekerjaan Tahap Empat untuk Analisis Laporan Efisiensi di CFB Boiler PLTU Teluk Balikpapan	2
Gambar 2	Skematik Boiler untuk Perhitungan Efisiensi	8
Gambar 3	Siklus Rankine Ideal Sederhana	10
Gambar 4	Kandungan Air untuk Batubara tahun 2018 – 2020	14
Gambar 5	Kandungan Kalor untuk Batubara tahun 2018 – 2020	14
Gambar 6	Pengaruh Efisiensi Termal (20 – 35 %) terhadap Laju Alir Batubara untuk Variasi Beban (MW) 40 – 100 MW dengan menggunakan batubara nilai kalor 4000 kkal/kg	16
Gambar 7	Hubungan Beban dengan Laju Alir dan NPHR untuk Pengolahan Data Operasi unit 1 Bulan Januari 2021	18
Gambar 8	Histogram Beban (MW) Unit 1 untuk Operasi Bulan Januari 2021	19
Gambar 9	Kebutuhan Udara Pembakaran (Total) pada Kondisi Unsur C pada batubara sebesar 43 % dengan eksese udara 25 % pada berbagai beban (MW) serta efisiensi termal	23
Gambar 10	Plotting data operasi laju alir udara primer untuk unit 1 pada pengoperasian Januari 2021	24
Gambar 11	Plotting data operasi laju alir udara sekunder untuk unit 1 pada pengoperasian Januari 2021	25
Gambar 12	Data operasi untuk monitoring oksigen pada bulan Januari 2021 (a) Unit 1 (b) Unit 2 PLTU Teluk Balikpapan	26
Gambar 13	Data operasi dari DCS untuk Boiler Combustion System Saat Performance Test April 2021 (a) Unit 1 (b) Unit 2 PLTU Teluk Balikpapan	28
Gambar 14	Data operasi Bulan Januari 2021 untuk Titik Temperatur Upper Furnace dan Siklon Side A dan B di Unit 1 PLTU Teluk Balikpapan	29
Gambar 15	Hubungan Ukuran Batubara dengan Perlakuan dan Kondisi Input serta Monitoring Hasil untuk Peningkatan Unjuk Kerja Pembangkit	31
Gambar 16	Efisiensi Termal Pembangkit Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Batubara Hasil Analisis Lab PLTU Teluk untuk PT April – Juni 2021	36
Gambar 17	Efisiensi Boiler Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Batubara Hasil Analisis Lab PLTU Teluk untuk PT April – Juni 2021	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Plant Heat Rate untuk Beberapa Teknologi Pembangkit Listrik Termal	5
Tabel 2	Data Analisis Proksimat Batubara untuk Uji Kinerja Unit 1 dan 2 pada bulan April, Mei dan Juni 2021	12
Tabel 3	Data Anaisa Ultimate Batubara untuk Uji Kinerja Unit 1 dan 2 pada bulan April, Mei dan Juni 2021	15
Tabel 4	Pengaruh Efisiensi terhadap Laju Konsumsi Batubara serta Biaya Produksi Pembangkitas serta Laju Alir CO <sub>2</sub> .	17
Tabel 5	Data nilai kalor (kkal/kg), laju alir batubara (ton/jam), laju alir steam (ton/jam), beban (MW) serta NPHR saat Performance Test Unit 1 dan 2 Bulan April – Juni 2021 di PLTU Teluk Balikpapan	20
Tabel 6	Laju Alir Batubara, Udara Primer, Udara Sekunder serta Total Udara untuk Pengoperasian Unit 1 Saat Performance Test Bulan April hingga Juni 2021	22
Tabel 7	Laju Alir Batubara, Udara Primer, Udara Sekunder serta Total Udara untuk Pengoperasian Unit 2 Saat Performance Test (PT) Bulan April hingga Juni 2021	22
Tabel 8	Kenaikan Daya Listrik (kW) Saat Performance Test (PT) Bulan April – Juni 2021 Dibandingkan Dengan Kondisi Komisioning	25
Tabel 9	Temperatur Gas Panas pada Beberapa Lokasi di Furnace, Siklon dan Loop Seal saat dilakukan Performance Test (PT) April – Juni 2021	30
Tabel 10	Perbandingan Auxiliary Power saat Performance Test April – Juni 2021 terhadap Data Design untuk Unit 1 dan 2 PLTU CFB Teluk Balikpapan	33
Tabel 11	Analisis Efisiensi Pembangkit Berdasarkan Data Laporan Efisiensi Bulan PLTU Teluk	34

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1. LATAR BELAKANG**

PLTU CFB Teluk Balikpapan menggunakan teknologi pembangkit listrik tenaga uap dengan sistem fluidisasi tersirkulasi. Teknologi boiler CFB memiliki beberapa kelebihan antara lain keleluasan dalam penggunaan berbagai macam bahan bakar, penyiapan bahan bakar yang sederhana, tingkat efisiensi pembakaran yang tinggi, ramah terhadap lingkungan. Dengan kelebihan tersebut maka CFB diharapkan memiliki kinerja yang baik saat digunakan. Parameter penting untuk kinerja suatu pembangkit sistem termal adalah efisiensi boiler dan efisiensi termal. Efisiensi boiler sangat dipengaruhi oleh kualitas batubara yang digunakan, kinerja pembakaran batubara serta kinerja perpindahan panas di ruang pembakaran. Adapun efisiensi termal dalam suatu pembangkit tidak hanya dipengaruhi oleh boiler tetapi juga dipengaruhi sistem pada pembangkit termal tersebut yaitu kinerja boiler, turbin, kondensor serta unit pendukung lainnya.

PLTU CFB Teluk Balikpapan telah melakukan uji kinerja pembangkit setiap bulan dalam bentuk laporan efisiensi. Dalam laporan tersebut tersampaikan beberapa indikator kinerja dari pembangkit yaitu Net Plant Heat Rate (NPHR), Efisiensi Termal, Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan serta Auxillary Power. Beberapa indikator tersebut dibandingkan dengan kondisi saat dilakukan komisioning sehingga perubahan kinerja pembangkit dapat dianalisis setiap bulannya. Dengan adanya laporan efisiensi bulan tersebut maka kinerja dari PLTU CFB Teluk Balikpapan dapat terjaga serta permasalahan dalam pengoperasian bisa segera diatasi.

Tim LAPI ITB telah melakukan analisis dalam 3 tahapan sebelumnya yaitu analisis kualitas batubara, analisis data operasi serta analisis kinerja area loop seal. Dari 3 tahapan tersebut, terlihat bahwa kinerja dari PLTU Teluk Balikpapan belum optimal sesuai dengan kondisi saat komisioning. Pada tahap empat ini akan dilakukan analisis terhadap laporan efisiensi PLTU CFB Teluk Balikpapan pada bulan April, Mei dan Juni. Dari analisis laporan efisiensi 3 bulan tersebut dapat memperkuat hasil analisis tahapan sebelumnya serta memperkuat langkah - langkah perbaikan yang telah direkomendasikan pada laporan sebelumnya.

## 2. TUJUAN PEKERJAAN

Tujuan pekerjaan tahap empat ini adalah analisis laporan efisiensi PLTU Teluk Balikpapan bulan April hingga Juni 2021

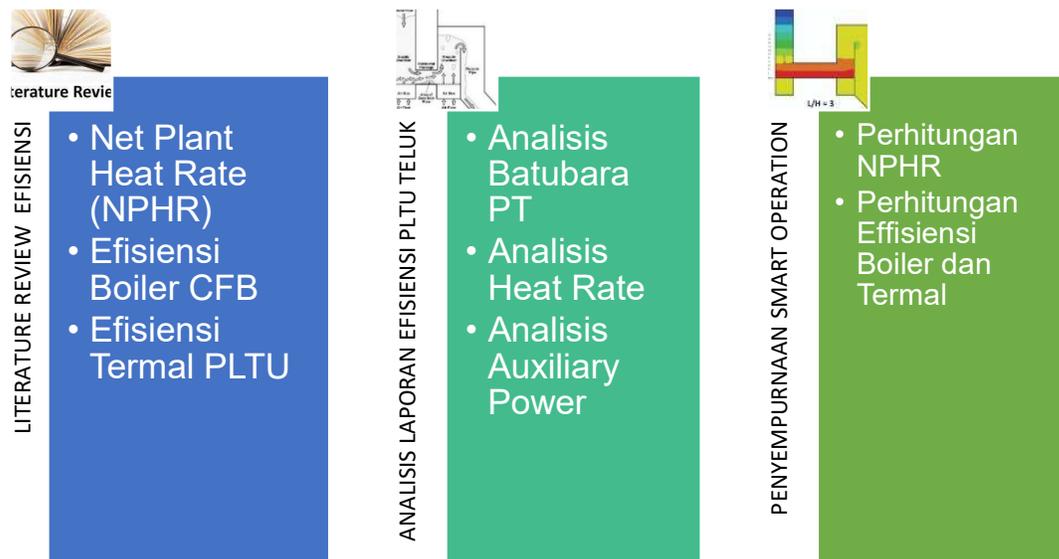
## 3. RUANG LINGKUP PEKERJAAN

Ruang lingkup pekerjaan ini meliputi :

1. Analisis Batubara untuk Performance Test (PT)
2. Analisis Data Operasi Performance Test serta
3. Analisis Data Kinerja Pembangkit (Efisiensi Boiler dan NPHR)
4. Rekomendasi

## 4. METODE PELAKSANAAN PEKERJAAN

Tujuan pekerjaan diatas dapat dicapai dengan pelaksanaan pelaksanaan pekerjaan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Proses Pekerjaan Tahap Empat untuk Analisis Laporan Efisiensi di PLTU CFB Boiler Teluk Balikpapan

**a. Studi Literatur tentang parameter unjuk kerja pembangkit termal (NPHR, Efisiensi Boiler dan Termal)**

Pada bagian studi literatur ini diperlukan untuk mendapatkan informasi yang terkait dengan NPHR, Efisiensi Boiler serta Efisiensi Termal. Adapun pada bagian studi literatur ini akan disampaikan hal berhubungan dengan korelasi serta data-data yang diperlukan untuk mendapatkan NPHR, Efisiensi Boiler serta Efisiensi Termal. Korelasi tersebut juga dilakukan analisis untuk mengamati parameter yang berpengaruh terhadap kinerja pembangkit secara keseluruhan sehingga kondisi ini nanti dibandingkan dengan data-data hasil perhitungan yang terdapat pada laporan Efisiensi PLTU CFB Teluk Balikpapan. Pada studi literatur ini juga disampaikan tentang hal-hal menyebabkan menurunnya kinerja dari suatu pembangkit CFB dari parameter sehingga kondisi ini bisa dihubungkan dengan kondisi lapangan berdasarkan laporan efisiensi serta analisis data operasi yang sudah pernah disampaikan sebelumnya.

**b. Analisis Laporan Efisiensi PLTU CFB Teluk Balikpapan**

Pada tahapan ini, tim LAPI akan melakukan analisis laporan efisiensi secara komprehensif mulai dari Pencapaian kinerja NPHR, Heat rate analysis, Auxiliary power analysis, Trending dan Pemodelan serta rekomendasi dari laporan tersebut. Adapun bulan dari laporan efisiensi yang dianalisis adalah April, Mei dan Juni 2021. Dari laporan ini akan dibandingkan dengan data operasional dalam satu bulan yang lengkap yaitu data Januari 2021 sehingga laporan efisiensi itu akan lebih bisa sesuai antara kinerja panjang di bulan Januari 2021 serta laporan efisiensi yang diambil dalam rentang singkat.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

### PARAMETER KINERJA PLTU CFB

Tinjauan Pustaka untuk parameter kinerja dari PLTU CFB ini diperlukan untuk memberikan kondisi umum dari kinerja pembangkit saat dioperasikan. Adapun parameter kinerja yang dijelaskan pada bagian ini adalah NPHR, efisiensi boiler serta efisiensi termal. Pemahaman yang baik terhadap 3 parameter kinerja PLTU CFB akan memperkuat dari sisi operasi dan pemeliharaan pembangkit.

#### 2.1 NET PLANT HEAT RATE (NPHR)

Firing rate dari hasil pembakaran bahan bakar di boiler sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar serta proses pembakaran. Pada bahan bakar padat, proses pembakaran lebih kompleks karena proses pembakaran bisa terjadi secara homogen dan heterogen. Pembakaran heterogen pada batubara terjadi antara kandungan karbon pada batubara dengan udara saat kandungan zat terbang sudah semakin sedikit. Kandungan karbon sisa inilah yang menjadi indikator awal untuk kinerja dari proses pembakaran termasuk di boiler pembangkit termal. Kinerja dari pembakaran di boiler ini akan berpengaruh terhadap kinerja pembangkit.

Pada pembangkit termal dengan menggunakan batubara sebagai bahan bakar akan terkonversi lebih lanjut kandungan energi tersebut menjadi listrik di turbin. Pada pembangkit termal termasuk PLTU CFB mengupayakan agar energi dari hasil pembakaran bahan bakar (Firing rate) dapat menghasilkan energi listrik tinggi (kWh). Parameter ini sering disebut dengan **Plant Heat Rate (PHR)** yang menjadi indikator awal kinerja dari suatu pembangkit. Nilai PHR berbanding terbalik dengan nilai efisiensi termal dari suatu pembangkit. Nilai PHR yang tinggi akan memiliki nilai efisiensi termal yang rendah.

$$PHR = \frac{m_{coal} \times HHV}{GGO} \quad (1)$$

$m_{coal}$  = laju alir batubara (kg/jam)

HHV = nilai kalor dari batubara (kkal/kg)

GGO = gross generator output (kWh)

Tabel 1 memperlihatkan rentang nilai plant heat rate (PHR) untuk beberapa jenis teknologi pembangkit termal. Combined Cycle memiliki nilai PHR yang rendah karena teknologi combined cycle dapat memanfaatkan panas dari hasil pembakaran secara optimal pada dua turbin. Dengan rendahnya PHR maka tingkat efisiensi termal pada siklus kombinasi tinggi. Kemudian PHR dengan teknologi Coal Fired seperti PLTU CFB Teluk Balikpapan sebesar 2500 – 3000 kkal/kWh.

**Tabel 1.** Plant Heat Rate untuk Beberapa Teknologi Pembangkit Listrik Termal <sup>(3)</sup>

Thermal Power Plant Technology	Plant Heat Rate (PHR) kkal/kWh
Coal Fired Steam Turbine	2500 - 3000
Gas Fired Steam Turbine	2500 - 3300
Combined Cycle Gas Turbine	1500 -2300
Single Cycle Gas Turbine	2500 -3000

Parameter unjuk kerja pada pembangkit termal adalah variable Net PHR yaitu besaran Plant Heat Rate bersih. Besaran listrik yang dibangkitkan harus dikurangi dengan listrik (auxiliary power) yang dipergunakan untuk proses produksi seperti crusher, primary dan secondary air fan, boiler water pump, condensate pump dll. Umumnya besaran auxiliary power untuk pembangkit dengan batubara dalam rentang 7-12%. Pembangkit termal dengan kapasitas sekitar 500 MW memiliki auxiliary power sekitar 7% sedangkan pembangkit dengan kapasitas sekitar 30 MW dengan auxiliary power sekitar 12%. Dengan demikian harga net dari generator output menjadi

$$\text{Net Generator Output (NGO)} = \text{Gross Generator Output} - \text{Auxiliary Power (kWh)}$$

Dengan demikian persamaan untuk NPHR menjadi

$$NPHR = \frac{m_{coal} \times HHV}{NGO} \quad (2)$$

Dari persamaan 2 tersebut dapat dilihat bahwa nilai NPHR akan rendah apabila laju alir batubara yang dimasukkan kecil dengan nilai kalor tertentu. Tetap nilai NPHR harus mengacu standar untuk teknologi pembangkit seperti pembangkit batubara dengan asumsi auxiliary power sebesar 10% maka NPHR antara 3200 – 3800 kkal/kWh. Apabila NPHR sudah diatas 3800 kkal/kWh mengindikasikan kinerja dari pembangkit tidak optimal.

Bila dilihat dari kondisi diatas dengan asumsi HHV = 4000 kkal/kg maka nilai NPHR sangat dipengaruhi oleh laju alir umpan batubara (kg/jam). NPHR yang optimal yaitu laju alir batubara rendah dengan hasil daya (NGO) yang tinggi. Kondisi laju alir batubara rendah menunjukkan terjadi konversi yang tinggi dari batubara menjadi listrik. Batubara dapat terkonversi dengan baik apabila memenuhi beberapa kriteria utama yaitu kandungan air rendah serta ukuran batubara sesuai untuk tipe CFB Boiler. Kandungan air diusahakan maksimal 30%-berat serta ukuran maksimum untuk batubara masuk ke dalam boiler 15 mm. Selain itu Net Generator Output (NGO) bisa dikendalikan setinggi mungkin dengan mengurangi Auxiliary Power. Salah satu Auxiliary Power yang perlu dikendalikan adalah Fan yang mengalirkan udara pembakaran baik dalam bentuk primary air untuk membuat batubara terfluidakan serta secondary air untuk menyempurkan pembakaran. Udara yang sangat berlebih akan mengurangi energi yang dikonversikan menjadi listrik. Dengan demikian Fan Udara menjadi penting karena udara berlebih akan membuat NPHR menjadi tinggi akibat meningkatnya konsumsi batubara (kg/jam) serta menurunkan NGO.

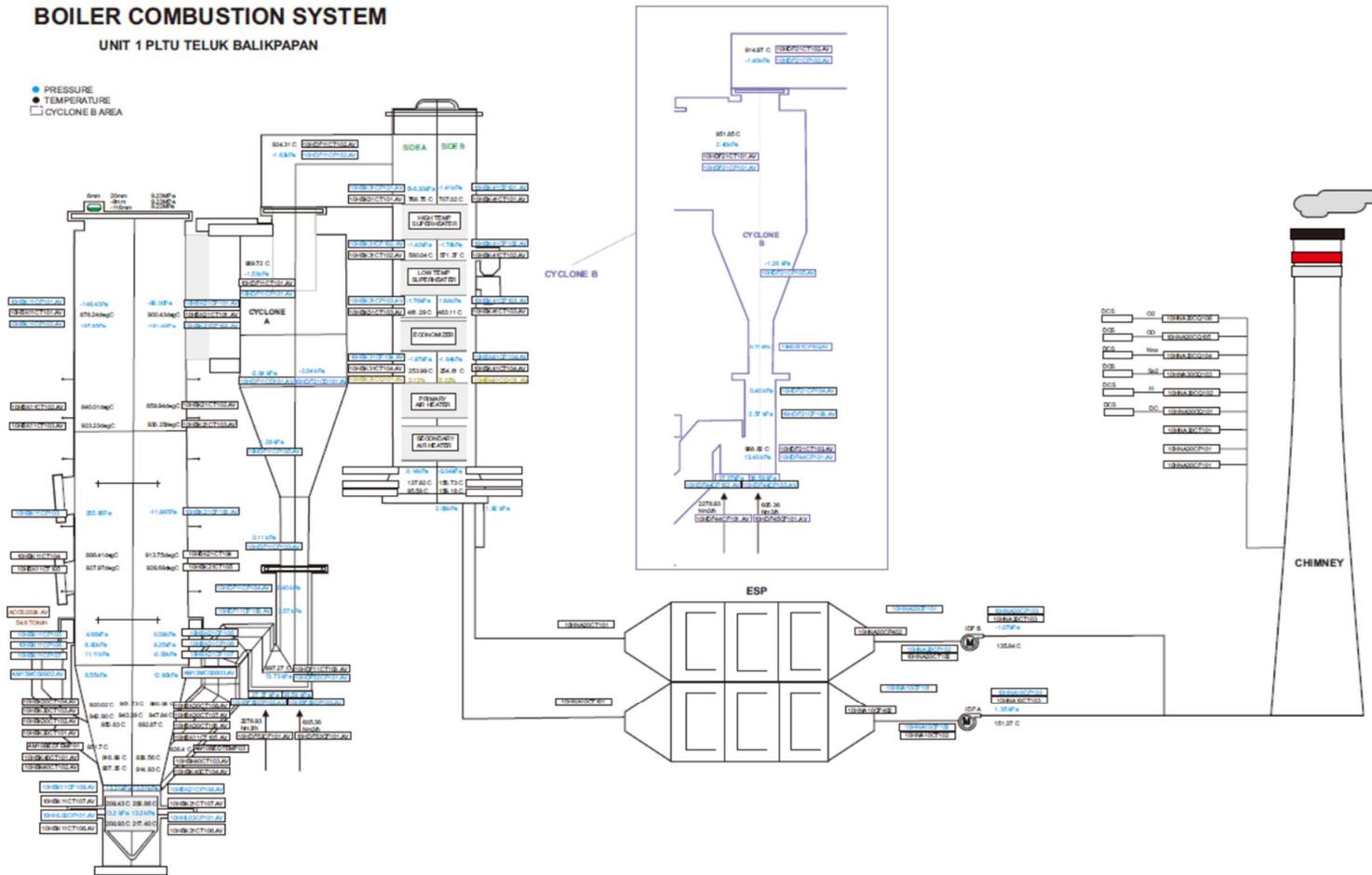
## 2.2 EFISIENSI BOILER

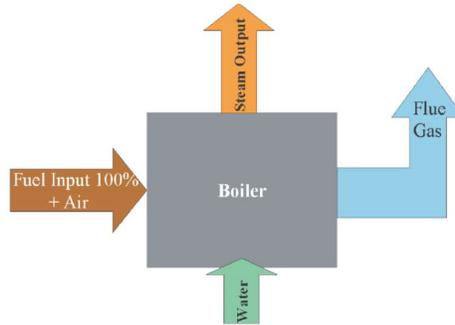
Boiler merupakan tempat terjadi perpindahan panas dari proses pembakaran bahan bakar untuk diserap panasnya oleh air hingga berubah fasa air menjadi steam. Panas pembakaran berasal dari kandungan energi yang terdapat dari bahan bakar dalam hal ini di pembangkit PLTU Teluk Balikpapan adalah batubara. Kemudian air yang telah menyimpan panas tersebut akan mengalir menuju turbin sebagai fluida penggerak untuk membangkitkan listrik. Perbandingan jumlah energi yang diserap terhadap energi yang disuplai dari proses pembakaran di boiler dinamakan dengan **Efisiensi Boiler** yang digambarkan dengan persamaan 3 sebagai perhitungan langsung.

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{absorb}}{Q_{in}} \quad (3)$$

**CODE INSTRUMENTATION  
BOILER COMBUSTION SYSTEM  
UNIT 1 PLTU TELUK BALIKPAPAN**

● PRESSURE  
● TEMPERATURE  
□ CYCLONE B AREA





Gambar 2. Skematik Boiler untuk Perhitungan Efisiensi

Adapun jumlah energi total yang diabsorpsi dapat dibuat dalam persamaan berikut ini

$$Q_{abs} = Q_{ms} + Q_{rh} + Q_{bd} \quad (4)$$

$Q_{ms}$  adalah jumlah panas yang dipindahkan ke main steam

$Q_{rh}$  adalah jumlah panas yang dipindahkan untuk reheating steam

$Q_{bd}$  adalah jumlah panas yang dipindahkan untuk blowdown

Adapun energi yang masuk ( $Q_{in}$ ) dapat dibagi dalam 2 macam yaitu

1. Energi masuk sistem boiler yang berhubungan dengan aliran bahan bakar (batubara) yaitu
  - a. Panas pembakaran dari bahan bakar ( $H_f$ )
  - b. Energi tersimpan di bahan bakar setelah proses pemanasan bahan bakar sebelum masuk ke sistem boiler ( $Q_f$ )
  - c. Energi tersimpan di udara setelah proses pemanasan udara sebelum masuk ke sistem boiler ( $Q_a$ )
2. Energi masuk sistem boiler yang tidak berhubungan dengan aliran bahan bakar yaitu
  - a. Listrik untuk aliran gas buang dan udara (Induced fan dan forced draft fan)
  - b. Listrik untuk pompa sirkulasi air

$$\eta = \frac{Q_{ms} + Q_{rh} + Q_{bd}}{H_f * m_f + Q_f + Q_a + \sum P} \quad (5)$$

atau

$$\eta = \frac{m_{ms}*(h_{ms} - h_{fw}) + m_{rh}*(h_{rh,out} - h_{rh,in}) + m_{bd}*(h_{bd} - h_{fw})}{H_f*m_f + m_f*(h_{f,out} - h_{f,in}) + m_a*(h_{a,out} - h_{a,in}) + \sum P} \quad (6)$$

Persamaan (5) dan (6) dapat disederhanakan menjadi persamaan (7) dengan asumsi energi input hanya dari pembakaran bahan bakar (batubara) serta energi yang diserap hanya untuk memanaskan air menjadi steam.

$$\eta_{boiler} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{\dot{m}_{fuel}HHV} = \frac{\dot{m}_{steam}(h_{out} - h_{in})}{\dot{m}_{fuel}HHV} \quad (7)$$

Adapun cara kedua untuk perhitungan efisiensi di boiler yaitu cara tidak langsung dengan menghitung seluruh kehilangan energi pada sistem boiler. Apabila bahan bakar yang digunakan adalah batubara maka parameter kehilangan energi sebagai berikut

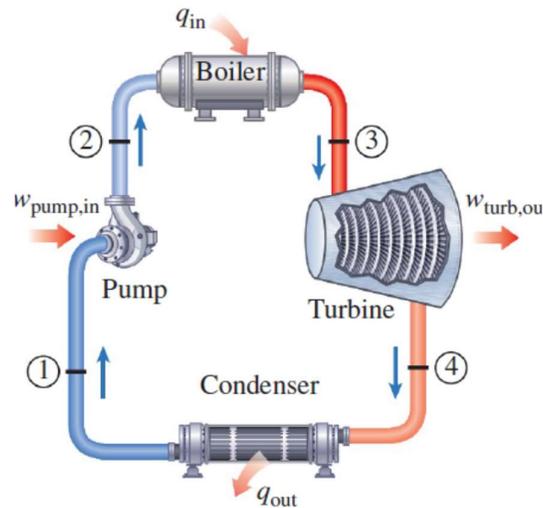
- a. Kehilangan energi terbawa pada aliran gas buang (basis kering) (Qa)
- b. Kehilangan energi akibat kandungan H<sub>2</sub> yang terbentuk menjadi air pada proses pembakaran (Qb)
- c. Kehilangan energi akibat kandungan air pada batubara sehingga ada proses penguapan (Qc)
- d. Kehilangan energi dengan adanya air di udara (humidity) (Qd)
- e. Kehilangan energi akibat konveksi, konduksi serta radiasi melalui dinding boiler (Qe)
- f. Kehilangan energi akibat pembakaran yang tidak sempurna dengan terbentuknya CO pada gas buang (Qf)
- g. Kehilangan energi akibat unburnt carbon terdapat pada bottom ash (Qg)
- h. Kehilangan energi akibat unburnt carbon terdapat pada fly ash (Qh)

$$\eta_{boiler} = 1 - \frac{(Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_h)}{Q_{in}} \quad (8)$$

## 2.2 EFISIENSI TERMAL

Sistem termal di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan sistem pada siklus rankine. Siklus rankine Sederhana seperti terlihat pada Gambar 3 terdiri atas 4 unit proses utama yaitu

1. **Pompa** untuk meningkatkan tekanan air umpan boiler
2. **Boiler** untuk meningkatkan temperatur dari air umpan boiler dan merubah fasa air dari cair menjadi uap lewat jenuh (superheated steam)
3. **Turbin uap** untuk menghasilkan kerja (listrik) dengan menurunkan tekanan uap lewat jenuh hingga menjadi kondensat (air jenuh)
4. **Kondensor** untuk menurunkan temperatur dan mengubah fasa kembali menjadi cairan jenuh



**Gambar 3.** Siklus Rankine Ideal Sederhana

Parameter penting lainnya sebagai parameter unjuk kerja dari pembangkit termal yaitu Efisiensi Termal. Adapun pengertian efisiensi termal adalah tingkatan konversi energi yang dimasukkan dalam suatu sistem termal yang berubah menjadi listrik. Adapun persamaan untuk efisiensi termal dari suatu pembangkit yaitu

$$\eta_{thermal} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \quad (9)$$

$W_{net}$  merupakan kerja netto dalam sistem siklus rankine

$$W_{net} = W_{turbin} - W_{pompa} \quad (10)$$

Persamaan untuk efisiensi termal dapat disederhanakan dengan NPHR yaitu

$$\eta_{termal} = \frac{860 \frac{kcal}{kWh}}{NPHR \frac{kcal}{kWh}} \quad (11)$$

Persamaan (11) memperlihatkan bahwa efisiensi termal berbanding terbalik dengan NPHR. Apabila NPHR rendah maka efisiensi termal menjadi tinggi dan sebaliknya NPHR tinggi maka efisiensi termal menjadi rendah. Faktor utama untuk pengendalian efisiensi termal dilakukan pada area hulu yaitu peningkatan kualitas batubara seperti rendahnya kandungan air serta penyesuaian ukuran batubara. Batubara dengan kandungan air rendah serta ukuran dapat distandarisasikan dibawah 15 mm dapat menyebabkan kualitas pembakaran meningkat. Dengan demikian pengendalian batubara menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi termal pembangkit.

### BAB III ANALISIS DATA LAPORAN EFISIENSI APRIL – JUNI 2021

Pada bagian bab ini akan didiskusikan analisis data dari laporan efisiensi PLTU Teluk Unit 1 dan 2 Balikpapan. Adapun data yang diolah meliputi data batubara yang digunakan, data NPHR serta data efisiensi boiler. Data-data dari laporan tersebut kemudian dibandingkan dengan data operasi selama 1 bulan yaitu data operasi pada bulan Januari 2021. Dari perbandingan tersebut bisa dilakukan kondisi dari pembangkit tersebut sehingga rekomendasi perbaikan dapat dilakukan.

#### 3.1 DATA BATUBARA PERFORMANCE TEST

PLTU CFB Teluk Balikpapan menggunakan batubara sebagai bahan bakar dari berbagai sumber dengan kualitas telah disampaikan pada laporan tahap 1 dari pekerjaan ini. Adapun kualitas batubara yang digunakan untuk Performance Test (PT) bulan April, Mei dan Juni dapat dilihat pada Tabel 2. Data pada Tabel 2 merupakan analisis batubara yang dilakukan di laboratorium batubara yang dimiliki oleh PLTU Teluk Balikpapan. Hasil pengujian dari laboratorium internal PLTU Teluk Balikpapan menunjukkan nilai kalor lebih rendah dibandingkan dari hasil COA yang dilakukan oleh pihak vendor.

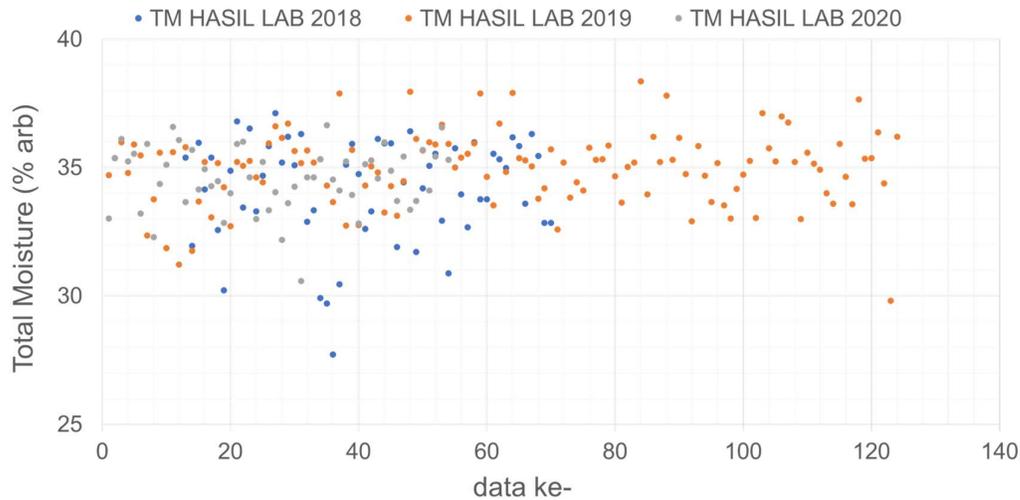
**Tabel 2.** Data Analisis Proksimat Batubara untuk Uji Kinerja Unit 1 dan 2 pada bulan April, Mei dan Juni 2021

Parameter	April		Mei		Juni	
	I	II	I	II	I	II
Total Moisture (TM)	35,09	<b>44,25</b>	RSH	35,61	36,72	34,83
Volatile Matter (VM)	33,13	28,12		31,86	31,67	32,09
Fixed Carbon (FC)	27,98	23,64		27,70	26,03	27,61
Ash	3,80	3,98		4,82	5,58	5,47
Gross Calorific Value (kkal/kg)	4111	<b>3358</b>		4001	3671	3928

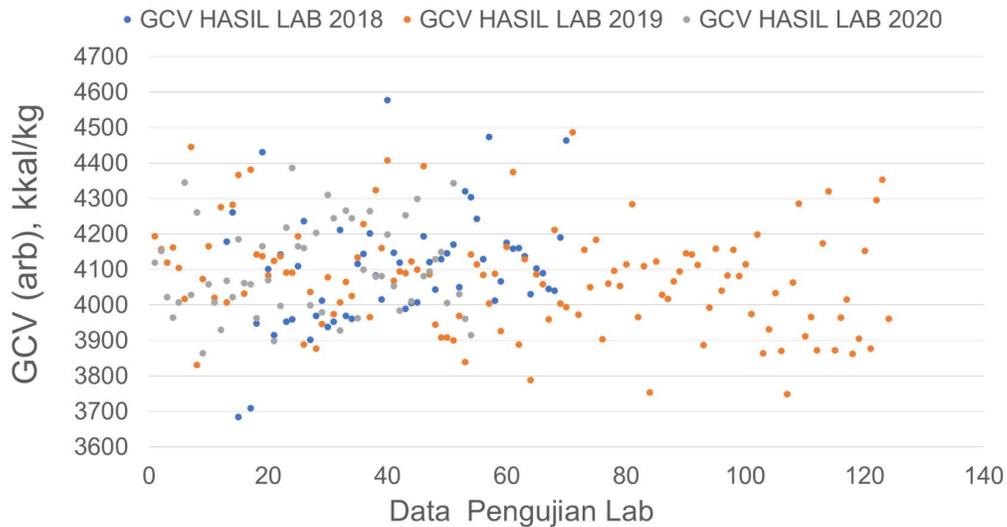
**Pada bulan April 2021**, data batubara yang digunakan untuk **PT di Unit 1 PLTU** Teluk Balikpapan sangat baik dengan nilai kalor 4111 kkal/kg. Meskipun kandungan air batubara sekitar 35 %-berat tetapi kandungan volatile matter (VM) dan fixed carbon (FC) tinggi sehingga batubara ini berkualitas baik. Adapun kandungan air dan nilai kalor dari batubara yang digunakan sebagai bahan bakar di PLTU Teluk Balikpapan dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Terlihat dari Gambar tersebut bahwa kandungan air rata-rata sebesar 35 % dengan Batasan maksimum tidak melebihi 40%. Kemudian untuk nilai kalor dari batubara dari hasil analisis laboratorium internasi PLTU Teluk Balikpapan didapatkan nilai kalor batubara secara rata-rata 4100 kkal/kg dengan acuan tidak kurang dari 3900 kkal/kg yang telah disampaikan pada laporan Tahap 1. Dengan demikian untuk performance test (PT) bulan April 2021 sudah memenuhi kriteria standarisasi batubara untuk pembakaran di boiler CFB Teluk Balikpapan.

Tetapi batubara untuk Performance Test (PT) April 2021 di Unit II PLTU Balikpapan berkualitas rendah dengan kandungan air yang tinggi sebesar 44,25 % (Tabel 2). Kandungan air yang tinggi untuk batubara Performance Test (PT) Unit 2 pada bulan April 2021 tersebut menyebabkan kandungan fixed carbon dan volatile matter menjadi rendah. Kondisi ini menyebabkan nilai kalor dari batubara menjadi rendah **sebesar 3358 kkal/kg**. Batubara dengan nilai kalor yang rendah sebesar 3358 kkal/kg harus diantisipasi dalam pola operasi karena laju alir batubara yang disuplai ke area furnace akan lebih besar dibandingkan dengan unit 1 untuk menghasilkan beban yang sama (100 MW).

Selain itu untuk data batubara saat performance test bulan April ditemukan hasil analisis dari pihak eksternal dan lab berbeda untuk nilai kalornya. Pada unit 1 dari hasil analisis eksternal nilai kalor batubara sebesar 4133 kkal/kg sedangkan laboratorium internal 4111 kkal/kg. Nilai kalor untuk unit 1 tidak terlalu berbeda dibandingkan dengan unit 2. Adapun hasil COA Unit 2 dengan menggunakan analisis eksternal didapatkan nilai kalor **sebesar 4152 kkal/kg** sedangkan dari internal sebesar 3358 kkal/kg. Perbedaan cukup jauh antara hasil lab internal dan eksternal perlu dianalisis lebih jauh untuk membuktikan kinerja dari laboratorium internasi. Hal ini bertujuan untuk pengembangan fungsi lebih luas dari laboratorium internal PLTU Teluk Balikpapan dalam rangka mensuplai data kualitas batubara untuk operasi unit boiler 1 dan 2.



**Gambar 4.** Kandungan Air untuk Batubara tahun 2018 – 2020



**Gambar 5.** Kandungan Kalor untuk Batubara tahun 2018 – 2020

Analisis proksimat batubara untuk performance test (PT) pada bulan Mei dan Juni yang terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kualitas batubara pada area batas bawah. Kondisi ini dibandingkan dengan saat batubara datang dengan kondisi nilai kalor rata-rata sebesar 4100 kkal/kg seperti terlihat pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses penyimpanan batubara di coal stockyard,

batubara mengalami degradasi kualitas terutama naiknya kandungan air dari batubara. Kondisi ini perlu diantisipasi dengan coal handling yang lebih baik dengan pengendalian genangan air pada area coal stockyard termasuk drainase untuk pembuangan air hujan. Kandungan air yang rendah pada batubara akan mempermudah dalam transportasi serta proses pembakarannya. Dengan demikian pengendalian kandungan air pada batubara harus dilakukan untuk meningkatkan kinerja pembakaran batubara.

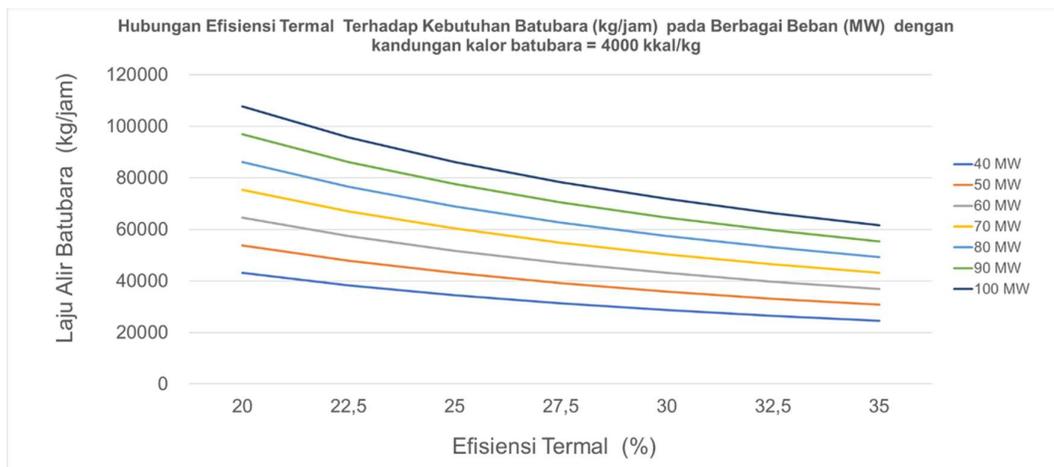
**Tabel 3.** Data Anaisa Ultimate Batubara untuk Uji Kinerja Unit 1 dan 2 pada bulan April, Mei dan Juni 2021

Parameter	April		Mei		Juni	
	I	II	I	II	I	II
C	43,05	<b>35,62</b>	RSH	42,49	39,06	41,52
H	3,27	2,63		3,07	2,97	3,13
N	0,57	0,54		0,65	0,52	0,58
S	0,12	0,32		0,52	0,56	0,75
O	14,11	12,65		12,84	14,59	13,72
Air	35,09	44,25		35,61	36,72	34,83
Abu	3,80	3,98		4,82	5,58	5,47
Gross Calorific Value (kkal/kg)	4111	<b>3358</b>		4001	3671	3928

Selain analisis proksimat, batubara juga dilakukann analisis ultimate untuk mengetahui kandungan unsur-unsur C, H, N, S dan O serta air dan abu. Kandungan unsur C, H dan O diperlukan untuk mengetahui kebutuhan udara stokhiometri dari proses pembakaran batubara serta unsur N dan S untuk mengetahui dampak terhadap lingkungan terhadap. Adapun unsur air dan abu yang tinggi berdampak terhadap nilai kalor batubara yang menurun seperti terlihat pada Tabel 3.

### 3.2 ANALISIS LAJU ALIR BATUBARA

Data nilai kalor dari batubara pada pembahasan sebelumnya digunakan untuk menghitung kebutuhan batubara pada tingkat beban tertentu serta efisiensi termal tertentu. Gambar 6 memperlihatkan hasil perhitungan untuk mendapatkan laju alir batubara pada tingkat efisiensi 20 hingga 35% dengan beban pembangkit dari 40 hingga 100 MW dan berbasiskan batubara yang digunakan memiliki nilai kalori 4000 kkal/kg. Terlihat dari gambar tersebut bahwa efisiensi rendah (20%) membutuhkan jumlah batubara tertinggi untuk setiap beban (MW) yang dihasilkan. Pada beban 100 MW untuk efisiensi 25% membutuhkan batubara lebih dari 86000 kg/jam sedangkan untuk efisiensi 30% membutuhkan batubara sebesar 71000 kg/jam. Dengan meningkatkan efisiensi dapat menurunkan konsumsi batubara sehingga biaya produksi pembangkitan (BPP) menjadi turun (Tabel 4). Selain penurunan biaya pembangkitan, penurunan konsumsi batubara dengan terjadinya peningkatan efisiensi termal ternyata juga berakibat penurunan produksi gas CO<sub>2</sub> di gas buang.



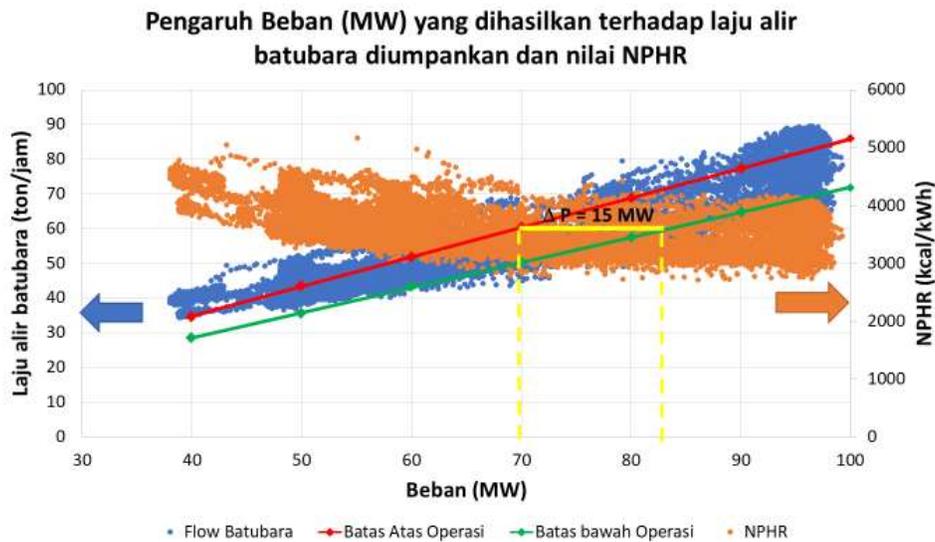
**Gambar 6.** Pengaruh Efisiensi Termal (20 – 35%) terhadap Laju Alir Batubara untuk Variasi Beban (MW) 40 – 100 MW dengan menggunakan batubara nilai kalor 4000 kkal/kg

**Tabel 4** Pengaruh Efisiensi terhadap Laju Konsumsi Batubara serta Biaya Produksi Pembangkitas serta Laju Alir CO<sub>2</sub>.

Efisiensi Termal (%)	NPHR (kcal/kWh)	Laju Alir Batubara (Ton/tahun)	Biaya Pembelian Batubara (US\$/tahun)	BPP (Rupiah/kWh)	Laju Alir CO <sub>2</sub> (Ton/tahun)
25	3440	734.079	51.385.530	851	1.158.738
30	2867	611.728	42.820.960	709	965.615
35	2457	524.338	36.703.660	608	827.671

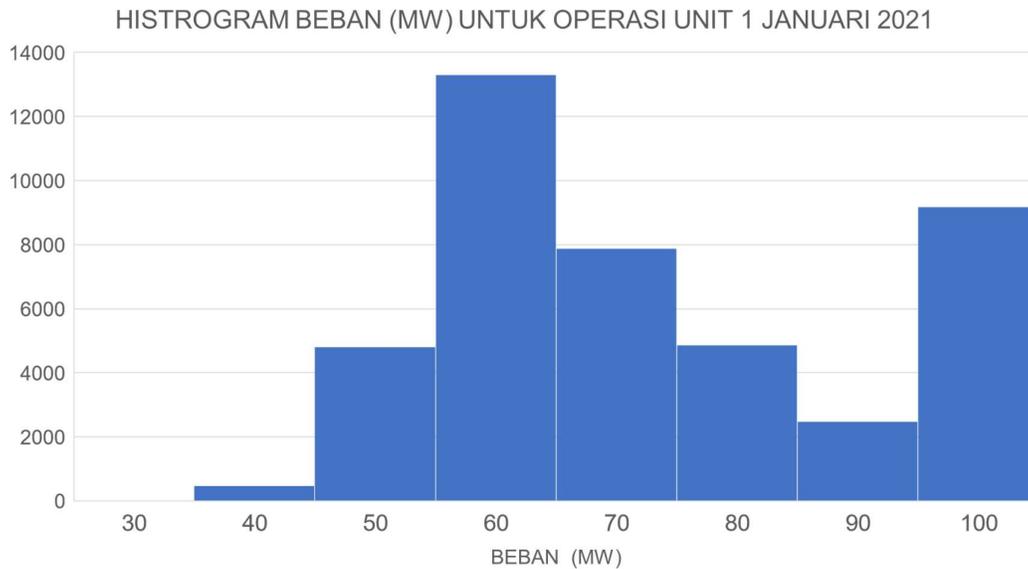
Gambar 7 memperlihatkan plot data operasi untuk hubungan antara beban yang dihasilkan (MW) terhadap laju konsumsi batubara (ton/jam) pada bulan Januari 2021 di Unit PLTU Teluk Balikpapan. Kemudian hasil perhitungan untuk beberapa titik (40,50, 60,70, 80,90 dan 100 MW) dibuatkan garis batas bawah dengan warna hijau untuk efisiensi 30 % serta batas atas operasi dengan garis warna merah untuk efisiensi 25 %. Garis dengan warna merah dan hijau ini memberikan area operasi yang optimal pada pengoperasian CFB PLTU Teluk Balikpapan. Pada area dibawah garis hijau menunjukkan bahwa pengoperasian sangat optimal sedangkan pada area di atas garis merah menunjukkan bahwa pengoperasian boros bahan bakar batu bara. Kemudian pada gambar tersebut juga diperlihatkan adanya potensi pada laju alir batubara 60 ton/jam dapat terjadi perbedaan daya yang dihasilkan sebesar 15 MW atau setara dengan 131.000.000 kWh.

Pada grafik tersebut juga diperlihatkan grafik beban (MW) terhadap NPHR dengan diberikan titik -titik warna oranye. Terlihat dari gambar tersebut bahwa pada beban rendah (kurang dari 60 MW) memiliki NPHR yang tinggi diatas 4000 kkal/kWh. Kemudian pada beban tinggi diatas 60 MW, nilai NPHR relatif stabil pada rentang 3000 – 4000 kkal/kWh. Dari sini terlihat bahwa pada beban rendah dibawah 60 MW, pembangkit beroperasi dengan laju pembakaran tinggi tetapi daya yang dihasilkan rendah. **Kondisi ini bisa disebabkan beberapa hal termasuk akses udara yang dipasok dari udara primer dan sekunder.**



**Gambar 7.** Hubungan Beban dengan Laju Alir dan NPHR untuk Pengolahan Data Operasi unit 1 Bulan Januari 2021

Analisis histrogram untuk beban (MW) di Unit 1 pada bulan Januari 2021 dapat dilihat pada Gambar 8. Terlihat pada Gambar tersebut bahwa unit 1 sering beroperasi pada beban 50-60 MW. Seperti penjelasan sebelumnya bahwa pada rentang 50 – 60 MW, NPHR terlihat sangat tinggi diatas 4000 kkal/kWh. Dengan demikian program selanjutnya mengurangi jumlah masuk batubara dengan meningkatkan laju terbakarnya batubara di dalam furnace. Salah satu factor terpenting untuk peningkatan laju terbakarnya batubara adalah ukuran batubara. **Ukuran batubara yang seragam dibawah 15 mm akan mengurangi potensi batubara untuk tidak terbakar di furnace.**



**Gambar 8.** Histogram Beban (MW) Unit 1 untuk Operasi Bulan Januari 2021

Dari data Performance Test (PT) bulan April hingga Juni untuk Unit 1 dan 2 di PLTU Teluk Balikpapan, terlihat pada Tabel 5, data nilai kalor batubara yang digunakan, laju alir batubara (ton/jam) yang disuplai ke boiler, laju steam yang dihasilkan (ton/jam) serta beban yang dihasilkan. Pada pembahasan di bagian batubara terlihat bahwa nilai kalor untuk PT pada bulan April di Unit 2 serta Juni di Unit 1 memiliki nilai kalor batubara yang rendah. Dengan nilai kalor yang rendah berakibat kebutuhan batubara yang disuplai menjadi tinggi seperti terlihat pada Tabel 5. Pada PT bulan April unit 2 disuplai batubara sebesar 84,1 ton/jam sedangkan Juni unit 1 disuplai 94,7 ton/jam. Dengan disuplai laju alir batubara yang besar berpotensi proses pembakaran tidak terjadi secara sempurna sehingga laju alir batubara terus ditingkatkan. Hal ini diperkirakan terjadi pada **PT bulan Juni untuk unit 1** dengan suplai batubara yang **sangat besar sekali** yaitu 94,7 ton/jam dan laju alir ini diluar dari operasional umumnya seperti terlihat pada Gambar 7. Terlihat dari gambar 7, tidak pernah laju alir batubara beroperasi diatas 90 ton/jam sehingga kondisi ini perlu dianalisis lebih lanjut untuk mencari penyebab suplai sebesar 94,7 ton/jam.

**Tabel 5** Data nilai kalor (kkal/kg), laju alir batubara (ton/jam), laju alir steam (ton/jam), beban (MW) serta NPHR saat Performance Test Unit 1 dan 2 Bulan April – Juni 2021 di PLTU Teluk Balikpapan

Parameter	April		Mei		Juni	
	I	II	I	II	I	II
Gross Calorific Value (kkal/kg)	4111	<b>3358</b>	RSH	<b>4001</b>	<b>3671</b>	3928
Coal Flow (ton/jam)	70,3	84,1		67,6	<b>94,7</b>	72,6
Steam Flow (ton/jam)	362,3	363,5		366,32	<b>353,6</b>	364,4
Beban (MW)	99,50	100,13		99,99	<b>98,7</b>	99,71
NPHR	<b>3303</b>	<b>3203</b>		3089	<b>4041</b>	3261

Selain itu pada data laju alir steam yang dihasilkan untuk PT bulan Juni Unit 1, besarnya dibawah dari biasanya yaitu laju alirnya lebih rendah dibandingkan dengan laju alir steam untuk kondisi PT lainnya. Pada bulan Juni tersebut dihasilkan steam sebesar 353,6 ton/jam dan lainnya diatas dari 360 ton/jam. Dampak kondisi tersebut dihasilkan NPHR yang rendah pada bulan Juni 2021 di Unit PLTU Teluk Balikpapan. Hal ini mungkin disebabkan oleh kerusakan sistem instrumentasi atau kesalahan dalam operasi. **Oleh sebab itu, bagian instrumentasi dan operasi perlu mencari akar masalah terhadap kondisi PT Juni unit 1.**

### 3.3 ANALISIS LAJU ALIR UDARA PRIMER DAN SEKUNDER

Proses pembakaran batubara pada sistem CFB dapat terjadi dengan adanya aliran udara yang membantu proses fluidisasi serta pembakaran. Adapun proses hidrodinamika fluidisasi batubara dan pasir silika terjadi dengan adanya udara primer. Kemudian proses kesempurnaan pembakaran batubara dibantu dengan adanya udara sekunder. Gabungan udara primer dan udara sekunder merupakan udara pembakaran yang bergantung dengan komposisi analisis ultimat batubara. Besaran udara primer sangat bergantung dengan jumlah batubara yang disuplai sedangkan besaran udara sekunder melengkapi proses pembakaran batubara. Makin besar laju

alir batubara berakibat laju alir primer semakin besar sedangkan laju alir udara total semakin besar dengan kandungan unsur C dan H yang tinggi di batubara.

Tabel 6 dan 7 memperlihatkan perbandingan laju alir batubara, laju alir udara primer, laju alir udara sekunder dan total udara untuk kondisi komisioning serta performance test di unit 1 dan 2. Terlihat pada Tabel tersebut adanya perubahan yang sangat significant antara kondisi performance test (PT) terhadap komisioning khususnya pada udara sekunder. Pada unit 1, saat komisioning hanya diperlukan batubara sebanyak 50 ton/jam sedangkan saat performance test disuplai hingga mencapai 97,34 ton/jam. Kondisi ini bisa disebabkan kualitas batubara yang berbeda saat dilakukan komisioning serta perlakuan terhadap batubara yang berbeda. Apabila kualitas batubara yang tersedia sama seperti sebelumnya maka perlakuan terhadap batubara yang perlu dioptimalkan. Adapun perlakuan batubara untuk meningkatkan kinerja pembangkit adalah **pengurangan kandungan air serta standardisasi batubara. Kandungan air tinggi akan menambah beban batubara sehingga** laju alir udara primer juga ditingkatkan. Kondisi ini juga diikuti oleh kandungan udara sekunder sebagai penyeimbangan proses pembakaran karena laju alir batubara yang dimasukan meningkat. Kemudian ukuran batubara yang besar juga menghambat proses fluidisasi sehingga udara primer yang dialirkan harus ditingkatkan juga dan ini bergantung pada **kapasitas maksimal dari udara primer.**

Terlihat pada Tabel 6 bahwa udara primer pada unit 1 tidak mengikuti laju alir batubara seperti terlihat untuk Performance Test (PT) bulan Juni dengan laju alir batubara yang tinggi sebesar 97,34 ton/jam tetapi laju alir udara primer lebih rendah dari PT pada bulan April 2021. Kondisi ini perlu dicek kembali apakah ada permasalahan dengan sistem instrumentasi pengukuran laju alir batubara serta laju alir udara primer. Sedangkan untuk unit 2 di Tabel 7, laju alir udara primer relative mengikuti laju suplai batubara yaitu saat laju alir batubara tertinggi sebesar 85,2 ton/jam maka udara primer juga mengikuti tertinggi lebih dari 200.000 Nm<sup>3</sup>/jam.

Kemudian untuk data laju alir udara sekunder terlihat baik untuk unit 1 dan 2 sudah berbeda jauh dengan komisioning. Laju alir udara sekunder pada unit 1 terjadi peningkatan sekitar 40 - 50 % dibandingkan dengan komisioning. Kemudian laju alir udara sekunder pada unit 2 terjadi peningkatan hingga mencapai 300 % dibandingkan dengan laju alir udara sekunder komisioning. Dengan demikian udara pembakaran yang disuplai sangat besar sekali dibandingkan kondisi stokhiometrinya. Terlihat

perbandingan kebutuhan total udara pembakaran untuk komisioning di Unit 1 sebesar 465113 Nm<sup>3</sup>/jam dengan total udara saat PT bulan Juni sebesar 526880 Nm<sup>3</sup>/jam atau saat PT suplai udara sudah melebihi 60000 Nm<sup>3</sup>/jam dibanding komisioning. Kemudian untuk unit 2, udara total untuk pembakaran saat komisioning sebesar **334004 Nm<sup>3</sup>/jam sedangkan PT bulan April 2021 sebesar 687011 Nm<sup>3</sup>/jam.** Kondisi selanjutnya perlu dicari kondisi udara secara perhitungan berdasarkan komposisi ultimat batubara.

**Tabel 6** Laju Alir Batubara, Udara Primer, Udara Sekunder serta Total Udara untuk Pengoperasian Unit 1 Saat Performance Test Bulan April hingga Juni 2021

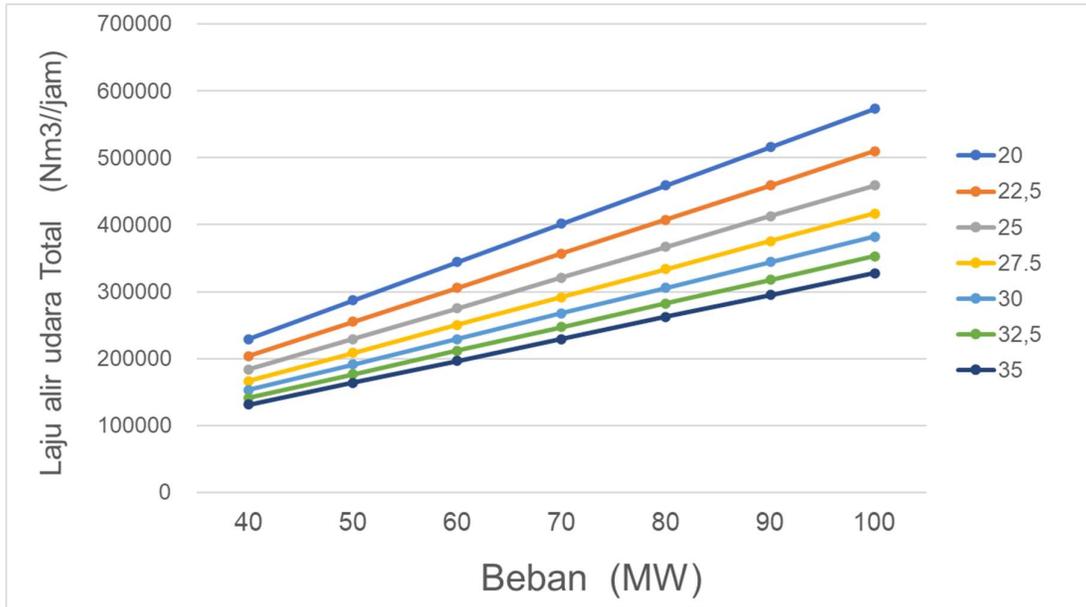
PARAMETER	SATUAN	KOMISIONING	APRIL 2021	MEI 2021	JUNI 2021
Coal Flow	Ton/Jam	50,30	70,82	<b>RSH</b>	97,34
Udara Primer	Nm3/jam	212303	201759		195179
Udara Sekunder	Nm3/jam	239265	309534		321066
Total Udara	Nm3/jam	465113	522083		526880

**Tabel 7** Laju Alir Batubara, Udara Primer, Udara Sekunder serta Total Udara untuk Pengoperasian Unit 2 Saat Performance Test (PT) Bulan April hingga Juni 2021

PARAMETER	SATUAN	KOMISIONING	APRIL 2021	MEI 2021	JUNI 2021
Coal Flow	Ton/Jam	48,7	85,223	68,641	73,092
Udara Primer	Nm3/jam	192431	217769	198574	177519
Udara Sekunder	Nm3/jam	134409	455330	431555	424232
Total Udara	Nm3/jam	334004	687011	643823	614634

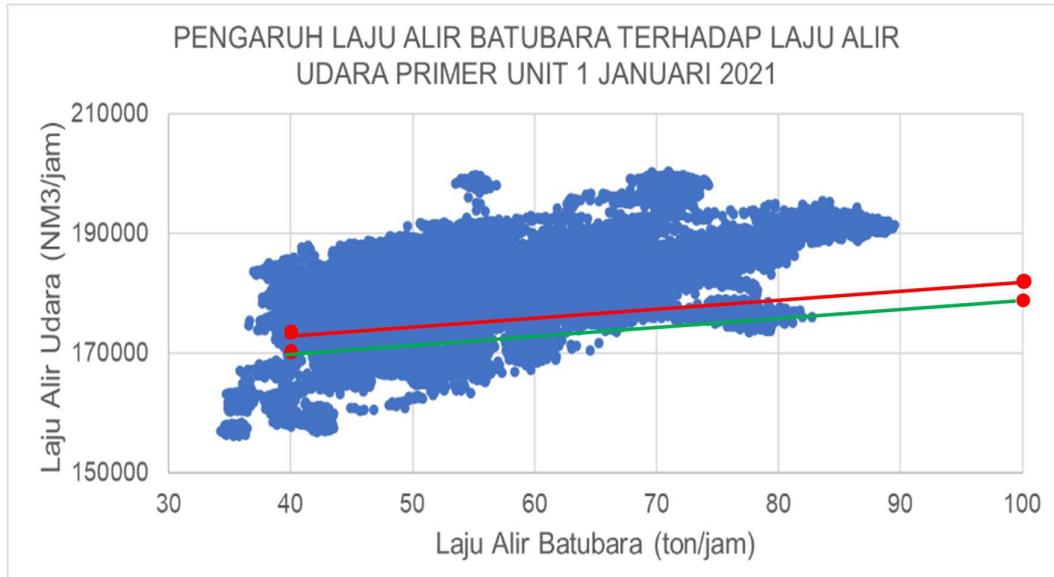
Hasil hitungan kebutuhan udara total dengan basis kandungan unsur C pada batubara sekitar 43 %-berat dan eksese udara 25 % terlihat pada Gambar 9. Pada gambar 9 itu disampaikan pada berbagai beban dari 40 hingga 100 MW serta efisiensi termal dari 20 hingga 35 %. Apabila hasil hitungan (Gambar 9) tersebut dibandingkan dengan laju alir total udara operasional (Tabel 6 dan 7) terlihat bahwa efisiensi termal operasional masih pada kondisi efisiensi termal rendah sekitar 20–22,5%. Gambar 9 bisa dijadikan sebagai dasar dalam pengoperasian dan indikasi kinerja hasil pengoperasian

sehingga efisiensi termal dapat diketahui besarnya. Dengan demikian ini bisa menjadi cara untuk menstandarisasi kebutuhan udara pembakaran pada sistem CFB PLTU Teluk Balikpapan.



**Gambar 9.** Kebutuhan Udara Pembakaran (Total) pada Kondisi Unsur C pada batubara sebesar 43 % dengan eksese udara 25 % pada berbagai beban (MW) serta efisiensi termal

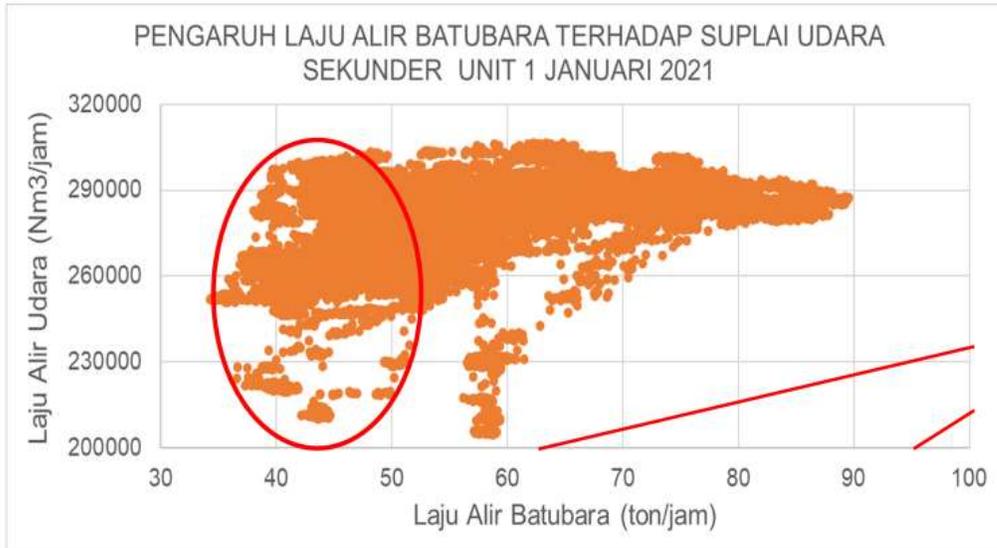
Adapun data pengoperasian laju alir udara primer selama 1 bulan penuh untuk Januari 2021 ditampilkan pada Gambar 10. Hasil dari perhitungan dengan simulasi diplotkan pada kondisi efisiensi termal 25 hingga 30 % sebagai acuan awal area operasi dengan basis nilai kalori batubara sebesar 4000 kkal/kg. Garis warna merah menunjukkan batas atas daerah optimal pengoperasian laju alir udara primer sedangkan warna hijau menunjukkan batas bawah daerah optimalnya. Terlihat pada Gambar 10, operasi udara primer terletak diatas dari area optimum. **Kondisi ini bisa terjadi apabila nilai kalor batubara yang disuplai lebih rendah dari 4000 kkal/kg. Apabila nilai kalor batubara tetap diatas 4000 kkal/kg maka ukuran batubara bisa menjadi faktor penyebab kebutuhan udara primer pada pengoperasian meningkat.**



**Gambar 10.** Plotting data operasi laju alir udara primer untuk unit 1 pada pengoperasian Januari 2021

Data operasi udara sekunder pada bulan Januari 2021 di Unit PLTU CFB Teluk Balikpapan dapat dilihat pada Gambar 11. Terlihat dalam gambar tersebut bahwa laju alir udara sekunder pada beban rendah memiliki perbedaan laju alir tertinggi terhadap terendah yang besar yaitu sekitar 100000 Nm<sup>3</sup>/jam. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pada laju alir rendah tidak dilakukan pengendalian udara primer secara baik sehingga kondisi ini akan menyebabkan excess oksigen pada gas buang menjadi tinggi sekali. Selain itu kenaikan laju alir udara pembakaran menyebabkan konsumsi daya listrik untuk **primary dan secondary air fan juga meningkat.**

Primary dan secondary air merupakan persentase terbesar pada gas buang yang dihisap oleh induced fan. Dengan laju alir udara total sekitar 600000 Nm<sup>3</sup>/jam maka komposisi flue gas yang dihasilkan sekitar 88 %-mol berasal dari udara. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju alir udara total akan berpengaruh terhadap kemampuan hisap dari induced fan. Kondisi ini diperlihatkan pada Tabel 8 bahwa laju alir udara total tinggi akan meningkatkan konsumsi listrik di secondary air fan. Kemudian kenaikan laju alir udara tersebut berakibat meningkatnya laju alir flue gas yang berdampak terhadap kenaikan konsumsi listrik di induced fan.

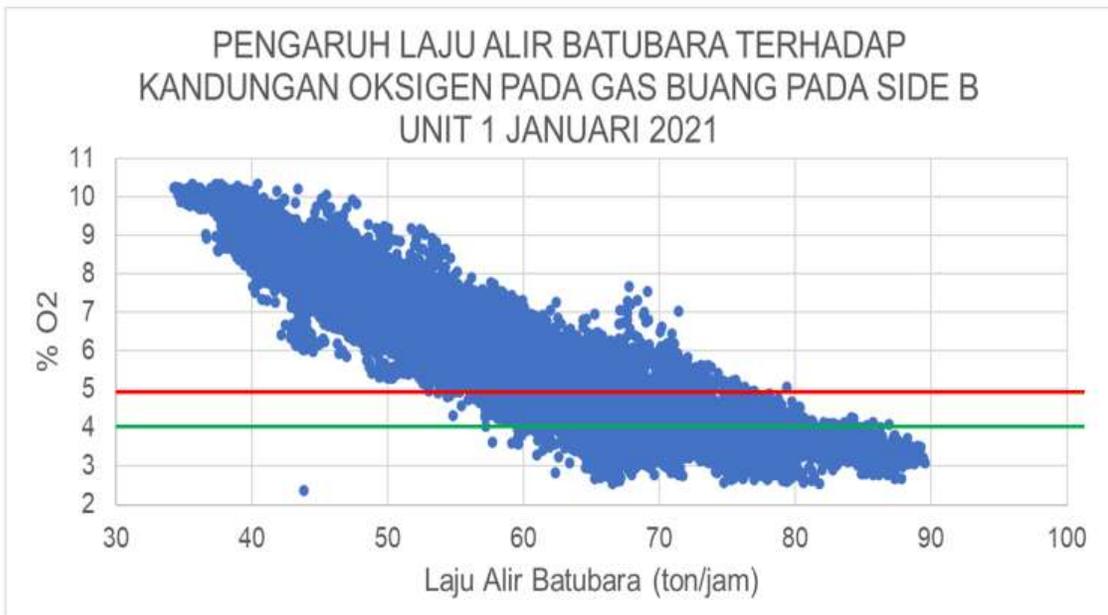
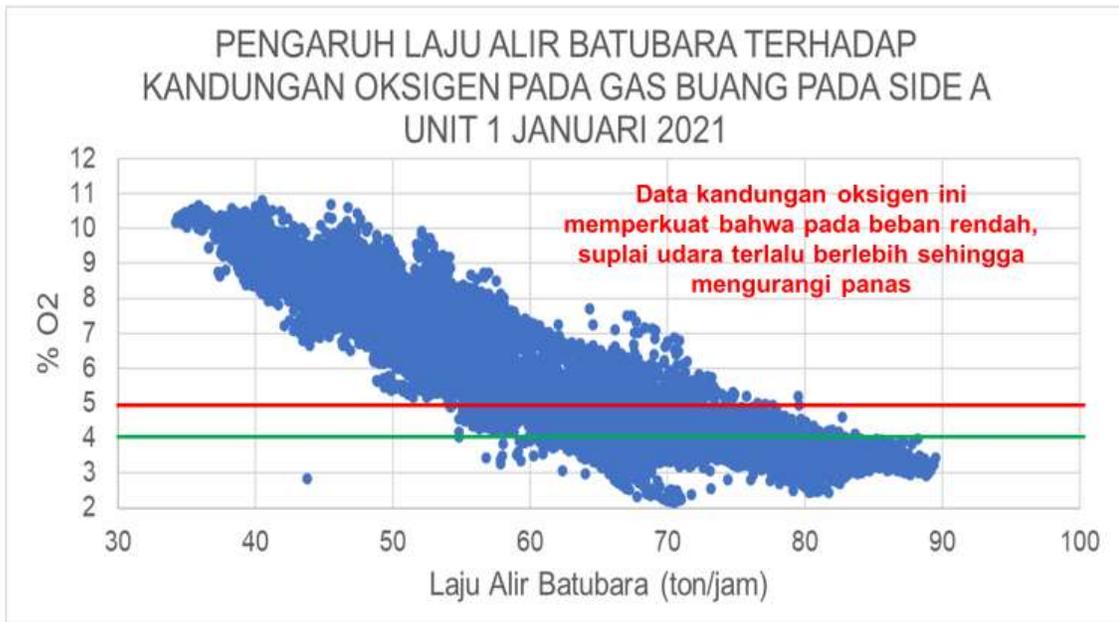


**Gambar 11.** Plotting data operasi laju alir udara sekunder untuk unit 1 pada pengoperasian Januari 2021

Laju alir udara yang berlebih dapat diindikasikan dari O<sub>2</sub> monitoring di gas buang. Kandungan oksigen yang tinggi pada gas buang mengindikasikan suplai udara pembakaran yang berlebih. Dengan demikian perlu dipastikan kemampuan dari gas analyzer termasuk O<sub>2</sub> monitoring terjaga baik. O<sub>2</sub> analyzer harus dikalibrasi secara berkala untuk mendapatkan nilai % O<sub>2</sub> yang tepat.

**Tabel 8** Kenaikan Daya Listrik (kW) Saat Performance Test (PT) Bulan April – Juni 2021 Dibandingkan Dengan Kondisi Komisioning

Parameter	April		Mei		Juni	
	I	II	I	II	I	II
Laju Alir Udara Total (Nm <sup>3</sup> /jam)	522083	687011		643823	526880	614634
Kenaikan Konsumsi Listrik Secondary Air Fan A (kW)	215	214	RSH	205	185	206
Kenaikan Konsumsi Listrik Secondary Air Fan B (kW)	101	171		189	71	170
Kenaikan Konsumsi Listrik Induced Draft Fan A (kW)	38	281		171	85	173
Kenaikan Konsumsi Listrik Induced Draft Fan B (kW)	95	57		105	121	102



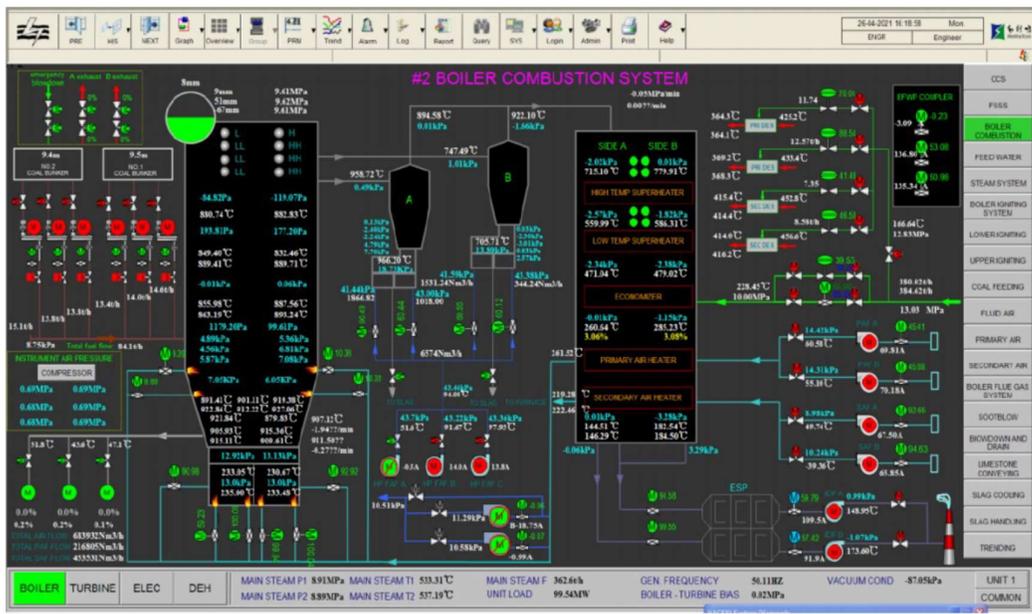
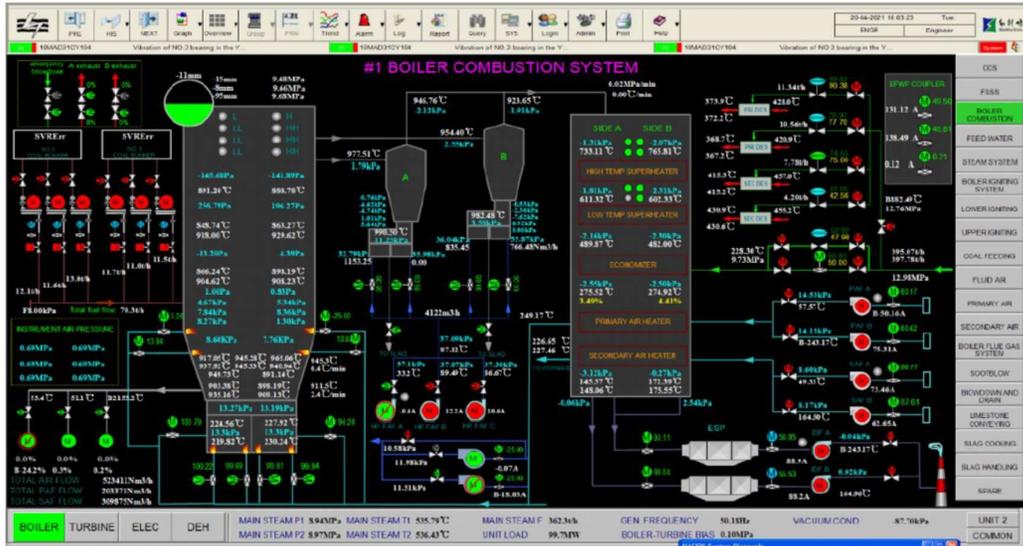
**Gambar 12.** Data operasi untuk monitoring oksigen pada bulan Januari 2021 (a) Unit 1 (b) Unit 2 PLTU Teluk Balikpapan

Kandungan Oksigen pada flue gas di PLTU Teluk Balikpapan selalu terukur dan dimonitor. Gambar 12 memperlihatkan hasil pengukuran kandungan O<sub>2</sub> di flue pada pengoperasian di bulan Januari 2021 untuk unit 1 dan 2. Pada gambar tersebut terdapat 2 garis optimum yaitu garis merah sebagai batas atas sebesar 5%-volume sedangkan garis hijau sebagai batas bawah sebesar 4%-volume. Terlihat pada gambar 12 bahwa O<sub>2</sub> yang disuplai sangat besar sekali dan baru mencapai titik optimalnya saat laju alir batubara 75 ton/jam. Kondisi ini memperkuat bahwa laju alir udara sekunder yang tinggi menyebabkan turunnya temperatur karena adanya gas inert nitrogen dalam udara. Agar temperatur naik kembali, operator akan menaikkan bahan bakar kembali hingga mencapai target temperature. Apabila ukuran batubara sudah sesuai dan memastikan temperature siklon serta loop seal tidak tinggi (diatas 850°C) maka prosesnya bisa dengan menurunkan laju alir udara pembakaran dengan pengamatan terlebih dahulu O<sub>2</sub> di gas buang.

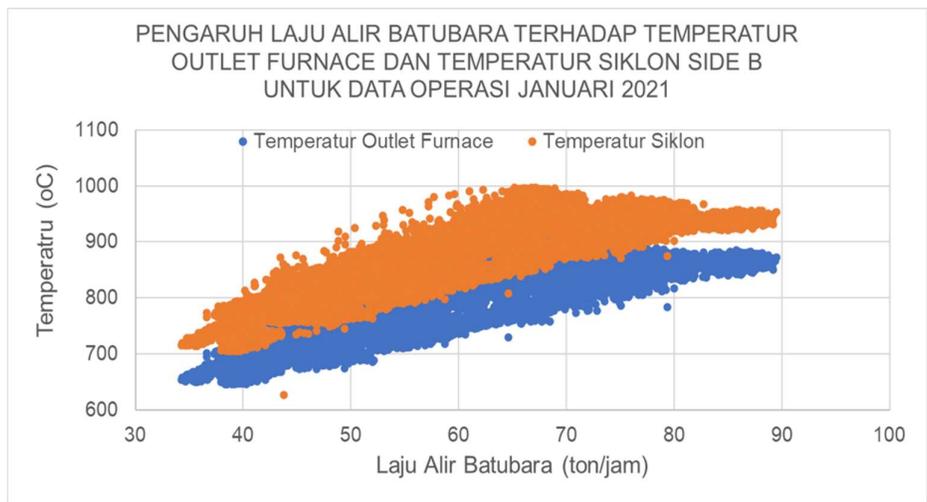
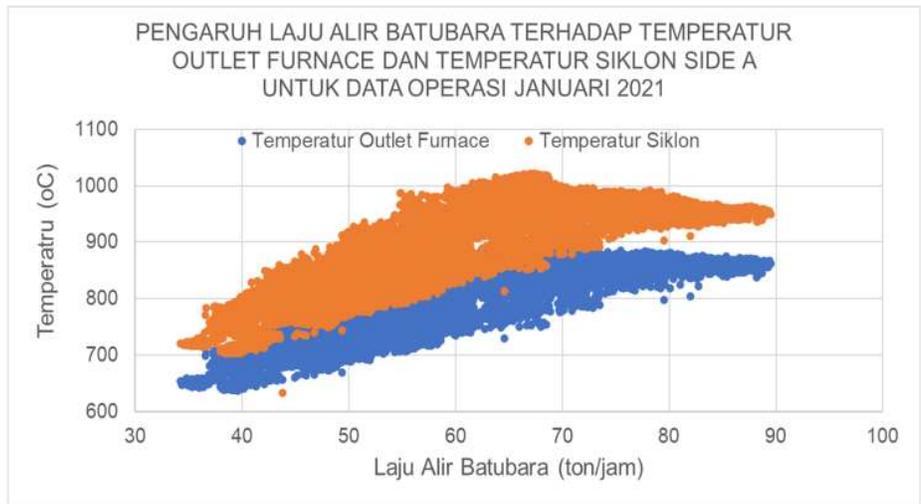
### **3.4 ANALISIS TEMPERATUR GAS PANAS**

Pada laporan performance test (PT) bulan April hingga Juni juga disampaikan kondisi operasi saat pengambilan data termasuk temperature pada beberapa lokasi. Gambar 13 memperlihatkan data operasi untuk sistem pembakaran di boiler pada Unit 1 dan 2 saat dilakukan Performance Test (PT) April 2021. Pada pengamatan temperature upper furnace serta siklon di Unit 1 terlihat adanya proses penambahan energi sehingga temperature siklon (977°C) lebih tinggi dibandingkan temperature upper furnace (891°C). Apabila sistem instrumentasi pengukuran temperatur untuk 2 posisi tersebut beroperasi dengan baik maka kondisi ini menunjukkan terjadinya proses pembakaran dari titik pengukuran upper furnace ke siklon. Hal yang sama juga terjadi pada Unit 2 di Gambar 13 bahwa temperature siklon lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur upper furnace.

Kondisi ini terlihat sama pada data operasi bulan Januari 2021 di Unit 1 dengan pengamatan pada Side A dan B titik temperature upper furnace dan siklon di Gambar 13. Secara umum temperature siklon lebih tinggi dibandingkan dengan temperature upper furnace sehingga kondisi ini memperkuat bahwa ada unburned carbon yang terbawa hingga ke area siklon dan tidak sempurna terbakar di furnace.



Gambar 13. Data operasi dari DCS untuk Boiler Combustion System Saat Performance Test April 2021 (a) Unit 1 (b) Unit 2 PLTU Teluk Balikpapan



**Gambar 14.** Data operasi bulan Januari 2021 untuk Titik Temperatur Upper Furnace dan Siklon Side A dan B di Unit 1 PLTU Teluk Balikpapan

Pengamatan untuk data beberapa titik temperature selama Performance Test (PT) terlihat di Tabel 9. Dari tabel tersebut tergambar bahwa temperature area furnace relative stabil pada beberapa lokasi dengan kecenderungan pada lokasi middle furnace lebih rendah dibandingkan dengan upper dan lower furnace. Kondisi ini bisa terjadi karena posisi middle furnace dekat dengan area masuknya udara sekunder. Hal yang perlu menjadi perhatian, apabila temperature lower furnace menjadi tinggi dan ini indikasi terjadi pembakaran pada area bed furnace yang disebabkan karena ukuran batubara yang terlalu besar dan tidak terfluidakan dengan baik.

**Tabel 9** Temperatur Gas Panas pada Beberapa Lokasi di Furnace, Siklon dan Loop Seal saat dilakukan Performance Test (PT) April – Juni 2021

Lokasi	April		Mei		Juni	
	I	II	I	II	I	II
Lower Furnace	866	855	RSH	896	845	883
Middle Furnace	848	849		899	794	889
Upper Furnace	891	880		899	842	882
Upper Siklon	977	958		998	923	993
Loop Seal	990	966		993	933	990

Berdasarkan hasil analisis kondisi batubara, operasi serta temperature dapat dilihat bahwa kinerja dari PLTU Teluk Balikpapan dapat ditingkatkan. Adapun peningkatan kinerja pembangkit sangat bergantung dengan kondisi input terutama ukuran dari batubara yang digunakan. Terlihat pada Gambar 15, penguatan sektor input terutama pembelian batubara, coal handling serta penguatan laboratorium batubara untuk mendapatkan ukuran batubara yang terstandarisasi dibawah 15 mm. Selanjutnya kondisi ini bisa dimonitor pada beberapa lokasi temperature, O<sub>2</sub>, tekanan.



**Gambar 15.** Hubungan Ukuran Batubara dengan Perlakuan dan Kondisi Input serta Monitoring Hasil untuk Peningkatan Unjuk Kerja Pembangkit

## BAB IV

### ANALISIS PARAMETER PERFORMANCE TEST

Pada bagian ini akan disampaikan hasil analisis parameter kinerja pembangkit berupa efisiensi boiler, efisiensi termal dan NPHR yang tertuang dalam laporan efisiensi bulan April hingga Juni 2021. Tim LAPI ITB juga melakukan perhitungan parameter kinerja pembangkit tersebut yang tertuang dalam Tabel 10 dimulai dari analisis Power, Batubara, Steam dan Performance.

#### 4.1 Analisis Beban (MW)

Pada analisis beban yang dihasilkan saat performance test (PT) secara umum hampir sama antara unit 1 dan 2 baik untuk bulan April, Mei dan Juni 2021 (Tabel 11). Terlihat pada Tabel 10 juga besaran auxiliary power untuk masing- masing unit terletak antara 13.14 – 13.93 % dari gross generation output (GGO) sehingga Net Power yang dihasilkan antara 84 – 87 MW. Nilai auxiliary power ini berhubungan dengan kinerja secara net dari pembangkit yang dinamakan dengan Net Plant Heat Rate (NPHR) seperti dijelaskan pada persamaan 2 di Bab 2 pada laporan ini.

Analisis lebih lanjut terhadap auxiliary power aktual dibandingkan dengan kondisi saat design seperti terlihat pada Tabel 10. Terlihat untuk seluruh performance test (PT) terjadi peningkatan sebesar lebih dari 1000 kW sehingga kondisi ini perlu penanganan lebih lanjut untuk mengurangi kenaikan konsumsi auxiliary power. Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa kenaikan konsumsi auxiliary power disebabkan kenaikan konsumsi pada secondary air fan dan induced draft fan. Salah satu penyebab kenaikan secondary air fan dan induced draft fan adalah ukuran batubara yang belum standar. **Apabila auxiliary power dapat dikurangi maka beban bersih yang dihasilkan akan meningkat dan ini meningkatkan kinerja pembangkit PLTU CFB Teluk Balikpapan.**

**Tabel 10** Perbandingan Auxiliary Power saat Performance Test April – Juni 2021 terhadap Data Design untuk Unit 1 dan 2 PLTU CFB Teluk Balikpapan

PARAMETER	DESIGN	APRIL 2021	MEI 2021	JUNI 2021
UNIT 1	8475,74	9520	RSH	9512
UNIT 2	8547,54	9526	9606	9510

## 4.2 Analisis Batubara

Pada penjelasan di Bab 3 bagian 3.1 untuk batubara disampaikan bahwa nilai kalor batubara hasil analisis dari laboratorium batubara PLTU Teluk Balikpapan bisa diandalkan. Terlihat pada performance test pada bulan April di Unit 2 hasil dari laboratorium eksternal tinggi sekali (4152 kkal/kg) sedangkan lab internal didapatkan nilai yang rendah (3358 kkal/kg). Tetapi konsumsi batubara yang besar pada kondisi tersebut 85,223 ton/jam seperti terlihat pada Tabel 10 menjadi indikasi kuat bahwa laboratorium internal PLTU Teluk Balikpapan lebih tepat hasilnya. **Dengan demikian perlu diperkuat laboratorium batubara PLTU Teluk Balikpapan sebagai pendukung untuk operasi pembangkit.**

**Tim LAPI ITB mengusulkan agar Laboratorium Batubara PLTU Teluk Balikpapan dapat berkembang fungsinya untuk melayani kebutuhan tim operasi. Adapun layanan yang dapat diberikan adalah analisis secara komprehensif terhadap batubara yang akan masuk ke crusher, keluar crusher serta keluar silo batubara.** Kondisi ini dapat dilakukan dalam rentang waktu tertentu seperti tiap shift sehingga kinerja dari coal handling dan coal crusher dapat dioptimasi apabila terjadi permasalahan dengan kualitas batubara.

Tahapan awal yang dapat dilakukan oleh tim laboratorium batubara adalah mengecek distribusi partikel batubara yang dihasilkan oleh crusher. Ini bisa dilakukan dengan mengambil 3X sampel untuk tiap shift pada rentang waktu 2 minggu sehingga jumlah sampel tiap hari sebanyak 9 buah sampel tiap hari atau 126 sampel selama 2 minggu. **Hasil dari sampel tersebut bisa dijadikan dasar dalam menilai kinerja crusher aktual. Selanjutnya langkah-langkah perbaikan kinerja crusher dapat terus dilakukan dalam rangka memperbaiki kinerja pembangkit secara keseluruhan.**

Tabel 11

## Analisa Efisiensi Pembangkit berdasarkan Data Laporan Efisiensi Bulanan PLTU Teluk

No	Parameter	April 2021		Mei 2021		Juni 2021	
		Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2
1	<b>Power</b>						
	Daya Gross [MW]	99.7	100.13	off	100.63	98.7	99.71
	Daya Nett [MW]	86.60	86.97		87.10	84.95	85.82
	Aux Power [kW]	9,519.81	9,525.97		9,606.25	9,511.86	9,509.46
	Aux Power Total [%]	13.14	13.14	off	13.45	13.93	13.93
	Aux Power Total [kW]	13,100.6	13,157.1		13,534.7	13,748.9	13,889.6
2	<b>Coal</b>						
	GCV (COA) [kcal/kg]	4,133.0	4,152.0		4,094.0	3,986.0	4,159.0
	GCV (Lab) [kcal/kg]	4,111.0	3,358.0		4,001.0	3,678.0	3,928.0
	MFR Coal [kg/hr]	70,820.0	85,223.0	off	68,641.8	97,340.0	73,092.5
3	<b>Steam</b>						
	MFR Steam [Ton/hr]	362.3	362.6		368.3	353.6	364.4
	<b>To Turbine</b>						
	Tekanan Steam 1 [Mpa]	8.94	8.91	off	9.51	8.67	8.82
	Tekanan Steam 2 [Mpa]	8.97	8.89	off	9.49	8.9	8.8
	Temperature Steam 1 [degC]	535.79	533.31	off	532.55	537.96	535.79
	Temperature Steam 2 [degC]	536.43	537.19	off	537.91	534.33	541.51
	Entalpi Steam 1 [kJ/kg]	3,475.93	3,470.10		3,461.81	3,482.03	3,477.19
	Entalpi Steam 2 [kJ/kg]	3,477.20	3,479.92		3,475.43	3,472.84	3,491.52
	<b>From Condenser</b>						
	Tekanan Air [Mpa]	12.9	12.9	off	10.57	9.62	9.92
	Temperature Air [degC]	228	228	off	230.51	227.34	229.31
	Entalpi Air [kJ/kg]	982.77	982.77		993.72	978.85	988.02
	Energi Penguapan Steam [kJ/hr]	903,271,505.7	901,905,495.4		908,998,283.6	885,123,033.6	907,054,276.8
4	<b>Performance</b>						
	NPHR (COA) [kcal/kWh]	3,379.92	4,068.46	0	3,226.58	4,567.30	3,542.18
	NPHR (Lab) [kcal/kWh]	3,361.93	3,290.44	0	3,153.28	4,214.38	3,345.44
	Efisiensi Termal (COA) [%]	25.5%	21.2%	0	26.7%	18.9%	24.3%
	Efisiensi Termal (Lab) [%]	25.6%	26.2%	0	27.3%	20.4%	25.7%
	Boiler Efisiensi [%]	74.2%	75.4%	0	79.2%	59.1%	75.6%
	Input data						
calculated parameter							

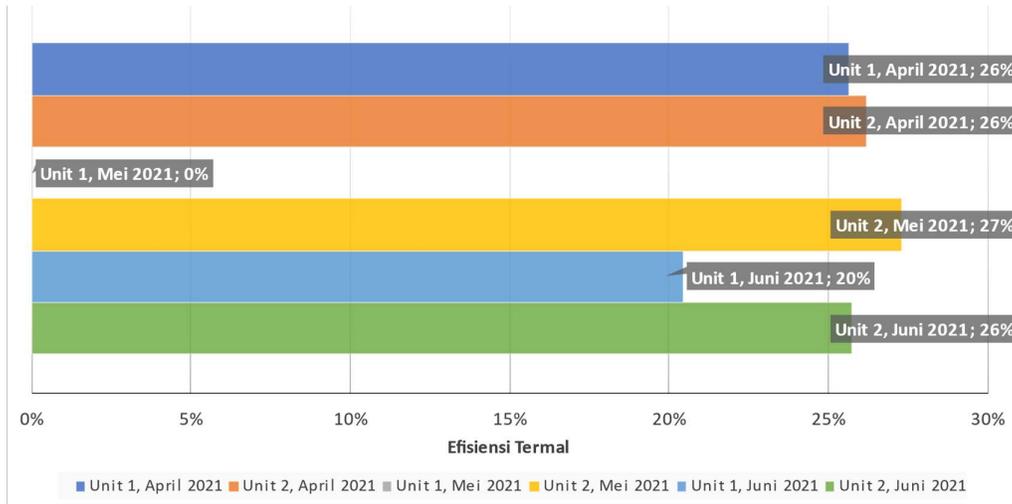
### 4.3 Analisis Kinerja Pembangkit (Efisiensi dan NPHR)

Kinerja pembangkit PLTU Teluk Balikpapan dipaparkan dalam bentuk NPHR serta efisiensi termal dan boiler. Pada Tabel 11, kinerja pembangkit untuk unit 1 dan 2 untuk Performance Test (PT) pada bulan April hingga Juni 2021 terlihat bahwa NPHR dari batubara laboratorium eksternal lebih besar dibandingkan batubara hasil analisis internal. Seperti dijelaskan pada bagian 4.2 bahwa analisis internal memiliki nilai yang lebih tepat dilihat dari laju alir batubara yang disuplai.

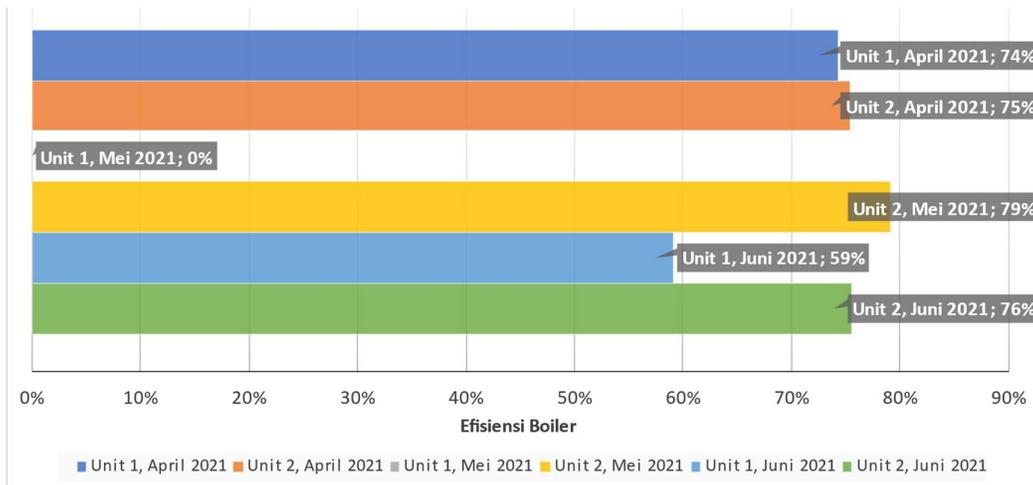
NPHR aktual hasil performance test (PT) April hingga Juni 2021 dibandingkan dengan komisioning untuk unit 1 sebesar 2776 kkal/kWh sedangkan unit sebesar 2724 kkal/kWh. Terlihat perbedaan sebesar 500 kkal/kWh bahkan pada bulan Juni untuk unit 1 dapat berbeda hingga 1500 kkal/kWh. Kondisi PT Juni Unit 1 harus menjadi perhatian penyebab terjadinya perbedaan yang sangat besar tersebut. Potensi penghematan rata-rata sebesar 500 kkal/kWh dengan asumsi beban 100 MW atau setara dengan 870.000.000 kWh. **Dengan demikian potensi penghematan yang bisa dilakukan dengan membandingkan kondisi komisioning adalah sekitar 110.000 ton/tahun dengan asumsi nilai kalori batubara sebesar 4000 kkal/kg. Kondisi ini berpotensi penghematan sebesar US\$ 7.700.000 /tahun.**

Kemudian untuk analisis efisiensi termal pada saat performance test (PT) terlihat pada Gambar 16 bahwa rata-rata sebesar 26 hingga 27%. Kondisi hasil perhitungan tim LAPI ITB tidak terlalu berbeda dengan perhitungan pada laporan efisiensi bulan April hingga Juni 2021 antara 23 -24%. Tetapi hasil hitungan dalam laporan efisiensi pada bulan Juni Unit 1 berbeda cukup jauh yaitu hitungan tim LAPI ITB sebesar 20 % tetapi nilai efisiensi termal di laporan Juni sebesar 23 %. **Kondisi ini perlu dianalisis lebih lanjut tidak terjadinya perbedaan efisiensi termal meskipun laju alir batubara sebesar 94,7 ton batubara/jam dengan nilai kalori batubara 3678 kkal/kg.**

Kondisi yang sama juga terjadi pada perhitungan efisiensi boiler bahwa perhitungan di dalam laporan memiliki nilai efisiensi boiler seragam antara 86 – 87 % dibandingkan dengan perhitungan dengan metode direct sebesar 74 – 79 % oleh tim LAPI ITB dengan nilai paling rendah sebesar 59 % terjadi pada unit 1 pada juni 2021. Perlu dicek kembali sistem instrumentasi pada saat dilakukan uji kinerja terutama pengukuran laju alir batubara yang mencapai **94,7 ton/jam**



**Gambar 16.** Efisiensi Termal Pembangkit Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Batubara Hasil Analisis Lab PLTU Teluk untuk PT April – Juni 2021



**Gambar 17.** Efisiensi Boiler Hasil Perhitungan Berdasarkan Data Batubara Hasil Analisis Lab PLTU Teluk untuk PT April – Juni 2021

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

1. Batubara yang digunakan untuk PT bulan April hingga Juni 2021 sangat beragam dilihat dari nilai kalori batubara yang berkisar antara 3358 hingga 4111 kkal/kg.
2. Kinerja laboratorium internal dapat diandalkan dan dikembangkan untuk mendukung operasi pembangkit.
3. Laju alir udara sekunder sangat jauh dari kondisi komisioning dan kondisi ini menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi auxiliary power serta berakibat pada kenaikan NPHR
4. Nilai NPHR lebih tinggi rata-rata sebesar 500 kkal/kWh dibandingkan dengan kondisi komisioning sehingga ini berpeluang untuk dioptimalisasikan hingga mendekati kondisi komisioning
5. Nilai efisiensi termal dan boiler perlu dicek kembali pada kondisi tertentu seperti pada laporan efisiensi Juni 2021 Unit 1.

## **BAB VI**

### **REKOMENDASI**

1. Fungsi laboratorium batubara PLTU Teluk Balikpapan dapat **dikembangkan untuk mendukung operasi** pembangkit dari sebelumnya hanya mengecek batubara yang dibeli dari pihak luar. Pengembangan fungsi laboratorium batubara seperti melakukan analisis distribusi ukuran partikel batubara yang masuk dan keluar crusher. Hal ini akan menjadi bahan evaluasi terhadap kinerja crusher sehingga langkah lanjutan dapat dilakukan untuk optimalisasi kinerja crusher dalam mendukung penyediaan batubara berkualitas.
2. Nilai kandungan air batubara diatas 40 % menunjukkan penanganan batubara di coal stackyard belum optimal. Perlu dilakukan **pengecekan secara berkala oleh tim laboratorium batubara** untuk memastikan tidak terjadi genangan air saat mentransportasikan batubara ke area crusher.
3. Alat ukur untuk laju alir batubara, laju alir udara sekunder serta komposisi O<sub>2</sub> **perlu dikalibrasi kembali untuk memastikan nilai -nilai terukur sudah tepat** sehingga langkah lanjutan perbaikan bisa dilakukan.
4. Laporan efisiensi termal untuk parameter NPHR, efisiensi termal dan efisiensi boiler dapat dijadikan dasar dalam melakukan program **continuous improvement** untuk peningkatan kinerja pembangkit PLTU Teluk Balikpapan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics: An Engineering Approach 9th Edition (SI Units). McGraw-Hill. 2019.
2. Introduction to Industrial Energy Efficiency. Introduction to Industrial Energy Efficiency. 2020.
3. Zabihian F. Power Plant Engineering. Power Plant Engineering. 2021.
4. Thollander P, Rohdin P, Rosenqvist J, Karlsson M, Wollin J. Introduction to industrial energy efficiency: Energy auditing, energy management, and policy issues. Introduction to Industrial Energy Efficiency: Energy Auditing, Energy Management, and Policy Issues. 2020.
5. Improving Thermal Power Plant Efficiency. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2020;8(6).
6. Yu J, Liu P, Li Z. Data reconciliation of the thermal system of a double reheat power plant for thermal calculation. Vol. 148, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021.
7. Sahoo NR, Mohapatra PKJ, Mahanty B. Examining the process of normalising the energy-efficiency targets for coal-based thermal power sector in India. Vol. 81, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018.
8. Kaushik SC, Reddy VS, Tyagi SK. Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. Vol. 15, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011.

## **TIM PELAKSANA**

Ketua Tim : Prof. Ir. Yazid Bindar, M.Sc, IPM, PhD

Tenaga Ahli Utama 1. Dr. Ir. Abrar Riza, MT

2. Dr.-Ing. Ir. Anton Irawan, MT, IPM, Asean Eng

3. Teguh Kurniawan, ST.,MT, PhD

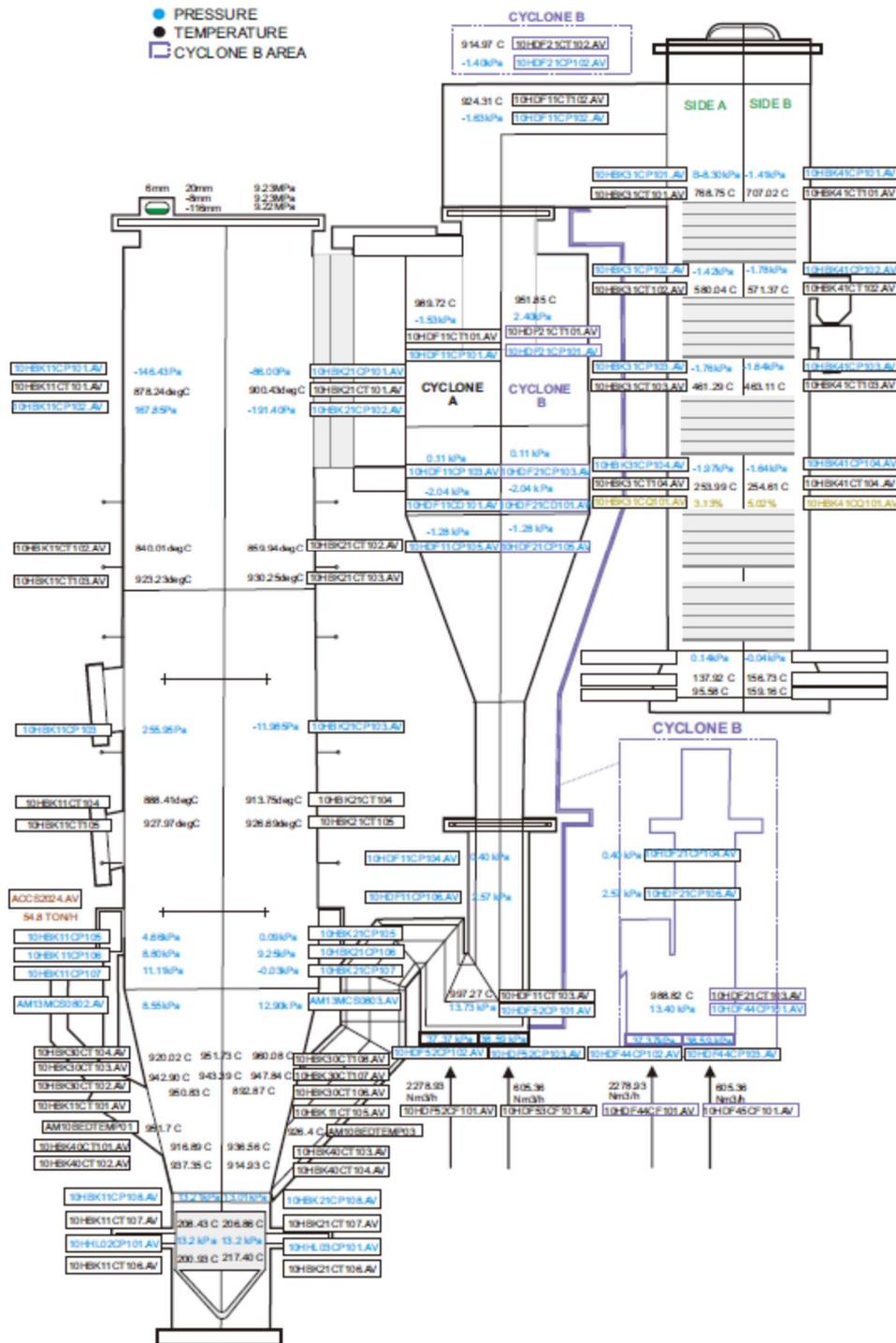
4. Hafid Alwan, ST.,MT

Engineer 1. Asep Kurniawan, ST (Teknik Kimia)

2. Imam Mardhatillah Fajri ST. MT., (Teknik Kimia)

3. Anisa Helena Isma Putri, ST (Teknik Kimia)

# LAMPIRAN – LAMPIRAN



Gambar L1. Lokasi Titik – titik Pengukuran pada Sistem CFB PLTU Teluk Balikpapan

Tabel L1. Data Operasi Januari 2021 untuk Unit 1 untuk Beban, Laju Alir Batubara, Laju Udara dan Kandungan O2 di Gas Buang

Daya Gross	Coal Feeder Flow	Primary Air	Secondary Air	O <sub>2</sub> Content Side A	O <sub>2</sub> Content Side B	Udara Total
MW	ton/jam	Nm <sup>3</sup> /jam	Nm <sup>3</sup> /jam			Nm <sup>3</sup> /jam
58,74	47,30	175542	277705	8,42	7,45	453247
58,77	47,29	175465	276738	8,25	7,40	452203
59,01	47,35	175686	276972	8,23	7,40	452658
59,30	47,69	175895	277100	8,25	7,38	452995
59,49	47,50	175907	276932	8,22	7,39	452839
59,61	46,90	175467	277035	8,24	7,43	452502
59,66	47,30	175891	277223	8,26	7,45	453114
59,73	47,29	176009	277291	8,31	7,32	453300
59,74	47,39	175771	277576	8,35	7,29	453347
60,02	47,50	175571	277566	8,27	7,33	453136
60,33	46,96	175891	277651	8,20	7,30	453542
60,53	47,03	175889	278056	8,20	7,33	453945
60,57	47,31	176014	278948	8,12	7,41	454962
60,93	46,75	176237	278189	8,22	7,50	454426
60,87	46,83	176242	278188	8,34	7,57	454431
60,83	47,00	176320	278325	8,39	7,42	454645
60,77	46,95	176890	277722	8,25	7,47	454613
60,74	47,38	176314	278222	8,36	7,47	454537
60,74	47,54	176244	278004	8,29	7,33	454248
60,64	47,10	176045	277904	8,35	7,31	453949
60,51	47,38	176264	278052	8,34	7,20	454316
60,51	47,27	176518	278563	8,41	7,27	455082
60,63	46,74	176618	278084	8,38	7,29	454702

### Lanjutan lampiran L.1 hingga 43199 data

58,48	45,01	182748	289377	8,49	8,28	472126
58,42	44,26	182661	288357	8,51	8,41	471017
58,34	44,16	182310	288763	8,52	8,30	471074
58,52	44,57	182737	288727	8,53	8,25	471464
58,29	44,64	182539	288734	8,63	8,07	471272
58,28	45,12	182814	288740	8,73	8,17	471554
58,43	44,01	182295	288213	8,58	8,07	470508
58,36	44,85	181976	287810	8,61	8,18	469785
58,38	45,11	181997	288105	8,49	8,11	470102
58,48	45,11	181771	287574	8,42	8,14	469345
58,29	44,57	182397	287555	8,45	8,18	469953
58,50	44,23	183060	288498	8,46	8,17	471558
58,50	44,45	182882	288975	8,48	8,27	471857
58,56	44,63	183631	288739	8,49	8,35	472370
58,58	43,80	183417	288913	8,54	8,40	472330
58,47	43,69	183707	289279	8,69	8,48	472986
58,44	44,46	183637	289440	8,68	8,49	473077
58,22	44,35	183760	288892	8,56	8,46	472651
58,23	44,30	183854	289177	8,73	8,45	473031
58,45	44,07	183664	289908	8,71	8,43	473572
58,30	44,48	183757	289654	8,76	8,39	473411
58,23	44,40	183819	289417	8,70	8,38	473236

Tabel L2. Data Operasi Januari 2021 Unit untuk Temperatur Furnace dan Siklon

Furnace Outlet Temp Side A	Furnace Outlet Temp Side B	Cyclone Temp Side A	Cyclone Temp Side B
oC	oC	oC	oC
718,46	745,09	818,79	828,22
718,39	743,51	817,92	825,64
719,78	745,09	819,47	826,30
719,19	745,36	820,04	827,75
720,09	748,15	818,49	830,69
723,92	747,04	822,33	829,38
725,25	745,44	824,04	827,50
725,60	743,25	825,40	829,76
726,82	745,58	824,06	829,88
727,63	742,42	823,81	828,25
728,72	741,40	822,90	829,05
727,93	745,57	824,22	829,51
730,25	748,20	825,83	826,50
732,63	745,54	826,50	823,86
727,05	744,05	825,71	827,07
726,04	741,80	823,55	826,74
728,08	745,28	823,71	826,91
726,94	741,92	824,34	828,65
726,42	740,16	822,23	829,63
725,48	739,69	820,63	831,89
720,52	741,81	822,26	831,45
721,38	743,09	820,10	829,85
724,33	741,50	818,00	826,64
724,52	745,79	818,92	824,99
725,72	746,23	817,15	825,76
724,63	746,23	816,75	828,36
721,83	744,90	816,37	828,84
723,48	744,68	816,61	827,74
722,53	743,42	818,10	828,42
721,99	745,92	816,70	825,89
721,74	744,89	815,25	827,94
723,00	745,65	817,29	827,10
723,23	748,80	818,77	828,91
722,09	745,95	820,13	829,34
723,93	740,70	821,36	826,20
724,84	738,90	822,09	826,12
725,99	740,56	822,31	828,48
729,39	742,84	822,01	828,16

## Lanjutan lampiran L.2 hingga 43199 data

721,25	736,03	811,90	819,31
723,72	735,25	814,41	818,19
723,27	736,09	814,72	818,38
720,09	734,86	813,31	815,15
718,81	730,06	811,81	815,42
716,68	733,44	809,63	819,81
719,67	734,19	811,44	820,03
718,76	736,21	809,93	821,05
712,32	738,90	810,14	823,03
712,68	740,29	811,92	818,22
715,97	740,58	812,80	818,82
719,03	737,21	814,84	820,04
724,42	735,97	816,84	820,43
726,37	735,36	814,24	819,52
725,60	736,46	814,78	819,01
727,46	736,64	816,06	816,67
723,55	736,45	815,58	816,90
718,14	737,70	813,75	816,72
716,54	734,09	813,67	816,03
714,71	730,22	816,01	814,21
719,10	728,74	816,07	815,16
721,97	733,09	815,21	815,21

**LAMPIRAN LAPORAN EFISIENSI  
BULAN APRIL – JUNI  
PLTU TELUK BALIKPAPAN**