



TESIS-TM185400

**STUDY EKSPERIMENTAL PENGARUH NILAI
PERSENTASE EXCESS AIR DAN UKURAN COAL
FINENESS BATUBARA TERHADAP NILAI
UNBURNED CARBON DAN EFISIENSI BOILER
DENGAN BATUBARA NILAI KALORI \pm 4200
KKAL/KG PADA PLTU DENGAN BEBAN 500 MW**

**IMAM SISWO UTOMO, ST
NRP. 2111750078016**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani M.Eng**

**Program Magister
Bidang Keahlian Managemen Energi
Kerjasama PT. Indonesia Power
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**



TESIS-TM185400

**STUDY EKSPERIMENTAL PENGARUH NILAI
PERSENTASE EXCESS AIR DAN UKURAN COAL
FINENESS BATUBARA TERHADAP NILAI
UNBURNED CARBON DAN EFISIENSI BOILER
DENGAN BATUBARA NILAI KALORI \pm 4200
KKAL/KG PADA PLTU DENGAN BEBAN 500 MW**

**IMAM SISWO UTOMO, ST
NRP. 2111750078016**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani M.Eng**

**Program Magister
Bidang Keahlian Manajemen Energi
Kerjasama PT. Indonesia Power
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

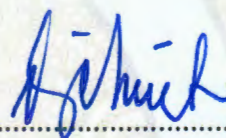
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
IMAM SISWO UTOMO
02111750078016

Tanggal Ujian: 18 Januari 2020
Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

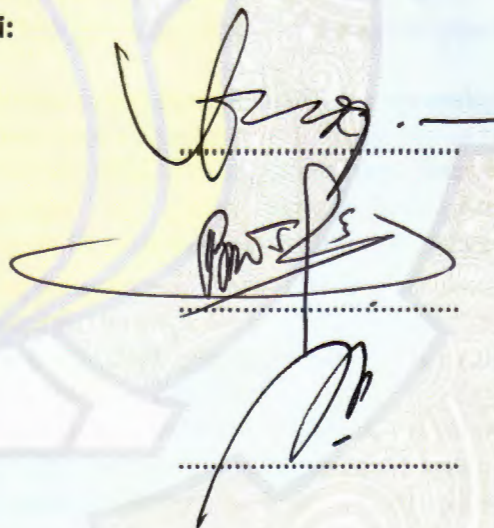
1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng
NIP 196505051990031005



.....


Penguji:

1. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh W., ME
NIP 195312191981031001
2. Bambang Arip D., S.T., MSc., Ph.D
NIP 197804012002121001
3. Ary Bachtiar K. P., S.T., M.T., Ph.D
NIP 197205241997021001



.....
.....
.....

Kepala Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem




Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng., Sc.
NIP 196604021989031002

Halaman ini sengaja dikosongkan

Study Eksperimental Pengaruh Nilai Persentase Excess Air dan Ukuran Coal Fineness Batubara Terhadap Nilai Unburned Carbon dan Efisiensi Boiler Dengan Batubara Nilai Kalori ± 4200 kkal/kg Pada PLTU Dengan Beban 500 MW

Mahasiswa Nama : Imam Siswo Utomo, ST
Mahasiswa ID : 2111750078016
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichسانی, M.Eng

ABSTRAK

PLTU Banten 1 Suralaya *Operation and Maintenance Unit* (BSLA OMU) adalah satu dari 12 unit *Operation and Maintenance Unit* (OMU) di dalam lingkungan PT Indonesia Power yang mendapat penugasan untuk memegang *Operation and Maintenance* (O&M) di PLTU Banten 1. Saat ini di PLTU Banten 1 Suralaya, pasokan batubara tersebut dipasok oleh 10 pemasok batubara dengan *range* nilai kalor batubara antara 4.200-4.900 kkal/kg HHV. Menurut desain awal, pola operasi pengisian batubara adalah dengan batubara nilai kalor ± 4200 kkal/kg, akan tetapi batubara nilai kalor ± 4200 kkal/kg itu sendiri memiliki berbagai macam variasi kadar *ultimate*. Variasi kadar *ultimate* dari batubara akan mempengaruhi udara pembakaran yang dibutuhkan dan kualitas *coal fineness* yang dihasilkan, sehingga kajian mendetail terhadap pengaruh kebutuhan udara berlebih (*excess air*) dan ukuran *coal fineness* terhadap efisiensi *boiler* pada beban ± 625 MW. Akan tetapi karena kondisi material di boiler yang sudah berkurang kekuatannya maka pengambilan data untuk beberapa variasi kadar *ultimate* batubara nilai kalor ± 4200 kkal/kg dilakukan di PLTU pada saat beban 500 MW untuk menentukan kebutuhan udara pembakaran yang paling optimum.

Efisiensi *thermal boiler* didefinisikan sebagai energi panas masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan uap. Ada dua metode pengkajian efisiensi boiler yaitu metode langsung (metode input output) dan metode tidak langsung (*Heat Loss*). Metode eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimental dan mengambil data pada *boiler* PLTU pada saat beban 500 MW dengan batubara LRC dengan nilai kalor ± 4200 kkal/kg dengan variasi kadar *ultimate* batubara. Dari variasi kadar *ultimate* batubara dapat dihitung udara teoritis yang diperlukan. *Tesis* ini menggunakan *study* eksperimental variasi persentase *excess air* dan ukuran *coal fineness* terhadap *unburn carbon* dan efisiensi *boiler* yang dihasilkan

Dari hasil eksperimen ini didapatkan kesimpulan bahwa nilai optimum *excess air* terhadap *unburned carbon* adalah diangka 10-12%. Sedangkan nilai optimum *excess air* terhadap efisiensi *boiler* adalah di 12% untuk batubara dengan nilai kalor ± 4200 kkal/kg pada beban 500 MW.

Kata kunci : *Efisiensi thermal, Boiler, Excess air, Unburned Carbon, Coal fineness*

Halaman ini sengaja dikosongkan

***Experimental Study The Effect of Excess Air and Coal
Sizing to Unburned Carbon and Boiler Efficiency
Using Coal with Heating Value ± 4200 kcal/kg
at a 500 MW Steam Power Plant***

Mahasiswa Nama : Imam Siswo Utomo, ST
Mahasiswa ID : 2111750078016
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

ABSTRACT

Operation and Maintenance Unit of PLTU Banten 1 Suralaya (BSLA OMU) is one of 12 Operation and Maintenance Unit (OMU) within the PT INDONESIA POWER group that were assigned to hold Operation and Maintenance (O & M) at Banten 1 Suralaya Steam Power Plant. Currently, at Banten 1 Suralaya Steam Power Plant, The coal supply is supplied by 10 coal suppliers with a range of coal heat values ranging from 4,200-4,900 kcal/kg HHV. According to the initial design, the coal filling operation pattern is with coal a heating value of ± 4200 kcal/kg. But, the calorific value of ± 4200 kcal/kg coal itself has various variations in the ultimate analysis. The ultimate analysis variation of coal content will affect the required combustion air and the quality of coal fineness produced, so a detailed study of the effect of excess air and coal fineness on boiler efficiency at a load of ± 625 MW for several variations of the ultimate analysis levels of coal with heating value ± 4200 kcal/kg needs to be done at the Steam Power Plant at a load of 625 MW to determine the most optimum combustion air requirements. Because of degradation material tube boiler, maximum pressure in boiler was limited. So maximum load now at 500 MW.

Thermal boiler efficiency is defined as the incoming heat energy that is used effectively to produce steam. There are two methods for evaluating boiler efficiency, namely direct method (input output method) and indirect method (Heat Loss). Because of material strenghtness boiler has decreased so that the experimental method carried out in this study was to conduct experiments and retrieve data on steam power plant boilers with a capacity of 500 MW with LRC coal with a calorific value of ± 4200 kcal / kg with variations in the ultimate levels of coal. From variations in the ultimate levels of coal theoretical air can be calculated as needed. This thesis uses an experimental study of variations in the percentage of water excees and the size of coal fineness on unburn carbon and the efficiency of the boilers produced.

The Result of this experiment is that optimum excess air versus unburned carbon is in the range of 10-12%. while the optimum excess air on boiler efficiency is at 12% for coal with a calorific value of ± 4200 kcal/kg at a load of 500 MW.

Keywords : Efisiensi thermal, Boiler, Excess air, Unburned Carbon, Coal fineness

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “Study Eksperimental Pengaruh Nilai Persentase Excess Air dan Ukuran Coal Fineness Batubara Terhadap Nilai Unburned Carbon dan Efisiensi Boiler Dengan Batubara Nilai Kalori \pm 4200 kkal/kg Pada PLTU Dengan Beban 500 MW”. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, do’a, dan dukungan dari beberapa pihak, maka penyusunan tesis ini tidak dapat berjalan sesuai harapan. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua: Bapak Drs. Teguh Dwi Jatmiko dan Ibu Dra. Sri Muktiningsih, keluarga: Istri Dwi Asih Wijayanti ST, Anak Bintang, Jihan dan Gibran yang senantiasa memberikan do’a, dorongan dan dukungan tanpa henti kepada penulis.
2. Dosen pembimbing Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani yang telah memberikan saran, pencerahan, dan motivasi dalam proses penyelesaian tesis ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Mesin ITS yang telah mendidik penulis selama masa perkuliahan.
4. Seluruh rekan-rekan program S2 Manajemen Energi KKIP yang ikut membantu dalam proses penulisan tesis ini.
5. Seluruh rekan-rekan Divisi Pengembangan Talenta Kantor Pusat PT Indonesia Power dan Staf Sekretariat Departemen Teknik Mesin atas segala bantuan dan dukungan selama menjalani program S2 Manajemen Energi.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per-satu atas segala bantuan serta dukungan untuk penyusunan tesis ini.

Selain itu penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Relevansi dan Manfaat Hasil Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Boiler</i> PLTU Banten 1 Suralaya	7
2.2 <i>Literature Boiler Combustion Efficiency</i>	8
2.3 Dasar Teori Efisiensi <i>Boiler</i>	9
2.3.1 Indirect Methode	9
2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Laju Reaksi Kimia	14
2.5 Hubungan Diameter Partikel Dengan Luas Permukaan Sentuh	16
2.5 Teori Pembakaran Boiler Batubara	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Penentuan Batasan dari Data Awal	21

3.2 Pelaksanaan Eksperimen	27
3.3 Peralatan Pendukung.....	31
3.4 Prosedur Pengambilan Data Eksperimen	32
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	33
3.6 Skema Eksperimen	34
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL	35
4.1 Pengambilan, Pengolahan dan Analisa Data	36
4.1.1 Data Pertama.....	36
4.1.2 Data Kedua	43
4.1.3 Data Ketiga	50
4.1.4 Analisa Data Pertama, Kedua dan Ketiga	57
4.1.5 Data Keempat	61
4.1.6 Data Kelima.....	68
4.1.7 Data Keenam	76
4.1.8 Analisa Data ke-4, ke-5 dan ke-6	83
4.1.9 Analisa Data Sampel Batubara Terakhir	86
4.1.10 Pengaruh ukuran <i>coal fineness</i> terhadap efisiensi <i>boiler</i>	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN	97
BIODATA PENULIS.....	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sankey Diagram Analisa Efisiensi <i>Boiler</i> Metode Heat Loss.....	10
Gambar 3.1 Matriks Variasi Kadar Carbon Ultimate Batubara Dan <i>Coal sizing</i> Batubara Terhadap <i>Excess air</i> Batubara Serta Pengaruhnya Terhadap Efisiensi <i>Boiler</i> Dan <i>Unburned carbon</i>	24
Gambar 3.2 Foto Lokasi Pengambilan Sampel Bottom Ash SDCC.....	27
Gambar 3.3 Foto Salah Satu Alat Analisa Batubara LECO CHN628	28
Gambar 3.4 Foto Alat Analisa <i>Humidity Digital Analyzer</i>	28
Gambar 3.5 Peralatan TESTO Flue Gas Analyzer.....	29
Gambar 3.6 Foto Lokasi Pengambilan Sampel Bottom Ash Di SDCC.....	29
Gambar 3.7 Foto Lokasi Pengambilan Sampel Fly Ash Di Hopper ESP	30
Gambar 3.8 Flowchart Penelitian.....	33
Gambar 3.9 Diagram Alir Eksperimen dan Lokasi Pengambilan Sampel.....	34
Gambar 4.1 Matrix Variasi Kadar Ultimate Batubara Dan <i>Coal sizing</i> Batubara Terhadap <i>Excess air</i> Batubara.....	39
Gambar 4.2 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (B1), Tanggal 18 Februari 2019.....	42
Gambar 4.3 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (A1), Tanggal 27 Mei 2019.....	49
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (C1), Tanggal 19 Agustus 2019.....	56
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> Vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Kelompok <i>Coal sizing</i> Lolos 200 Mesh 60-70%.....	58
Gambar 4.6 Gambar Perbandingan <i>Losses</i> Energi Karena <i>Moisture in Fuel</i> dan <i>Unburned Carbon</i> Batubara <i>Coal sizing</i> Lolos 200 Mesh 60-70%	61
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (C2), Tanggal 25 Juli 2019.....	67
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (A2), Tanggal 2 September	74

Gambar 4.9 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Untuk Batubara (B2), Tanggal 19 November 2019	81
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> Vs <i>Excess air</i> (a) Dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Kelompok <i>Coal sizing</i> Lolos 200 Mesh 70-80%.	84
Gambar 4.11 Gambar Perbandingan <i>Losses</i> Energi Karena <i>Moisture in Fuel</i> dan <i>Unburned Carbon</i> Batubara <i>Coal sizing</i> Lolos 200 Mesh 70-80%	86
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi <i>Boiler</i> Vs <i>Excess air</i> (a) dan <i>Unburned carbon</i> vs <i>Excess air</i> (b) Kelompok <i>Coal Sizing</i> Lolos 200 Mesh diatas 80%	92
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Ukuran <i>Coal sizing</i> Batubara Terhadap Efisiensi <i>Boiler</i> Pada Sampel Batubara Dengan Kadar Karbon Yang Sama $\pm 47\%$ Dan Kondisi <i>Excess air</i> Tetap 12%	93

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Hasil Pengukuran Efisiensi <i>Boiler</i> Untuk Beberapa Variasi Nilai Kalori Batubara Pada Beban 625 MW.....	2
Tabel 1.2 Data Performance Peralatan Pada Bulan Februari 2019.....	3
Tabel 2.1 Data <i>Boiler Design Specification</i> PLTU Banten 1 Suralaya.....	7
Tabel 2.2 Data <i>Coal Specification for Boiler</i> PLTU Banten 1 Suralaya	7
Tabel 3.1 Data variasi kadar <i>ultimate</i> batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg.....	21
Tabel 3.2 Contoh Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis dan Aktual untuk Berbagai Variasi Kadar Karbon Batubara dalam kelompok batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg	23
Tabel 3.3 Tabel Pedoman Pengelompokkan Data Sampel Batubara Dan Variasi <i>Excess air</i>	25
Tabel 3.4 Data Nilai Perhitungan Kebutuhan Udara Aktual Untuk Variasi <i>Excess Air</i> Untuk Batubara Jenis C44.56.....	26
Tabel 3.5 Data Nilai Perhitungan Kebutuhan Udara Aktual Untuk Variasi <i>Excess Air</i> Untuk Batubara Jenis C46.63.....	26
Tabel 3.6 Data Nilai Perhitungan Kebutuhan Udara Aktual Untuk Variasi <i>Excess Air</i> Untuk Batubara Jenis C47.78.....	26
Tabel 4.1 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00.....	37
Tabel 4.2 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-1 Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00.....	38
Tabel 4.3 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, dan 11:00.	40
Tabel 4.4 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-1 (B1), Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.....	41
Tabel 4.5 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00.....	44
Tabel 4.6 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-2	

Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00.....	45
Tabel 4.7 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan	
Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00, 10:30, 11:00, 11:30, 12:00.....	47
Tabel 4.8 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-2	
(A1) Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00 Sd 12:00.....	48
Tabel 4.9 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal	
Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00.....	51
Tabel 4.10 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3	
Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00.....	52
Tabel 4.11 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan	
Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, dan 11:00.....	54
Tabel 4.12 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3	
(C1) Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.....	55
Tabel 4.13 Tabel <i>Sankey Losses Energy</i> Untuk Tiap Variasi Kadar Karbon Dalam	
Batubara dalam kelompok <i>coal sizing</i> lolos 200 mesh 60-70%.....	60
Tabel 4.14 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal	
25 Juli 2019 Pukul 08:00.....	62
Tabel 4.15 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-4	
Tanggal 25 Juli Pukul 08:00.....	63
Tabel 4.16 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan	
Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00, 08:30, 09:00, 09:30, 10:00.....	65
Tabel 4.17 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-4	
(C2), Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00 sd 10:00.....	66
Tabel 4.18 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal	
2 September 2019 Pukul 08:00.....	69
Tabel 4.19 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-5	
Tanggal 2 September 2019 pukul 08:00.....	70
Tabel 4.20 . Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan	
Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00, 08:30, 09:00, 09:30, 10:00.....	72

Tabel 4.21 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-5 (A2) Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00 Sd 10:00	73
Tabel 4.22 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00	76
Tabel 4.23 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-6 Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00	78
Tabel 4.24 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, dan 11:00.....	79
Tabel 4.25 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3 (B2) Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.....	80
Tabel 4.26 Tabel Perbandingan <i>Losses</i> Energi Karena <i>Unburned carbon</i> Dengan <i>Losses</i> Energi Karena <i>Moisture in fuel</i> Pada Kondisi <i>Excess air</i> 12% pada ukuran <i>coal sizing</i> lolos 200 mesh 70-80%.....	85
Tabel 4.27 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-7 (B3) Tanggal 17 Oktober 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00	87
Tabel 4.28 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-8 (C3) Tanggal 17 Desember 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00	87
Tabel 4.29 Tabel Pengaruh Ukuran <i>Coal sizing</i> Batubara Terhadap Effiensi <i>Boiler</i> Pada Kadar Karbon Yang Relatif Sama $\pm 47\%$ Pada Kondisi <i>Excess air</i> Optimum 12%	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PLTU Banten 1 Suralaya *operation and maintenance unit* (BSLA OMU) adalah satu dari 12 unit bisnis yang bergerak di bidang jasa *operation and maintenance unit* (OMU) di dalam lingkungan PT. Indonesia Power yang mendapat penugasan untuk memegang *Operation and Maintenance* (O&M) di PLTU Banten 1 Suralaya. PLTU Banten 1 Suralaya merupakan PLTU yang dibangun sebagai bagian dari *Fast Track Program* (FTP) 10.000 MW Tahap 1 milik PT. PLN (Persero) dengan kapasitas daya terpasang 1 x 625 MW. PLTU ini berlokasi di Desa Salira, Kecamatan Pulomerak, Kabupaten Cilegon, Banten. Desain PLTU ini menggunakan bahan bakar berupa batubara dengan kalori rendah (*low rank coal*) ± 4200 KCal/kg (HHV/*High Heating Value*). Konsumsi rata-rata batubara sebanyak 8.000 ton/hari pada beban penuh 625 MW.

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada *boiler* adalah *burner*, ruang bakar, *tube* penukar panas dan sistem kontrol [1]. *Boiler* merupakan salah satu peralatan utama dalam sebuah pembangkit listrik tenaga uap yang berfungsi untuk mengubah air umpan *boiler* (*demin water*) menjadi uap panas (*superheated steam*). Uap panas (*superheated steam*) produk dari *boiler* ini nantinya digunakan sebagai penggerak turbin uap yang porosnya dirangkai dengan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Saat ini di PLTU Banten 1 Suralaya, pasokan batubara tersebut dipasok oleh 10 pemasok batubara dengan *range* nilai kalori batubara antara 4.200-4.900 kcal/kg. Batubara berasal dari berbagai tambang di Sumatera dan Kalimantan. Variasi nilai kalori dan asal tambang tersebut juga menyebabkan variasi karakteristik batubara seperti Nilai Kalori, *Total Moisture*, *Volatile Matter*, *Ash Content*, *Sulphur*, *Fixed Carbon*. Karakteristik batubara tersebut, terutama nilai kalori batubara sangat berpengaruh terhadap pola pembakaran dan efisiensi *boiler*.

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi maka temperatur ruang bakar harus dalam kondisi yang paling tinggi sehingga pembakaran akan berjalan lebih sempurna, sehingga *losses-losses* yang ada di *boiler* dapat diminimalisir. Dari data uji *heat rate performance test* yang telah dilakukan di PLTU Banten 1 Suralaya maka didapatkan tabel perbandingan untuk nilai kalori batubara yang digunakan di *boiler* pada beban rata-rata 625 MW versus nilai efisiensi *boiler*.

Tabel 1.1 Data Hasil Pengukuran Efisiensi *Boiler* Untuk Beberapa Variasi Nilai Kalori Batubara Pada Beban 625 MW.

No	Tanggal	Nilai kalori batubara (kkal/kg)	Load (MW)	Efisiensi (%)
1	13 April 2016	4559,69	609,1	85,01
2	09 Mei 2016	4739,94	620,7	84,89
3	07 Juni 2016	4832,13	607,2	84,55
4	22 Juli 2016	4599,99	632,6	85,40
5	09 Agustus 2016	5067,00	602,3	86,95
6	10 April 2018	4165,92	613,5	84,09
7	28 Juni 2018	4050,00	602,8	83,66
8	22 Oktober 2018	4289,49	607,5	84,58

Dari data diatas, diperoleh nilai efisiensi *boiler* tertinggi pada beban \pm 625 MW adalah ketika menggunakan batubara dengan nilai kalori 5067 kkal/kg. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh nilai kalori bahan bakar terhadap efisiensi *boiler*. Hasilnya, semakin tinggi nilai kalori bahan bakar yang dipakai, maka akan meningkat juga nilai efisiensi dari *boiler*[2].

Menurut desain awal, pola operasi pengisian batubara adalah dengan batubara nilai kalori \pm 4200 kkal/kg. Dengan range dari 4200 kkal/kg tersebut adalah 4200 ± 250 kkal/kg. Jadi batubara LRC 4200 kkal/kg yang dapat digunakan sebagai bahan bakar di PLTU Banten 1 Suralaya rata-rata memiliki nilai kalori 3950 – 4450 kkal/kg. Batubara nilai kalori \pm 4200 kkal/kg tersebut memiliki berbagai macam variasi kadar karbon. Variasi kadar karbon dari batubara akan mempengaruhi kebutuhan udara pembakaran dan kualitas *coal fineness* yang dihasilkan, sehingga kajian mendetail terhadap pengaruh kebutuhan udara berlebih

(*excess air*) dan ukuran *coal fineness* terhadap efisiensi *boiler* pada beban ± 625 MW untuk beberapa variasi kadar karbon batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg perlu dilakukan di PLTU pada saat beban 625 MW untuk menentukan kebutuhan udara pembakaran yang paling optimum. Akan tetapi kondisi saat ini, atas rekomendasi dari pabrikan *boiler* Shanghai Electric Company, Ltd. (SEC), beban maksimal di PLTU Banten 1 Suralaya adalah 500 MW yang disebabkan oleh degradasi kekuatan pada *boiler tube*. Sehingga untuk kajian terhadap pengaruh kebutuhan udara berlebih (*excess air*) dan ukuran *coal fineness* terhadap efisiensi *boiler* dilakukan pada beban operasional saat ini, yaitu 500 MW.

Pada tanggal 20 Februari 2019 telah dilakukan *performance test* di PLTU Banten 1 Suralaya dengan beban pengujian 495.9 MW selama 2 jam (09.00-11.00 WIB). *Performance test* ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pencapaian *heat rate*, kondisi unjuk kerja pada masing-masing peralatan inti dan untuk melakukan identifikasi dari faktor peluang peningkatan *heat rate* pada bulan Februari 2019 sebelum dilakukannya overhaul SI 2019.

Metode perhitungan *baseline* yang diterapkan pada proses analisis data adalah mengacu pada metode yang telah diterapkan PT. PLN LITBANG. Berdasarkan data parameter pada masing-masing peralatan dan hasil perhitungan, didapatkan performa pada masing-masing parameter adalah sebagai berikut :

Tabel 1.2 Data Performance Peralatan Pada Bulan Februari 2019.

<i>Item Monitoring</i>	<i>Baseline</i>	<i>Aktual</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Load</i>	469.12	495.94	Beban Konstan
<i>Coal Value</i>	4,271.00	4,006.60	Internal Lab.
<i>Net Plant Heat Rate</i>	2608.93	2,970.92	-
<i>Thermal Efficiency</i>	32.96	28.95	-
<i>Auxiliary Power Consumption</i>	5.08	5.35	-
<i>Boiler Efficiency</i>	86.21	83.98	-
<i>Turbine Efficiency</i>	80.68	83.18	-
Catatan: 1. <i>Heat Rate (Performance Test) Heat Loss Method HHV Based</i> 2. <i>Heat Loss Method HHV Based</i>			

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *heat rate* dengan perbedaan sebesar 313.84 kkal/kwh terhadap data *baseline* atau setara dengan Rp 737,892,185.70/hari. Faktor yang mempengaruhi *heat rate* pada pengujian tersebut adalah terjadi karena adanya peningkatan pada *make up water*, *main steam flow*, *reheat steam flow*, *unburned carbon*, *flue gas temperature*, serta rendahnya *main steam pressure*. Berdasarkan data permasalahan tersebut, perlu dilakukan tindakan perbaikan diantaranya: *Improvement* pola operasi *boiler* (*boiler combustion tuning*, *tilting burner* dan *sootblower*), Cek kekencangan *valve-valve drain* dan *venting* yang ada, Optimalisasi perbandingan udara (*total air flow*) dengan bahan bakar, inspeksi *mill*, serta Normalisasi *flowmeter PA flow inlet mill* dan *Amperemeter PAF A* [3]. Saat ini *overhaul* SI 2019 telah selesai dilaksanakan, dan rencana akan dilakukan *firing boiler* pada tanggal 6 April 2019, sehingga kajian mengenai kebutuhan udara pembakaran pada kondisi pasca *overhaul* SI 2019 ini harus dilakukan.

Berdasarkan hal-hal yang telah dipaparkan, maka akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi kadar karbon batubara nilai kalori 4200 kkal/kg terhadap kebutuhan udara pembakaran serta pengaruh nilai *excess air* serta ukuran *coal fineness* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler* yang dihasilkan pada saat menggunakan batubara nilai kalori rata-rata ± 4200 kkal/kg

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar karbon batubara dan ukuran *coal fineness* yang dihasilkan terhadap kebutuhan udara pembakaran.
2. Bagaimana pengaruh nilai *excess air* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler*.
3. Bagaimana pengaruh ukuran *coal fineness* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler*.

1.3 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang diambil untuk menganalisa permasalahan di atas, antara lain:

1. Pengambilan data performa *boiler* dilakukan pada saat *boiler* PLTU Banten 1 Suralaya berbeban 500 MW, karena pembatasan *pressure boiler* sebagai akibat kondisi kekuatan material *boiler* yang sudah menurun.
2. Data analisa batubara dan data parameter operasi yang digunakan adalah data *performance test* PLTU Banten 1 Suralaya.
3. Data diambil pada *boiler* saat menggunakan batubara nilai kalori rata-rata ± 4200 kkal/kg dengan 3 variasi kadar karbon batubara dan 3 variasi *coal sizing* batubara.
4. Batasan sampel batubara yang digunakan adalah batubara dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg, yaitu sampel batubara LRC yang memiliki nilai kalori 4200 ± 250 kkal/kg (3950 kkal/kg – 4450 kkal/kg).
5. Pengambilan data penelitian dilakukan pada saat *boiler* beroperasi stabil kurang lebih 30 menit.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar karbon batubara terhadap kebutuhan udara pembakaran.
2. Mengetahui pengaruh nilai *excess air* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler* yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh ukuran *coal fineness* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler* yang dihasilkan.
4. Mendapatkan nilai *optimum excess air* terhadap *unburned carbon* dan efisiensi *boiler* untuk berbagai variasi kadar karbon batubara dan ukuran *coal fineness* pada batubara dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg pada beban 500 MW

1.5 Relevansi dan Manfaat Hasil Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dengan adanya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dasar pengaturan udara pembakaran pada saat ada variasi pemasok dan kadar karbon batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg.
2. Mengetahui nilai *excess air* yang paling optimum untuk mendapatkan nilai efisiensi *boiler* yang paling tinggi dan *unburned carbon* yang paling rendah

- untuk *boiler* pada beban 500 MW untuk tiap variasi kadar karbon dan *coal sizing* pada berbagai jenis batubara LRC dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg.
3. Memperoleh *setting* yang tepat untuk pembukaan *secondary air damper* dan *primary air damper* pada *boiler* PLTU dengan beban 500 MW pada berbagai jenis batubara LRC dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Boiler PLTU Banten 1 Suralaya

Boiler pada PLTU Banten 1 Suralaya merupakan produk dari Shanghai Boiler Works, Ltd. tipe *Sub-critical Pressure Controlled Circulation Boiler, Single Reheat, Tangential Burner, Pulverized Coal, Balanced Draft*. *Boiler* ini memiliki *burner* yang posisinya berada di sudut *boiler* atau yang biasa disebut *corner burner tangensial boiler*. Sedangkan untuk desain *boiler maximum capacity rate (BMCR)* di PLTU Banten 1 Suralaya ini, yaitu:

Tabel 2.1 Data *Boiler Design Specification* PLTU Banten 1 Suralaya.

<i>Name</i>	<i>Unit</i>	<i>BMCR</i>	<i>BECR</i>
<i>Superheated steam flow</i>	t/h	2129	1946
<i>Superheated steam outlet pressure</i>	Mpa _(g)	17.50	17.40
<i>Superheated steam temperature</i>	°C	541	541
<i>Reheated steam flow</i>	t/h	1804.8	1656.0
<i>Reheated steam inlet pressure</i>	Mpa _(g)	4.05	3.83
<i>Reheated steam outlet pressure</i>	Mpa _(g)	3.84	3.63
<i>Reheated steam inlet temperature</i>	°C	334	328
<i>Reheated steam outlet temperature</i>	°C	541	541
<i>ECO inlet feed water temperature</i>	°C	282	278

Sedangkan desain spesifikasi batubara yang digunakan sebagai bahan bakar di *boiler* PLTU Banten 1 Suralaya adalah, sebagai berikut [4]:

Tabel 2.1 Data *Coal Specification for Boiler* PLTU Banten 1 Suralaya.

<i>Description</i>	<i>Range</i>		<i>Typical</i>
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	
<i>Proximate analysis (% as received)</i>			

<i>Total moisture</i>	25	35	30
<i>Inherent moisture</i>	15	25	
<i>Ash</i>	3	6	5
<i>Volatile</i>	30	40	35
<i>Fixed carbon</i>	28	42	30
<i>Specific energy (as received)</i>			
<i>GCV(kCal/kg)</i>	3900	4500	4200
<i>Karbon Analysis (% as dried)</i>			
<i>Carbon</i>	55	76	68.07
<i>Hydrogen</i>	4.5	7	4.8
<i>Nitrogen</i>	0.5	1.5	1.1
<i>Oxygen</i>	10	25	20.3
<i>Total Sulphur</i>	0.1	0.35	0.33
<i>Ash</i>	3	6	5

2.2 Literature Boiler Combustion Efficiency

Boiler adalah sebuah alat yang berbentuk bejana tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan (*furnace*) untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar serta *boiler proper* untuk yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap [1]. Pada PLTU Banten 1 Suralaya merupakan *boiler* tipe *tangensial*, *corner burner*, *water tube* dan menggunakan bahan bakar batubara.

Efisiensi *boiler* dinyatakan sebagai perbandingan antara panas *total* yang dipakai untuk memanaskan air dan membentuk uap dibandingkan terhadap panas yang diperlukan dalam pembakaran bahan bakar [5]. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi pembakaran adalah nilai *excess air*. Pada nilai *excess air* rendah, tingkat pembakaran akan kurang sempurna karena keterbatasan jumlah oksigen sebagai pereaktan dalam reaksi pembakaran. Sementara itu, pada pembakaran dengan nilai *excess air* yang lebih tinggi pembakaran akan menjadi sempurna dan apabila *excess air* ditambahkan secara berlebihan, pembakaran akan menjadi kurang sempurna kembali karena turunnya temperature ruang bakar

sebagai akibat masuknya udara pembakaran yang bersuhu atmosferis secara berlebihan [11].

Pengoperasian *boiler* memerlukan jumlah bahan bakar yang tidak sedikit. Sementara harga bahan bakar terus meningkat sehingga biaya operasional menjadi semakin tinggi. Saat ini, upaya untuk menekan biaya operasional dalam bentuk efisiensi *boiler* perlu dilakukan untuk meminimalkan biaya pengeluaran [6].

Efisiensi panas sebuah *boiler* saat ini menjadi sebuah bahasan yang penting dalam PLTU, karena semakin tinggi efisiensi dari sebuah *boiler* maka akan semakin sedikit bahan bakar yang digunakan sehingga akan semakin murah harga listrik yang dihasilkan. Sedangkan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *boiler* pada sebuah PLTU adalah pola pembakaran dan nilai kalori bahan bakar batubara. Untuk sifat batubara sulit dikontrol karena tergantung sumbernya di alam, sementara total udara pembakaran tadi dikontrol oleh *fan-fan* sebagai alat bantu di *boiler* yang digunakan untuk mengatur kebutuhan udara [7].

2.3 Dasar Teori Perhitungan Efisiensi Boiler

Efisiensi *thermal boiler* didefinisikan sebagai energi panas masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan uap. Ada dua metode pengkajian efisiensi *boiler*:

1. Metode Langsung:

energi yang terkandung dalam *steam* dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar.

2. Metode Tidak Langsung

efisiensi merupakan perbedaan antara *losses* dan energi yang masuk [8].

Metode perhitungan efisiensi *boiler* yang akan dilakukan pada eksperimen kali ini adalah metode tidak langsung.

2.3.1 Metode Tidak Langsung

Metode tidak langsung ini sering disebut dengan metode *heat loss*. Efisiensi dihitung dengan cara mengurangi bagian kehilangan panas dengan nilai 100%, dapat diuraikan sebagai berikut:

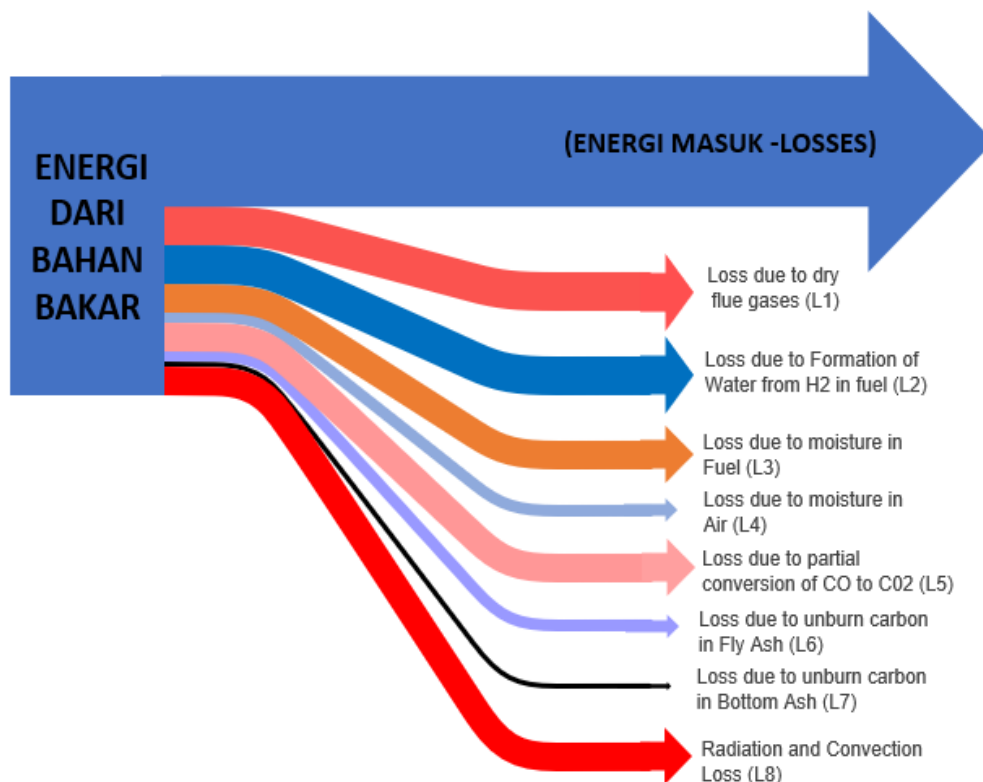
$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = [100 - (a + b + c + d + e + f + g + h)]\%$$

Dimana *losses* yang terjadi dalam *boiler* antara lain:

- a. *Losses* karena gas kering yang keluar dari cerobong/*stack*
- b. *Losses* karena terbentuknya *moisture* sebagai akibat adanya atom H_2 (hidrogen) dalam bahan bakar
- c. *Losses* karena penguapan kadar air (*moisture*) dalam bahan bakar
- d. *Losses* karena adanya kadar air (*moisture*) dalam udara pembakaran
- e. *Losses* karena adanya CO yang tidak bereaksi sempurna menjadi CO_2
- f. *Losses* karena adanya *unburned carbon* dalam *fly ash*
- g. *Losses* karena adanya *unburned carbon* dalam *bottom ash*
- h. Radiasi dan Konveksi serta kehilangan lain yang tidak terhitung

Sedangkan standar acuan untuk Uji *Boiler* di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code SteamGenerating Units* [8].

Gambaran dari perhitungan efisiensi dengan metode *heat losses* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Sankey Diagram Analisa Efisiensi *Boiler* Metode *Heat Loss*

Menurut standar *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code SteamGenerating Units*, langkah-langkah yang dilakukan untuk menghitung masing-masing *losses* adalah sebagai berikut [9]:

1. Losses karena gas kering yang keluar dari cerobong/stack

- Untuk menghitung *Losses* ini kita harus menghitung dulu kebutuhan udara teoritis pembakaran (TA) sesuai stoikiometri pembakaran batubara:

$$= [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - (O_2/8))\} + (4,32 \times S)]/100 \text{ kg/kg BB} \dots(1)$$

- Kemudian dari data persentase *excess air* (udara lebih) di dapat *actual mass of air supplies/AAS* (pasokan udara bakar aktual):

$$AAS = [1 + (EA/100)] \times \text{udara teoritis (TA)} \dots(2)$$

- Jika data *Excess air* (EA) belum ada maka dapat dihitung:

$$EA = \frac{\text{persen } O_2 \times 100}{(21 - \text{persen } O_2)} \dots(3)$$

- Kemudian hitung *actual dry flue gas* (tanpa H₂O), yang terdiri atas:

a. Massa CO₂ yang terbentuk di *flue gas* :

CO₂ berasal dari atom C yang ada pada bahan bakar sehingga dapat dihitung = (Mr CO₂/Ar C) x (persen atom C/100) ... (a)

b. Massa N₂ yang terkandung di Bahan bakar :

Didapat dari analisa karbon = %N₂/100 di batubara ... (b)

c. Massa N₂ yang terdapat pada udara pembakaran :

Didapat dari kadar N₂ di atmosfer (77%) = (77/100) ... (c)

d. Massa O₂ yang tersisa di *flue gas*:

Dihitung dari selisih *excess air* dengan udara teoritis yang dikali persen O₂ di *atmosphere* (23%) = (EA-TA) x (23/100) ... (d)

- Maka *total actual dry flue gas* (tanpa H₂O) dilambangkan (m):

$$m = a + b + c + d \dots(4)$$

- Kemudian hitung *Losses* karena *dry flue gas* (L1) tiap 1 kg basis bahan bakar:

$$L1 = \frac{m \times Cp (Tf - Ta)}{GCV BB} \times 100\% \dots(5)$$

Keterangan :

- Cp : Kapasitas panas gas buang (0,23 kkal/kg)
- GCV : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)
- m : Massa *total dry flue gas* (kg/kgBB)
- EA : *Excess air* (kg/kgBB)
- TA : *Theoretical Air* (kg/kgBB)
- T_f : *Temperature Flue gas* (°C)
- T_a : *Temperature ambient* (°C)

2. *Losses* karena terbentuknya *moisture* sebagai akibat adanya atom H₂ (hidrogen) dalam bahan bakar:

- *Losses* ini terjadi karena ada atom H₂ yang berubah menjadi H₂O sehingga menjadi salah satu penyebab hilangnya panas (L2). L2 ini dapat dihitung dengan:

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \times [584 + (Cp \times (T_f - T_a))]}{GCV \ BB} \times 100\% \quad \dots(6)$$

Keterangan :

- Cp : Kapasitas panas *superheated steam* (0,45 kkal/kg)
- GCV : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)
- H₂ : Persen karbon H₂ di bahan bakar (%)
- T_f : *Temperature Flue gas* (°C)
- T_a : *Temperature ambient* (°C)

3. *Losses* karena penguapan kadar air (*moisture*) dalam bahan bakar

- *Losses* ini terjadi karena ada *moisture* yang terdapat di batubara sehingga menjadi salah satu penyebab hilangnya panas (L3). L3 ini dapat dihitung dengan:

$$L3 = \frac{M \times [584 + (Cp \times (T_f - T_a))]}{GCV \ BB} \times 100\% \quad \dots(7)$$

Keterangan :

- Cp : Kapasitas panas *superheated steam* (0,45 kkal/kg)
- GCV : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)
- M : Persen *moisture* di bahan bakar (%)
- T_f : *Temperature Flue gas* (°C)
- T_a : *Temperature ambient* (°C)

4. *Losses* karena adanya kadar air (*moisture*) dalam udara pembakaran
- Kali ini, *Losses* ini terjadi karena ada *moisture* yang terdapat di udara pembakaran sehingga menjadi salah satu penyebab hilangnya panas (L4). L4 ini dapat dihitung dengan mengalikan AAS dengan *humidity* dengan faktor panas:

$$L4 = \frac{AAS \times Humidity \times (Cp \times (T_f - T_a))}{GCV \ BB} \times 100\% \quad \dots(8)$$

Keterangan :

Cp : Kapasitas panas *superheated steam* (0,45 kkal/kg)

GCV : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)

AAS : *Actual air supply* (kg/kgBB)

T_f : *Temperature Flue gas* (°C)

T_a : *Temperature ambient* (°C)

Humidity : Kelembaban udara pembakaran yang masuk
(kg air/kg udara)

5. *Losses* karena adanya CO yang tidak bereaksi sempurna menjadi CO₂

L5 ini dapat dihitung dengan:

$$L5 = \left[\frac{(CO/100) \times C}{CO \times \left(\frac{CO_2}{100}\right)} \right] \times \left[\frac{5774}{GCV \ BB} \right] \times 100 \quad \dots(9)$$

Keterangan :

Cp : Kapasitas panas *superheated steam* (0,45 kkal/kg)

GCV : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)

CO : Kadar CO di *flue gas*

CO₂ : Kadar CO₂ di *flue gas*

6. *Losses* karena adanya *unburned carbon* dalam *fly ash*

Losses L6 dihasilkan dari adanya karbon yang masih tersisa di *fly ash* yang seharusnya bisa jadi energi panas pembakaran, sehingga dianggap sebagai *losses* (L6) dan dapat dihitung dengan mengalikan kg C yang masih tersisa di abu dengan nilai kalori atom karbon (*GCV carbon*):

$$L6 = \left[\frac{GCV \text{ carbon}}{GCV \text{ BB}} \right] \times \% \text{ unburned carbon di FA} \times \% \text{ FA} \times 100\% \dots(10)$$

Keterangan :

% FA : Kadar *fly ash* dalam bahan bakar (kg/kgBB)

GCV BB : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)

GCV carbon: Nilai kalori karbon (kkal/kgBB)

7. *Losses* karena adanya *unburned carbon* dalam *bottom ash*

Losses L7 dihasilkan dari adanya karbon yang masih tersisa di *bottom ash* yang seharusnya bisa jadi energi panas pembakaran, sehingga dianggap sebagai *losses* (L7) dan dapat dihitung dengan mengalikan kg C yang masih tersisa di abu dengan nilai kalori atom karbon (GCV carbon):

$$L7 = \left[\frac{GCV \text{ carbon}}{GCV \text{ BB}} \right] \times \% \text{ unburned carbon di BA} \times \% \text{ BA} \times 100\% \dots(11)$$

Keterangan :

% BA : Kadar *bottom ash* dalam bahan bakar (kg/kgBB)

GCV BB : Nilai kalori batubara (kkal/kgBB)

GCV carbon: Nilai kalori karbon (kkal/kgBB)

8. Radiasi dan Konveksi serta kehilangan lain yang tidak terhitung

Losses L8 ini nilainya biasanya dari empiris perhitungan dilapangan yang berasal dari radiasi dan konveksi dinding *boiler*

Jadi *total losses* dapat dihitung dengan:

$$Losses = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 \dots(12)$$

Sedangkan efisiensi metode tidak langsung dapat dihitung dengan :

$$\eta = 100 - Losses \dots(13)$$

2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Reaksi Kimia

Faktor – faktor yang mempengaruhi sebuah laju reaksi kimia sebuah pembakaran adalah:

2.4.1. Konsentrasi Pereaksi

Konsentrasi memiliki peranan yang sangat penting dalam laju reaksi, sebab semakin besar konsentrasi pereaksinya, maka tumbukan yang akan terjadi juga akan semakin banyak, sehingga menyebabkan laju reaksi itu semakin cepat. Begitu pula, apabila semakin kecil konsentrasi pereaksi,

maka semakin sedikit pula terjadi tumbukan antar partikelnya, sehingga laju reaksinya pun semakin lambat.

2.4.2. Pengaruh Suhu

Suhu juga termasuk berperan dalam mempengaruhi laju reaksi. Apabila suhu pada suatu reaksi yang berlangsung dinaikkan, maka akan menyebabkan sebuah partikel semakin aktif bergerak (energi kinetik membesar), sehingga tumbukan yang terjadi akan semakin sering, menyebabkan laju reaksi semakin cepat. Sebaliknya, apabila suhu diturunkan, maka partikelnya semakin tak aktif lagi, sehingga laju reaksinya pun semakin menurun.

2.4.3. Pengaruh Tekanan

Banyak reaksi yang dapat melibatkan pereaksi dalam wujud gas. Kelajuan dari pereaksi seperti itu juga dipengaruhi akan tekanan. Penambahan tekanan dengan memperkecil sebuah volume akan memperbesar konsentrasinya, dengan yang dilakukan tersebut akan dapat juga memperbesar laju reaksinya.

2.4.4. Katalis

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia pada suhu – suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau juga terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan penting dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun juga produk. Katalis juga memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada saat suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicu kepada pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan sebuah energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk keberlangsungannya sebuah reaksi yang disebut energi aktivasi.

2.4.5. Luas Permukaan Sentuh

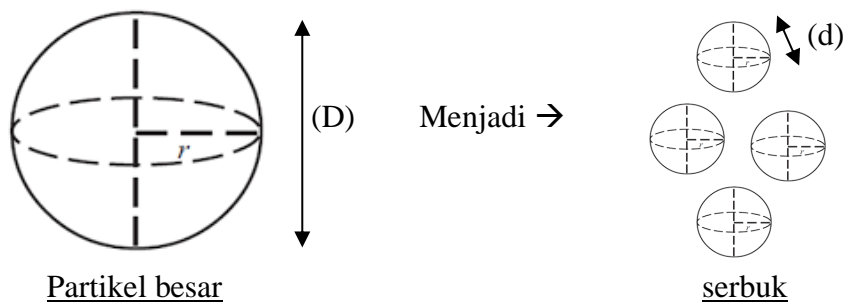
Luas permukaan sentuh juga memiliki peranan yang sangat penting dalam laju reaksi tersebut, sebab semakin besar luas permukaan bidang sentuh antar partikelnya, maka semakin banyak juga tumbukan yang terjadi, sehingga menyebabkan laju reaksi tersebut semakin cepat. Begitu juga sebaliknya, apabila semakin kecil luas permukaan bidang sentuhnya, maka

semakin kecil tumbukan yang terjadi antar partikelnya, sehingga laju reaksi pun akan semakin kecil.

2.5 Hubungan Antara Diameter Partikel Dengan Luas Permukaan Sentuh

Besarnya ukuran partikel akan mempengaruhi besarnya luas permukaan sentuh (kontak) suatu benda pada sebuah reaksi kimia (pembakaran). Jika dalam suatu partikel besar di asumsikan berbentuk ideal seperti bola, dan partikel tersebut dihaluskan dalam satuan berat yang sama maka:

Apabila diketahui:



Keterangan:

$$\text{Volume partikel besar (V)} = \frac{1}{6}\pi D^3 \text{ dalam satuan berat \% wg}$$

$$\text{Luas permukaan sebasar (A)} = \pi D^2$$

$$\text{Volume partikel serbuk (v)} = \frac{1}{6}\pi d^3 \text{ dalam satuan berat \% wg,}$$

Maka pada jumlah berat (% wg) yang sama maka dapat dihitung:

$$\text{Volume partikel besar} = n \times \text{Volume partikel serbuk} \quad \dots(1)$$

Dimana (n) adalah jumlah satuan partikel serbuk dan massa jenis dianggap

Tetap, sehingga:

$$\text{Massa batubara besar} = \text{Massa batubara kecil (serbuk)}$$

$$q \times V = q \times V'$$

Karena massa jenis batubara besar dan kecil dianggap sama maka, (rho)

massa jenis dapat dihilangkan:

$$q \times \frac{1}{6}\pi D^3 = q \times n \times \frac{1}{6}\pi d^3$$

$$\frac{1}{6}\pi D^3 = n \times \frac{1}{6}\pi d^3$$

$$d^3 = \frac{D^3}{n}$$

$$d = D \sqrt[3]{\frac{1}{n}}$$

Sehingga luas permukaan sentuh (kontak) pembakaran partikel serbuk (A') akan menjadi sebesar:

$$A' = n \times \pi d^2$$

$$A' = n \times \pi \left(D \sqrt[3]{\frac{1}{n}} \right)^2$$

$$A' = n \times \pi D^2 \left(\frac{1}{n} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$A' = n \left(\frac{1}{n} \right)^{\frac{2}{3}} \times \pi D^2$$

$$A' = n^{\frac{1}{3}} \times \pi D^2$$

$$A' = n^{\frac{1}{3}} \times A$$

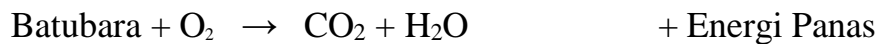
Dimana (A) adalah luas permukaan sentuh partikel besar

Dari persamaan diatas didapatkan bahwa apabila ukuran butir zat (d) yang bereaksi (dalam hal ini batubara) semakin kecil maka luas permukaan kontak pembakaran menjadi lebih besar (A') sebesar $n^{1/3}$ kalinya. Dimana n adalah jumlah butiran batubara serbuk yang terbentuk.

Semakin banyak partikel batubara yang lolos ayakan ukuran 200 mesh maka ukuran partikel batubara semakin kecil sehingga jumlah partikel batubara semakin banyak akan tetapi sebaliknya luas permukaan sentuh (kontak) semakin besar untuk jumlah massa batubara inputan yang sama. Dan dari teori laju reaksi yang sudah dijabarkan diatas, semakin besar luas permukaan sentuh batubara maka reaksi yang terjadi akan semakin cepat dan sempurna.

2.6 Teori Pembakaran Boiler Batubara

Secara umum batubara tersusun atas beberapa unsur kimia penting. Mereka adalah karbon (C), hidrogen (H), sulfur (S), oksigen (O), dan beberapa unsur yang lain. Unsur-unsur tersebut saling berikatan secara kimiawi membentuk senyawa hidrokarbon baru. Ikatan kimia hidrokarbon tersebut menyimpan energi yang jika ikatan tersebut terputus melalui proses pembakaran, energi yang tersimpan tersebut akan terlepas ke lingkungan sekitar. Jika kita tuliskan ke dalam sebuah reaksi kimia, maka pembakaran batubara akan nampak seperti persamaan di bawah ini:



Pembakaran unsur karbon menjadi yang utama menghasilkan energi panas. Pembakaran karbon juga memungkinkan terbentuknya karbon monoksida jika pembakaran tidak sempurna. Kandungan hidrogen dan sulfur di dalam batubara juga menyumbang sebagian kecil energi panas ketika proses pembakaran berlangsung.

Untuk memudahkan pemahaman kita, mari kita perhatikan contoh perhitungan berikut. Kita ambil contoh sebuah hasil analisis kandungan batubara yang ada dalam sampel batubara pertama berikut ini:

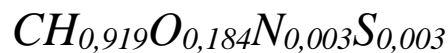
- Karbon : 46,63%
- Hidrogen : 3,57%
- Oksigen : 11,42%
- Nitrogen : 0,73%
- Sulfur : 0,35%
- Air : 28,5%
- Abu : 7,6%

Dari data di atas, kita dapat tentukan nilai $\text{mol}/100 \text{ gram}$ masing-masing komponen batubara, sekaligus kita tentukan $\text{mol}/\text{mol karbon}$ untuk dapat menentukan struktur kimia molekul batubara, antara lain:

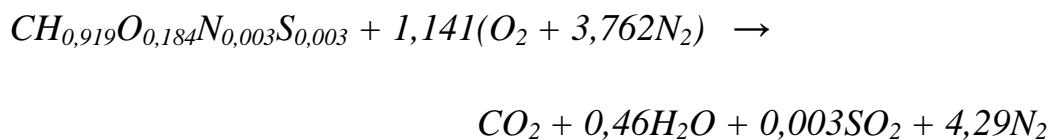
- | | | |
|-------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1. Karbon | = 46,63/12 | → 3,886 mol/100 gram(basis) |
| | 3,886/3,886 mol karbon | = 1 mol/mol karbon(x) |
| 2. Hidrogen | = 3,57/1 | → 3,570 mol/100 gram |
| | 3,570/3,886 mol karbon | = 0,919 mol/mol karbon(y) |

- | | | | |
|-------------|------------------------|------------------------|----------|
| 3. Oksigen | = 11,42/16 | → 0,714 mol/100 gram | |
| | 0,714/3,886 mol karbon | = 0,184 mol/mol karbon |(z) |
| 4. Nitrogen | = 0,73/14 | → 0,013 mol/100 gram | |
| | 0,013/3,886 mol karbon | = 0,003 mol/mol karbon |(p) |
| 5. Sulfur | = 0,35/32 | → 0,011 mol/100 gram | |
| | 0,011/3,886 mol karbon | = 0,003 mol/mol karbon |(r) |

Jika rumus batubara $C_xH_yO_zN_pS_r$ sehingga rumus kimia molekul batubara menjadi:



Dengan sedikit pembulatan ke atas maka udara tersusun atas 79% nitrogen dan 21% oksigen. Sehingga untuk satu mol oksigen, terdapat 3,762 nitrogen. Dengan data tersebut mari kita buat reaksi stoikiometri pembakaran sempurna dari batubara terkait.



Dari persamaan reaksi kimia pembakaran sempurna di atas, maka kita dapat menentukan rasio perbandingan udara/bahan bakar (*air/fuel ratio*), sehingga kita tahu berapa jumlah udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg batubara:

$$AFR = \frac{1,141 (32 + (3,762 \times 28))}{12 + (1 \times 0,919) + (16 \times 0,184) + (14 \times 0,003) + (32 \times 0,003)}$$

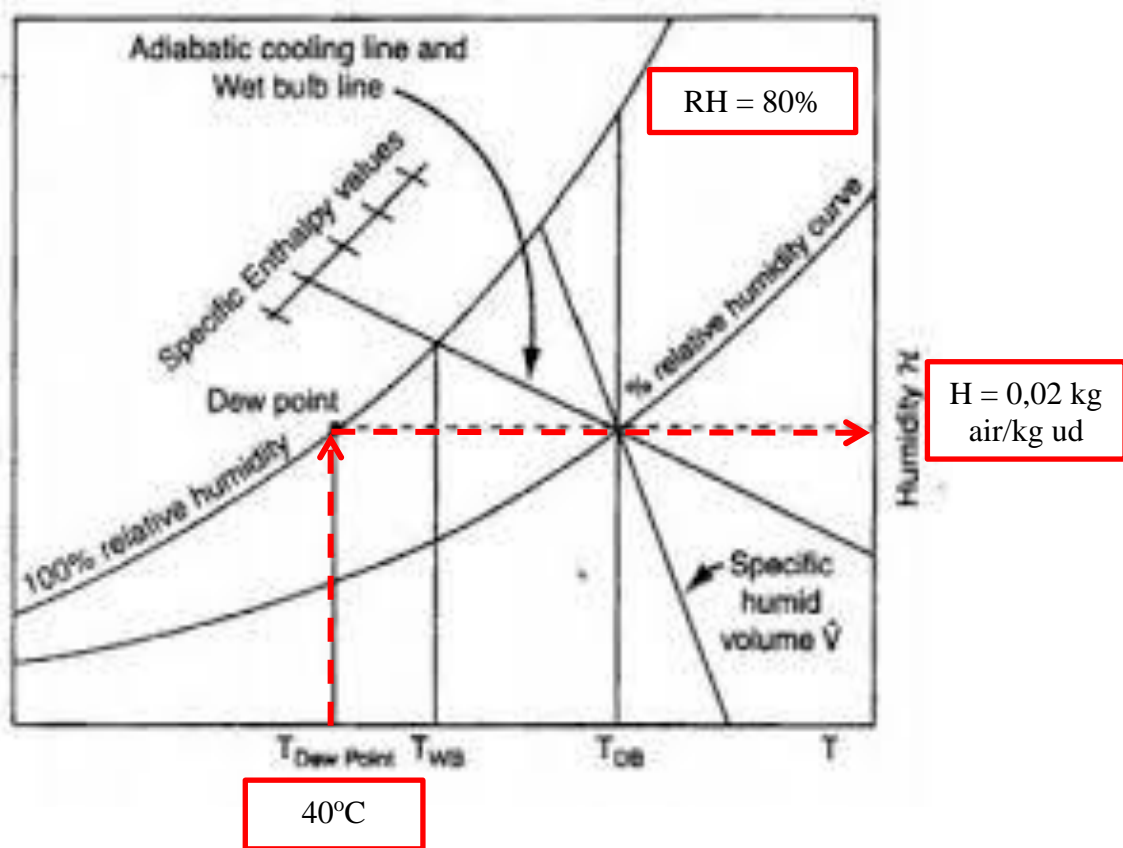
$$AFR = \frac{156,7}{16}$$

$$AFR_{\text{kering}} = 9,75 \text{ kg udara kering/kg batubara}$$

Lalu hitung AFR_{aktual} dengan cara mengkalikan AFR_{kering} dengan $(1 + \text{Humidity})$:

$$AFR_{\text{aktual}} = AFR_{\text{kering}} (1 + H)$$

Nilai H dicari menggunakan grafik psikometrik *chart* pada suhu *dry bulb* udara yang berada di area sisi hisap *Fan*, yaitu 40°C dan nilai ratio humidity 80%.



$$\begin{aligned}
 AFR_{\text{aktual}} &= 9,75 (1 + 0,02) \\
 &= 9,75 \times 1,02 \\
 &= 9,945 \text{ udara udara aktual/kg batubara}
 \end{aligned}$$

Untuk batubara jenis *lignite* nilai *unburned carbon* yang dihasilkan sekitar 0,05% sedangkan untuk batubara jenis *bituminous unburned carbon* yang dihasilkan sekitar 0,5% dan batubara jenis *anthracite* sekitar 5%. Semakin besar kadar karbon dalam batubara maka semakin tinggi nilai *unburned carbon* yang dihasilkan.

Excess air adalah udara lebih yang digunakan dalam pembakaran yang berfungsi membantu pencampuran saat pembakaran. Udara ini jumlahnya harus berlebih akan tetapi tidak boleh berlebihan karena akan menjadi *losses energy* yang keluar dari *stack*. Untuk *pulverized coal boiler*, *excess air* yang digunakan antara 15-20% untuk *front rear boiler* dan 12-18 untuk *tangential boiler*. [12]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimen dan mengambil datanya pada *boiler* PLTU pada saat berbeban 500 MW dengan batubara LRC dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg dengan variasi kadar karbon batubara dan ukuran *fineness* batubara (*coal sizing*). Nilai kalori ± 4200 kkal/kg di sini adalah 4200 ± 250 kkal/kg sesuai batasan awal, yang artinya batubara nilai kalori 3950 – 4450 kkal/kg masih dikelompokkan sebagai batubara LRC dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg

3.1 Penentuan Batasan Dari Data Awal

Sebelum dilakukan eksperimen, mula-mula dicari data awal dari variasi kadar karbon batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg yang pernah dipakai di PLTU Banten 1 Suralaya. Yaitu batubara dengan nilai kalori 3950 – 4450 kkal/kg. Dari data operasi awal, maka diperoleh batasan nilai maksimum, nilai medium dan nilai minimum dari kadar karbon batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg.

Tabel 3.1 Data Variasi Kadar Karbon Batubara Nilai Kalori ± 4200 kkal/kg.

Parameter	Nilai min (C _{44,56})	Nilai med (C _{46,63})	Nilai max (B _{47,78})
<i>Moisture</i>	30.41	28.50	26.57
Karbon	44.56	46.63	47.78
Hidrogen	3.44	3.57	3.49
Oksigen	13.03	11.42	12.05
Sulfur	0.27	0.35	0.47
Nitrogen	0.77	0.73	0.74
<i>Ash</i>	7.53	7.60	26.57

Dari data awal tersebut, maka dapat dihitung kebutuhan udara teoritis menggunakan perhitungan udara pembakaran menggunakan stoikiometri, yaitu

- a. Hitung kebutuhan oksigen yang bereaksi dengan atom C (kg O₂/kgBB)
 Kebutuhan O₂ atom C = (%C/100) x (32/12)(a)

- b. Hitung kebutuhan oksigen yang bereaksi dengan H₂ (kg O₂/kg BB)
 Kebutuhan O₂ atom 2H₂ = (%C/100) x (32/4)(b)
- c. Hitung kebutuhan oksigen yang bereaksi dengan atom S (kg O₂/kg BB)
 Kebutuhan O₂ atom S = (%C/100) x (32/32)(c)
- d. Oksigen dalam batubara sebagai pengurang kebutuhan oksigen pembakaran ditulis sebagai (d)

Sehingga dapat dihitung kebutuhan oksigen teoritis, yaitu:

$$O_2 \text{ teoritis} = a + b + c - d \quad \text{.....(e)}$$

Dengan asumsi kadar oksigen di dalam udara adalah 21% volume dan 23,2% berat, maka dapat dihitung kebutuhan udara teoritis :

$$\text{Udara teoritis} = (100/23,2) \times (e) \quad \text{.....(f)}$$

Dari formulasi diatas maka dapat ditarik perhitungan nilai *excess air* udara pembakaran dengan total udara aktual:

$$\% \text{ Excess air} = \frac{\text{udara aktual} - \text{udara teoritis}}{\text{udara teoritis}} \times 100\% \quad \text{.....(g)}$$

Sehingga udara aktual dalam kg udara/kg BB dapat dihitung :

$$\text{Udara aktual} = \frac{(\text{udara teoritis} \times \% \text{ excess air}) + (100 \times \text{udara teoritis})}{100} \quad \text{.....(h)}$$

Pada saat beban 500 MW, *Total coal flow* yang diperlukan adalah (i), sehingga nilai udara aktual dalam ton/jam, yaitu:

$$\text{Udara aktual (ton/jam)} = \text{Udara aktual (h)} \times \text{Total coal flow (i)} \quad \text{.....(j)}$$

Kemudian dengan *psychometric chart*, dengan kondisi temperature *ambient* 30 °C dan *humidity* di lapangan 60 - 80% maka, dapat ditarik garis perpotongan, didapat nilai *humidity ratio*, yaitu nilai kg air dalam kg udara kering adalah 0,018 - 0,022 kg *water/kg air*. Sehingga dapat dihitung *actual air flow* dengan kondisi *humidity* aktual adalah :

$$\text{Actual air flow} = (j) \times (0,018 \text{ s/d } 0,022) \text{ kg air/kg udara} + (j) \quad \text{.....(k)}$$

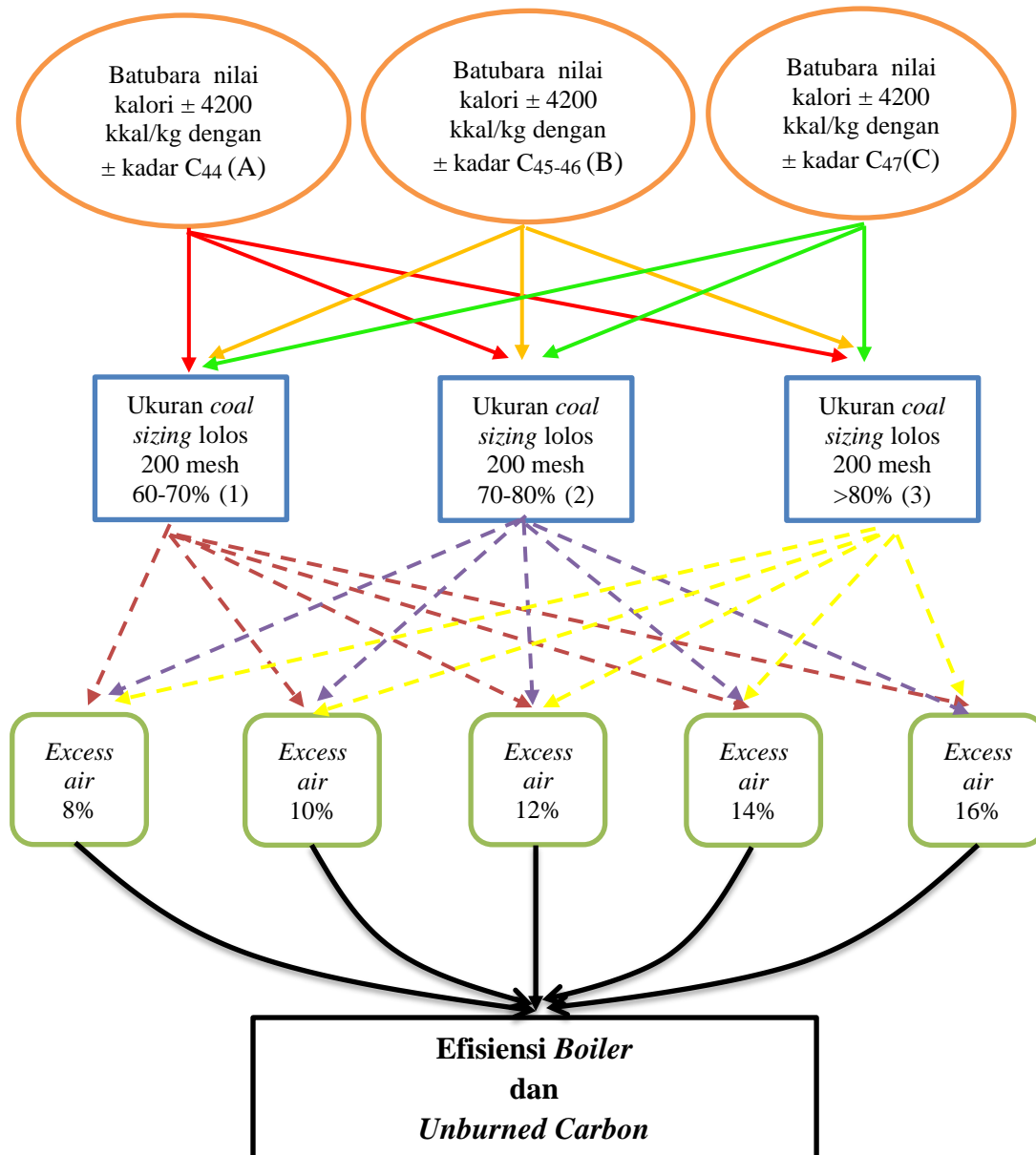
Kemudian disusun tabel untuk penentuan nilai *excess air* masing-masing variasi kadar karbon batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg.

Tabel 3.2 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis Dan Aktual Untuk Berbagai Variasi Kadar Karbon Batubara Dalam Kelompok Batubara Nilai Kalori ± 4200 kkal/kg.

Parameter Karbon	C _{44,56}	C _{46,63}	C _{47,78}
Nilai Kalori (kkal/kg)	4227,07	4356	4424
<i>Moisture</i> (% wt)	30.41	28.50	26.57
Karbon (% wt)	44.56	46.63	47.78
Hidrogen (% wt)	3.44	3.57	3.49
Oksigen (% wt)	13.03	11.42	12.05
Sulfur (% wt)	0.27	0.35	0.47
Nitrogen (% wt)	0.77	0.73	0.74
<i>Ash</i> (% wt)	7.53	7.60	8.93
Kebutuhan O ₂ teoritis (kgO ₂ /KgBB)	1.3356	1.4184	1.4375
Kebutuhan Udara teoritis (kgUd/KgBB)	5.7569	6.1136	6,1962

Kemudian masing-masing variasi kadar karbon batubara dikelompokan dengan yang ukuran *coal sizing*nya sejenis. Masing-masing jenis batubara dengan kadar karbon tertentu dan *coal sizing* tertentu kemudian divariasikan nilai *excess air*nya dengan variasi 8%, 10%, 12%, 14% dan 16%.

Secara skematik variasi metode pengambilan sampel uji dengan berbagai variasi kadar karbon dan *coal sizing* batubara dapat digambarkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Matrix Variasi Kadar Karbon Batubara Dan *Coal Sizing* Batubara Terhadap *Excess Air* Serta Pengaruhnya Terhadap Efisiensi *Boiler* Dan *Unburned Carbon*.

Dari matriks *chart* diatas maka dapat dibuat tabel pengambilan data untuk berbagai jenis batubara yang akan divariasikan terhadap nilai *excess air* seperti digambarkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3.3 Tabel Pedoman Pengelompokkan Data Sampel Batubara Dan Variasi *Excess Air*.

No.	Data Sampel Batubara	<i>Excess air-1</i>	<i>Excess air-2</i>	<i>Excess air-3</i>	<i>Excess air-4</i>	<i>Excess air-5</i>
A1	Batubara $\pm C_{44}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 60-70%	Hasil pengambilan data dan perhitungan batubara jenis A1-C1 a. Kurva efisiensi <i>Boiler</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara) b. Kurva Nilai <i>Unburned carbon</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara)				
B1	Batubara $\pm C_{45-46}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 60-70%					
C1	Batubara $\pm C_{47}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 60-70%					
A2	Batubara $\pm C_{44}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 70-80%	Hasil pengambilan data dan perhitungan batubara jenis A2-C2 a. Kurva efisiensi <i>Boiler</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara) b. Kurva Nilai <i>Unburned carbon</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara)				
B2	Batubara $\pm C_{45-46}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 70-80%					
C2	Batubara $\pm C_{47}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh 70-80%					
A3	Batubara $\pm C_{44}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh >80%	Hasil pengambilan data dan perhitungan batubara jenis A3-C3 a. Kurva efisiensi <i>Boiler</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara) b. Kurva Nilai <i>Unburned carbon</i> terhadap <i>excess air</i> (dengan 3 garis kurva variasi kadar C batubara)				
B3	Batubara $\pm C_{45-46}$ dan lolos ayakan ukuran 200 mesh >80%					
C3	Batubara C_{47} dan lolos ayakan ukuran 200 mesh >80%					

Dari matriks diatas, setiap sampel dicek satu persatu kadar *carbon* dalam batubara (karbon) dan *coal sizingnya* dengan ayakan 200 mesh. Apabila diperoleh data yang sesuai dengan matriks data diatas, kemudian minta ke operator *control room* untuk memvariasikan nilai *excess air* mekemudiani pengaturan pembukaan *dampers* IDF dengan pembukaan PAF tetap. Variasi yang dilakukan adalah untuk nilai *excess air* 8%, 10%, 12%, 14% dan 16% dengan menghitung *total air supply* tiap-tiap nilai *excess air*. Cara menghitung *total air supply* disajikan oleh tabel berikut. Variasi *total air flow* hasil perhitungan disajikan pada baris yang berarsir warna biru pada tabel 3.4 – 3.6.

Tabel 3.4 Data Nilai Perhitungan Kebutuhan Udara *Actual* Untuk Variasi *Excess Air* Untuk Batubara Jenis C_{44.56}.

Data C_{44.56}%	run -1	run -2	run -3	run -4	run -5
theoretical O ₂ supply (kg.O ₂ /kg.coal)	1.3356	1.3356	1.3356	1.3356	1.3356
theoretical air supply (kg.air/kg.coal)	5.7569	5.7569	5.7569	5.7569	5.7569
<i>Excess air</i> (%)	8	10	12	14	16
<i>Actual</i> air supply (kg.air/kg.coal)	6.2175	6.3326	6.4478	6.5629	6.6780
<i>Total coal flow</i> (ton/hour)	295	295	295	295	295
<i>Actual</i> air supply (ton/hour)	1834	1868	1902	1936	1970
<i>Actual</i> air supply+ <i>humidity</i> (ton/hour)	1874	1908	1942	1976	2010

Tabel 3.5 Data Nilai Kebutuhan Udara *Actual* Untuk Variasi *Excess Air* Untuk Batubara Jenis C_{46.63}.

Data C_{46.63}%	run -1	run -2	run -3	run -4	run -5
theoretical O ₂ supply (kg.O ₂ /kg.coal)	1.4184	1.4184	1.4184	1.4184	1.4184
theoretical air supply (kg.air/kg.coal)	6.1136	6.1136	6.1136	6.1136	6.1136
<i>Excess air</i> (%)	8	10	12	14	16
<i>Actual</i> air supply (kg.air/kg.coal)	6,6029	6,7252	6,8474	6,9697	7,0920
<i>Total coal flow</i> (ton/hour)	292	292	292	292	292
<i>Actual</i> air supply (ton/hour)	1928	1964	1999	2035	2071
<i>Actual</i> air supply+ <i>humidity</i> (ton/hour)	1968	2004	2039	2075	2111

Tabel 3.6. Data Nilai Kebutuhan Udara *Actual* Untuk Variasi *Excess Air* Untuk Batubara Jenis C_{47.78}.

Data C_{47.78}%	run -1	run -2	run -3	run -4	run -5
theoretical O ₂ supply (kg.O ₂ /kg.coal)	1.4375	1.4375	1.4375	1.4375	1.4375
theoretical air supply (kg.air/kg.coal)	6,1962	6,1962	6,1962	6,1962	6,1962
<i>Excess air</i> (%)	8	10	12	14	16
<i>Actual</i> air supply (kg.air/kg.coal)	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
<i>Total coal flow</i> (ton/hour)	285	285	285	285	285
<i>Actual</i> air supply (ton/hour)	1907	1942	1978	2013	2048
<i>Actual</i> air supply+ <i>humidity</i> (ton/hour)	1947	1982	2018	2053	2088

3.2 Pelaksanaan Eksperimen dan Pengambilan sampel

Pelaksanaan kegiatan eksperimen dilakukan dengan mengukur pengaruh variasi *total air flow* yang diperoleh dari variasi nilai *excess air* dengan cara memvariasikan pembukaan *dampers* IDF A dan B pada kondisi *primary air* tetap, terhadap nilai *unburned carbon* pada abu serta mengukur nilai efisiensi total dari *boiler* menggunakan perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode *heat loss*. Pada eksperimen ini data utama yang diambil adalah sebagai berikut:

a. Data kualitas batubara

Data kualitas batubara diperoleh dengan cara mengambil sampel batubara pada titik yang telah ditentukan yaitu pada *coal pipe outlet mill* yang sedang beroperasi.



Gambar 3.2 Foto Lokasi Pengambilan Sampel Batubara Dan *Coal Fineness* Di *Coal Pipe Outlet Mill*.

Data kualitas batubara kemudian dianalisa di laboratorium kimia bahan bakar dengan parameter uji sebagai berikut:

1. Nilai Kalori batubara
2. Kadar *Total Moisture* dalam batubara
3. Kadar Abu dalam batubara
4. Kadar Karbon dalam batubara
5. Kadar Oksigen dalam batubara
6. Kadar Hidrogen dalam batubara

7. Kadar Sulfur dalam batubara
8. Kadar Nitrogen dalam batubara, serta
9. *Coal sizing* sampel batubara yang diambil



Gambar 3.3 Foto Salah Satu Alat Analisa Batubara LECO CHN628.

b. Data kondisi Udara masuk *boiler*

Data ini diambil menggunakan peralatan *humiditymeter* dan *thermometer* untuk mengukur kondisi atmosferis udara di sekitar *boiler*. Data ini berfungsi untuk mengukur efisiensi *boiler* dengan metode *heat loss*. Data yang diambil yaitu:

1. *Dry bulb temperature*
2. *Humidity*



Gambar 3.4 Foto Alat Analisa *Humidity Digital Analyzer*.

c. Data kondisi *flue gas outlet boiler*

Data kondisi *flue gas outlet boiler* diambil pada titik *inlet APH, outlet boiler*. Data ini diambil menggunakan *flue gas analyzer* untuk mengetahui properties *flue gas* keluar dari *boiler*. Data *flue gas* nantinya berfungsi untuk menghitung *losses* pada *boiler* yang berkaitan dengan sisi *flue gas*. Data yang dicatat pada alat *flue gas analyzer* antara lain:

1. Kadar CO dalam *flue gas*
2. Kadar CO₂ dalam *flue gas*
3. Suhu *flue gas* keluar dari *boiler*



Gambar 3.5 Peralatan TESTO *Flue gas Analyzer*.

d. Data kualitas abu

Abu yang diambil disini adalah *fly ash* dan *bottom ash*. Abu tersebut diambil sampelnya pada SDCC dan ESP kemudian ditimbang di laboratorium. Hasil nilai *unburned carbon* di dalam abu dianalisa menggunakan alat *thermogravimetric analyzer* yang ada di laboratorium bahan bakar



Gambar 3.6 Foto lokasi pengambilan sampel *bottom ash* di SDCC.



Gambar 3.7 Foto lokasi pengambilan sampel *fly ash* di *hopper* ESP.

Dari pengambilan sampel abu dan analisisnya di Laboratorium didapatkan parameter utama dalam eksperimen ini yaitu *unburned carbon*.

Sehingga dapat disimpulkan, dalam eksperimen ini harus dilakukan pengambilan beberapa sampel, antara lain :

1. Sampel batubara
2. Sampel Udara *ambient*
3. Sampel *Flue Gas*
4. Sampel Abu

Sedangkan Parameter yang didapat dari pengujian sampel tersebut antara lain:

1. Nilai Kalori batubara
2. Kadar *Total Moisture* dalam batubara
3. Kadar Abu dalam batubara
4. Kadar *Carbon* dalam batubara
5. Kadar Oksigen dalam batubara
6. Kadar Hidrogen dalam batubara
7. Kadar Sulfur dalam batubara
8. Kadar Nitrogen dalam batubara, serta
9. *Coal sizing* sampel batubara yang diambil
10. *Dry bulb temperature* udara *ambient*
11. *Humidity* udara *ambient*

12. Kadar CO dalam *flue gas*
13. Kadar CO₂ dalam *flue gas*
14. Suhu *flue gas* keluar dari *boiler*
15. *Unburned carbon* dari abu

Pada saat *total air flow* divariasikan mengikuti nilai variasi *excess air* yang telah ditentukan, yaitu 8%, 10%, 12%, 14% dan 16%, data dari 15 parameter diatas diambil dan dicatat sebagai data eksperimen.

Data *coal sizing* dan data kadar *carbon* dalam batubara nantinya akan menentukan jenis golongan sampel. Penggolongan sampel mengikuti matriks yang tertera dalam Gambar 3.1 Sedangkan data *unburned carbon* adalah data hasil eksperimen, yang nantinya akan diploting pada grafik berdasarkan variasi nilai *excess air*. Untuk data yang lain nantinya akan dipakai untuk menghitung nilai efisiensi *boiler* dengan metode *heat loss*. Nilai efisiensi *boiler* ini juga nantinya akan diploting pada grafik dengan variasi nilai *excess air*.

Variasi nilai *total air flow* dilakukan sesuai tabel dari data batasan sebelum percobaan (Tabel 3.4 - Tabel 3.6).

Eksperimen ini dilakukan secara berulang untuk variasi kadar *carbon* C₄₄, C₄₅₋₄₆ dan C₄₇ dalam batubara dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg. Sehingga dapat diketahui nilai *unburned carbon* dan efisiensi *boiler* tiap-tiap variasi sampel batubara dengan kadar *carbon* tertentu, *coal sizing* tertentu dan variasi nilai *excess air* untuk PLTU yang berbeban 500 MW.

3.3. Peralatan Pendukung

Untuk menunjang eksperimen ini digunakanlah peralatan sebagai berikut:

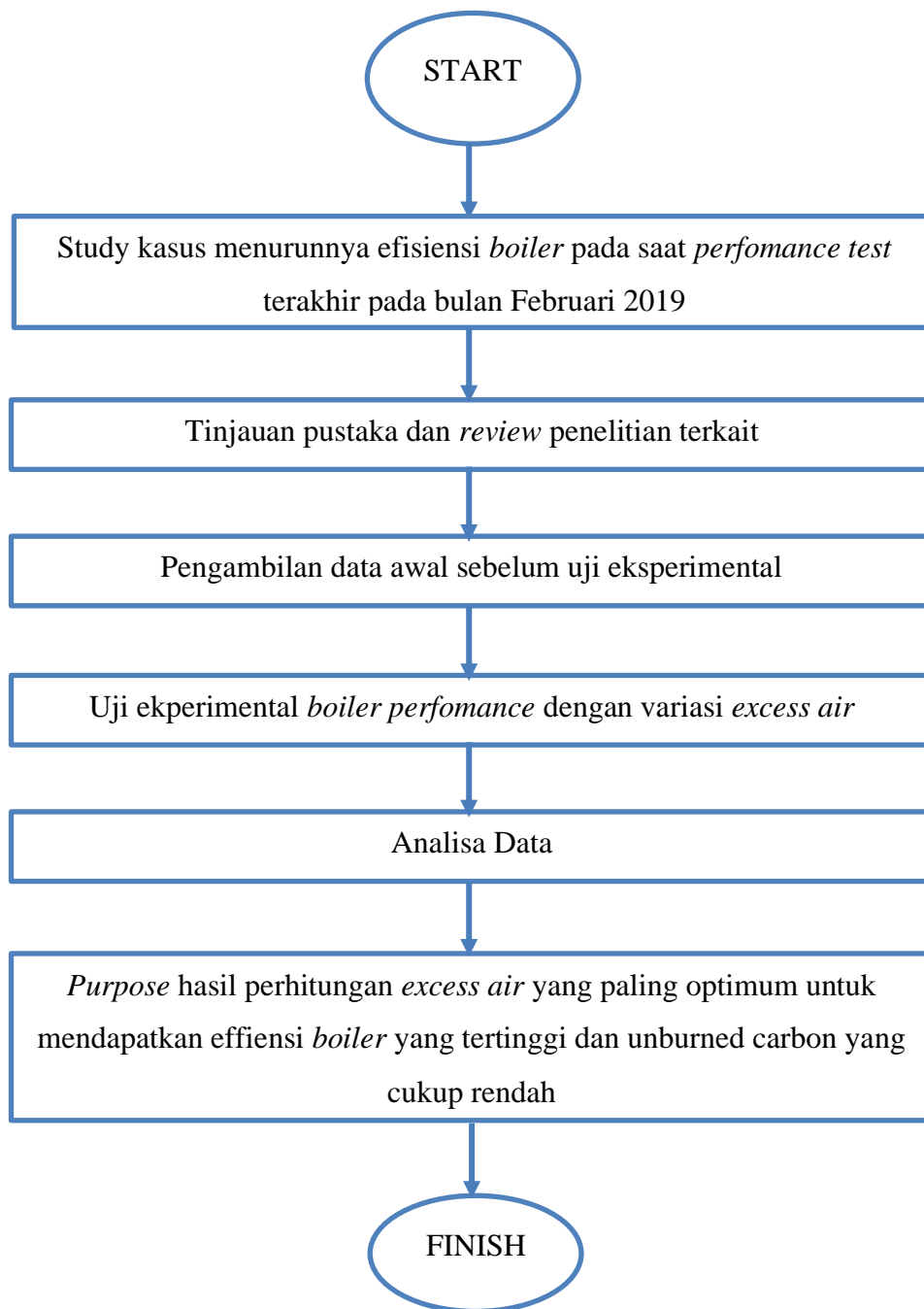
1. *Automatic Calorimeter* LECO AC-600
2. Peralatan Analisa *Proximate* Batubara LECO TGA 701
3. Peralatan Analisa Karbon Batubara LECO CHN 628
4. Alat analisa *Sulfur Analyzer* S-144DR
5. TESTO *Flue gas analyzer*
6. VARIO *Flue gas and environmental analyzer*
7. *Isokinetic Coal Sampler*
8. *Humidity Digital For Ambient*

3.4 Prosedur Pengambilan Data Eksperimen

Berikut prosedur pengambilan data eksperimen ini :

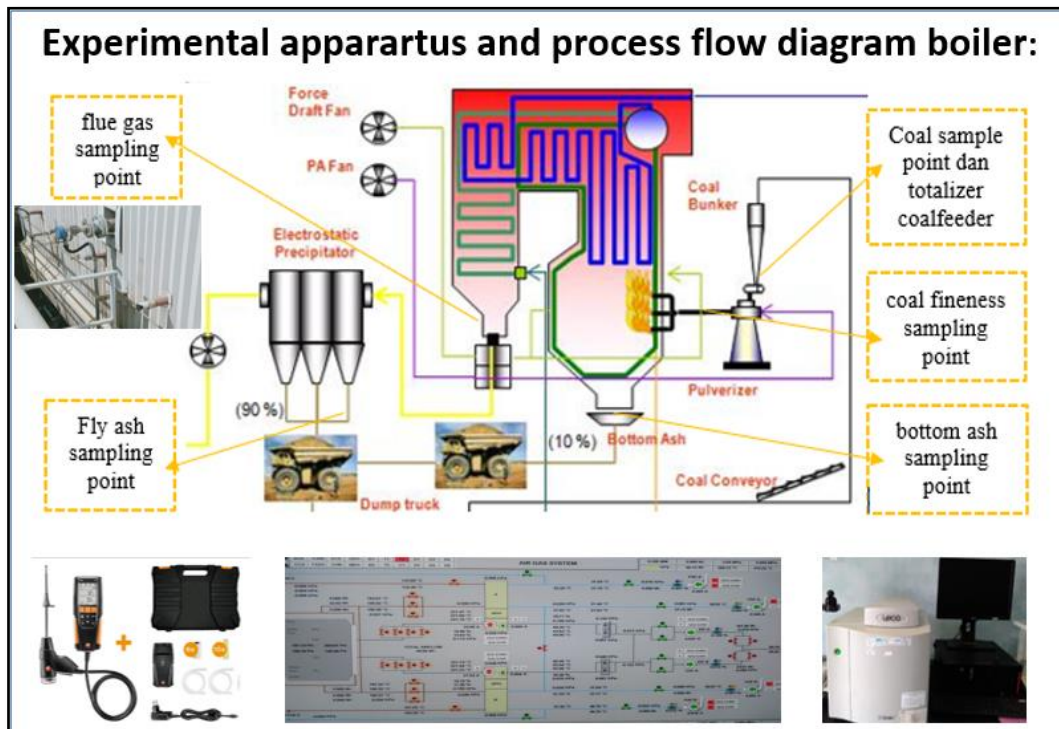
1. Melakukan rapat dan kordinasi dengan bidang terkait untuk pengambilan data efisiensi *boiler*
2. Melakukan pengecekan setiap peralatan monitoring untuk memastikan seluruh alat ukur bekerja dengan baik dan akurat.
3. Melakukan penjadwalanan kegiatan pengambilan data
4. Kordinasi dengan bagian EPA agar menyiapkan batubara yang disuplai ke dalam *boiler* adalah batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg
5. Memastikan beban unit adalah 500 MW
6. Melakukan proses *stabilizing* beban selama 30 menit operasi.
7. Melakukan sampling *coal* and *ash* tiap variasi *total air flow*
8. Melakukan pengambilan data *Coal Fineness* tiap variasi *total air flow*
9. Mengambil data *ambient temperature*
10. Melakukan pengambilan data *flue gas* tiap variasi *total air flow*
11. Melakukan pencatatan *coalfeeder* tiap variasi *total air flow*.
12. Melakukan prosedur tersebut dengan variasi nilai variasi *excess air* 8%, 10%, 12%, 14% dan 16% setiap 30 menit.
13. Melakukan kembali semua prosedur diatas untuk setiap pengambilan data batubara nilai kalori ± 4200

3.5. Flowchart Penelitian



Gambar 3.8 Flowchart Penelitian Yang Digunakan.

3.6. Skema Eksperimen

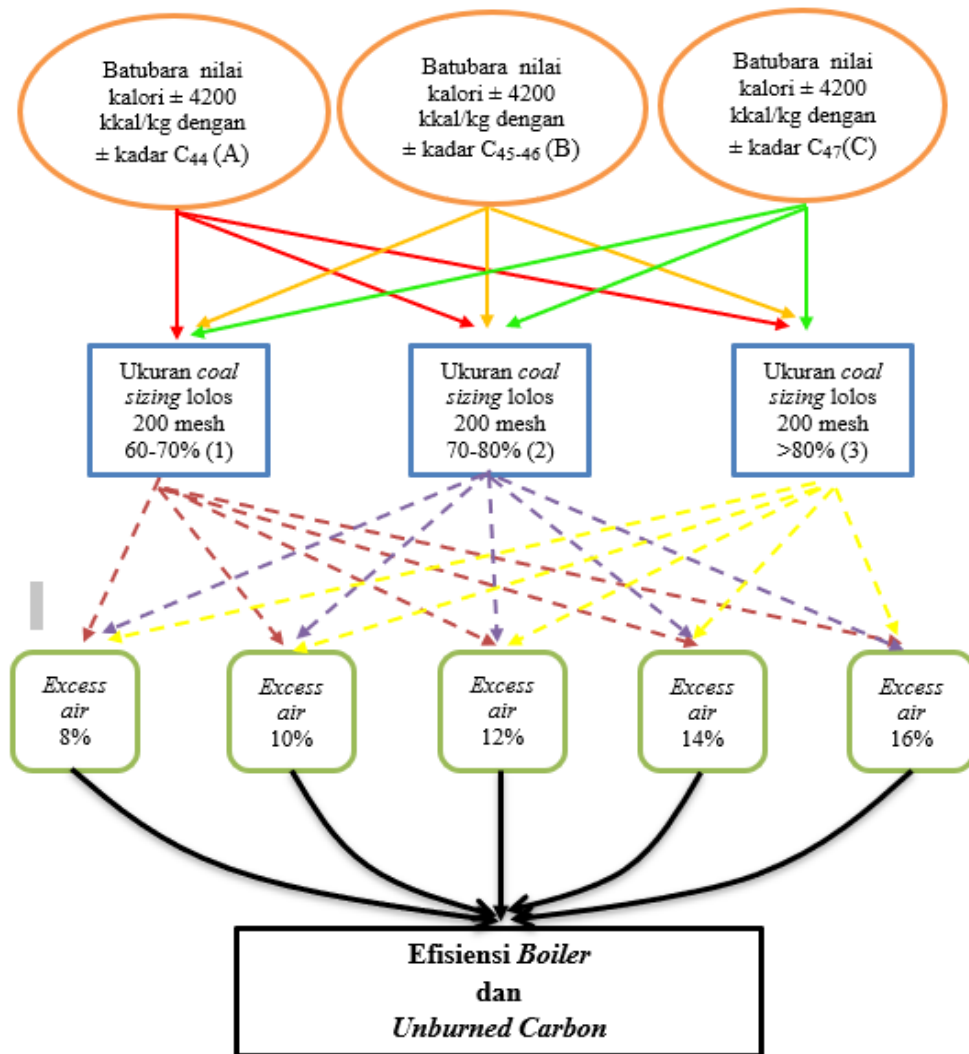


Gambar 3.9 Diagram Alir Eksperimen Dan Lokasi Pengambilan Sampel

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL

Proses pengambilan data eksperimental batubara dengan berbagai kadar *carbon* dan *coal sizing* batubara yang divariasikan nilai *excess air*nya telah beberapa kali dilakukan sepanjang tahun 2019. Perhitungan efisiensi *boiler* dan *unburned carbon* dari data-data tersebut juga telah dilakukan. Dari beberapa data tersebut, sampel batubara dikelompokan mengikuti matriks yang telah ditetapkan, seperti yang digambarkan pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 Matrix Variasi Kadar Karbon Batubara Dan *Coal Sizing* Batubara Terhadap *Excess Air* Batubara.

Hasilnya untuk batubara dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg dan pada beban 500 MW didapat data hasil pengujian kadar *carbon* dalam batubara yang dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis batubara yaitu:

1. Batubara Minimum (A)
yaitu sampel batubara yang memiliki kandungan dengan kadar *carbon* ($\pm C44\%$)
2. Batubara Medium (B)
yaitu sampel batubara yang memiliki kandungan dengan kadar *carbon* ($\pm C45-46\%$)
3. Batubara Maximum (C)
yaitu sampel batubara yang memiliki kandungan dengan kadar *carbon* ($\pm C47\%$)

Kemudian sampel batubara tersebut juga dilakukan analisa *coal sizing* sampel batubara, hasilnya sampel batubara tersebut dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan ukuran *coal sizing*nya yaitu :

1. Batubara ukuran *coal sizing* jenis 1
yaitu sampel batubara dengan range ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 60-70% wt.
2. Batubara ukuran *coal sizing* jenis 2
yaitu sampel batubara dengan range ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 70-80% wt.
3. Batubara ukuran *coal sizing* jenis 3
yaitu sampel batubara dengan range ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak $>80\%$ wt.

4.1. Pengambilan, Pengolahan dan Analisa Data

4.1.1. Data Pertama, 18 Februari 2019.

Pada tanggal 18 Februari 2019 pukul 09:00 telah dilakukan proses pengambilan data pertama pada eksperimen ini. Pengambilan data pertama ini menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal pengambilan data. Data diambil di titik yang telah ditentukan oleh tim pengambilan data, yaitu :

1. Data batubara di *coalpipe outlet mill*
2. Data *flue gas* di *inlet APH, outlet boiler*

3. Data abu di SDCC dan Di ESP
4. Data udara *ambient* di sekitar *suction Fan boiler*

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dianalisa di laboratorium untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, *Ash* dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data dan analisa sampel di laboratorium serta data pencatatan *logbook* dapat disajikan pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4356	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	28,50	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	7,60	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	46,63	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,42	%
6.	Kadar Hidrogen dalam batubara	3,57	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,35	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,73	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	40	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,25	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari <i>boiler</i>	142,1	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,95	%

Dari hasil analisa di laboratorium, nilai kalori batubara sampel pertama ini adalah 4356 kkal/kg. Sampel batubara ini layak dijadikan data percobaan karena memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200 kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel pertama ini adalah sekitar 46%. Dari matriks pengelompokan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, maka sampel pertama batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis medium (B). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 65% maka jenis sampel batubara pertama yang diambil tersebut adalah termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 60-70% yang dalam matriks sampel pada Gambar 4.1 digolongkan sebagai sampel batubara kelompok 1. Sehingga dari gambar matriks sampel diatas, sampel batubara pertama ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok B1.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* metode *heat loss* ini adalah sebagai berikut :

- ✓ *Spesific heat of flue gas* : 0,23 kkal/kg°C
- ✓ *Spesific heat of air ambient* : 0,45 kkal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

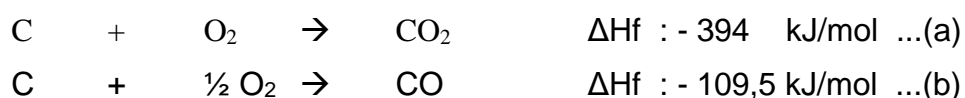
Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel pertama, tanggal 18 Februari 2019 sebesar 84,50%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel pertama, 18 Februari 2019 pukul 09:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-1 Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai kalori batubara	4356	kkal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	46,63	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,95	%
6.	Efisiensi <i>boiler</i>	84,50	%

Dari data pertama ini (B1), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* yang cukup besar yaitu 1,95%. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pasokan oksigen untuk reaksi pembakaran sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak kandungan karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu sehingga nilai *unburned carbon* cukup besar. Selain itu, reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut juga menyebabkan temperatur di ruang bakar menjadi rendah sehingga proses pembakaran batubara menjadi sedikit terhambat. Hal ini juga dapat menyebabkan tingginya nilai *unburned carbon* dalam abu batubara tersebut.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* juga masih tinggi, yaitu sebesar 0,25 % atau sebesar 2500 ppm. Nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak seutuhnya bereaksi sempurna tetapi sebagian hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Sementara perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dengan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk) adalah sebagai berikut:



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel B1 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data batubara tidak diambil lagi, karena sampel yang masuk adalah dari pembongkaran kapal sehingga kondisinya lebih seragam dan homogen. Data analisa batubara

diasumsikan seragam nilainya dan tetap. Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*, data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, 11:00.

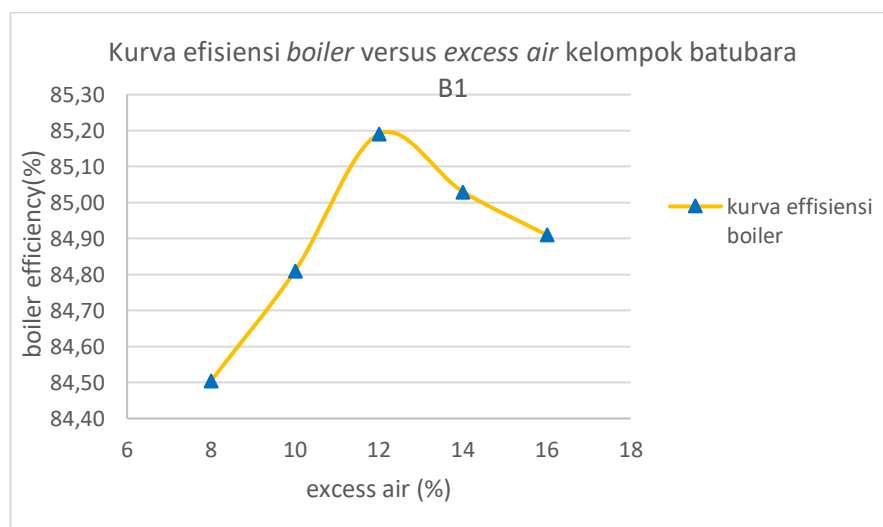
No	Parameter	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	Satuan
Variasi nilai <i>excess air</i>		8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4356	4356	4356	4356	4356	kcal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	28,50	28,50	28,50	28,50	28,50	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	%
4.	Kadar karbon dalam batubara	46,63	46,63	46,63	46,63	46,63	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,42	11,42	11,42	11,42	11,42	%
6.	Kadar Hidrogen dalam batubara	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	65	64,7	64,6	64	%
B.	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	40	40	41	42	42	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	0,0182	0,0181	0,0181	0,018	kg air/kg udara
C.	<i>Data Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,25	0,17	0,09	0,12	0,13	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15	15	15	15	15	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	142,1	141,1	139,5	139,7	139,7	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,95	1,74	1,53	2,5	4,2	%

Selanjutnya data dari sampel B1 untuk percobaan kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*. Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data pertama kelompok B1, 18 Februari pukul 09:00 – 11:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.4 berikut ini:

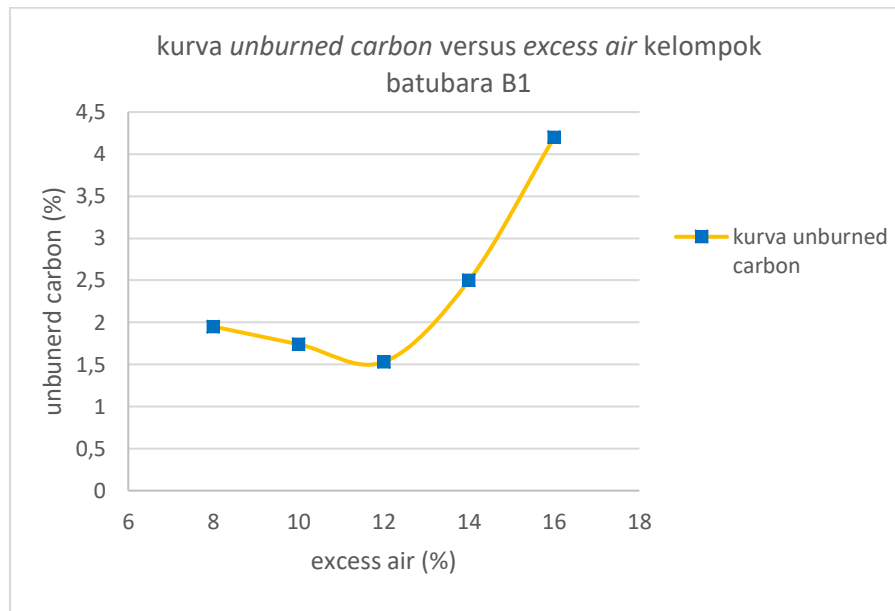
Tabel 4.4 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-1 (B1) Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4356	4356	4356	4356	4356	kkal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	46,63	46,63	46,63	46,63	46,63	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	65	64,7	64,6	64	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,95	1,74	1,53	2,5	4,2	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,50	84,81	85,19	85,03	84,91	%

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi *boiler* versus *excess air* (a) dan grafik *unburned carbon* versus *excess air* (b). Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.2 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* Vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara (B1), Tanggal 18 Februari 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini bisa disebabkan oleh faktor semakin banyaknya udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.4. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* akan meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12%, seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan *unburned carbon* akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

- a. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan suhu udara sekunder adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan

terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

b. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan jatuh terbawa bersama abu sehingga akan menyebabkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara menjadi tinggi.

Dari data eksperimen pada sampel batubara B1 (batubara dengan kadar *carbon* 46,63% dan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh 60-70%) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara B1 pada beban 500 MW yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi dan *unburned carbon* terendah adalah pada nilai 12%.

4.1.2. Data Kedua, 27 Mei 2019.

Pada tanggal 27 Mei 2019 pukul 10:00 kembali dilakukan proses pengambilan data kedua pada eksperimen ini. Pengambilan data kedua ini sama dengan pengambilan data pertama, yaitu menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal, pengambilan data dilakukan pada pukul 10:00. Data diambil di titik yang sama seperti percobaan sebelumnya.

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dibawa ke laboratorium dan dianalisa untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, *Ash* dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data dan analisa sampel di laboratorium serta data pencatatan *logbook* dapat disajikan pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan
Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4227	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	30,41	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	7,53	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	44,56	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	13,03	%
6.	Kadar Hidrogen dalam batubara	3,44	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,27	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,77	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	67	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	42	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,28	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari <i>boiler</i>	138,5	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	%

Dari hasil analisa batubara di laboratorium, nilai kalori batubara sampel kedua ini adalah 4227 kkal/kg. Sampel batubara kedua ini dapat dijadikan data percobaan karena memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200 kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel kedua ini adalah sekitar 44%. Dari matriks pengelompokan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, maka sampel kedua batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis minimum (A). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 67% maka jenis sampel batubara kedua yang diambil tersebut adalah

termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 60-70% yang dalam matriks sampel pada Gambar 4.1 digolongkan pada sampel batubara kelompok 1. Sehingga dari gambar matriks sampel di atas, sampel batubara kedua ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok A1.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* metode *heat loss* ini adalah sebagai berikut :

- ✓ *Specific heat of flue gas* : 0,23 kcal/kg°C
- ✓ *Specific heat of air ambient* : 0,45 kcal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* seperti pada pengambilan data pertama, diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel kedua, tanggal 27 Mei 2019 sebesar 84,43%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel kedua, 27 Mei 2019 pukul 10:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-2 Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai Kalori batubara	4227	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	44,56	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	67	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,43	%

Dari data kedua ini (A1), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* yang cukup besar yaitu 1,95%. Akan tetapi nilai *unburned carbon* tersebut masih lebih kecil dari yang dihasilkan oleh sampel jenis B1 dengan nilai *excess air* yang sama. Berkurangnya nilai *unburned carbon* pada abu antara sampel B1 dengan A1 dengan nilai *excess air* yang sama ini bisa disebabkan oleh berkurangnya kadar karbon dalam batubara sehingga jumlah batubara yang tidak terbakar (*unburned carbon*) berkurang pula. Sementara jumlah *excess air* yang tetap sebesar 8% menyebabkan pasokan oksigen

untuk reaksi pembakaran berkurang, sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu. Hal ini menyebabkan nilai *unburned carbon* pada sampel A1 masih cukup besar.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* juga masih tinggi, yaitu sebesar 0,28 % atau sebesar 2800 ppm. Nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak sepenuhnya bereaksi sempurna tetapi beberapa hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Sementara perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dengan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk) adalah sebagai berikut:



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel A1 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data batubara tidak diambil lagi, karena sampel yang masuk kondisi dari pembongkaran kapal sehingga lebih seragam dan homogen. Data analisa batubara diasumsikan seragam nilainya dan tetap. Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*, data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di Tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00, 10:30, 11:00, 11:30, 12:00.

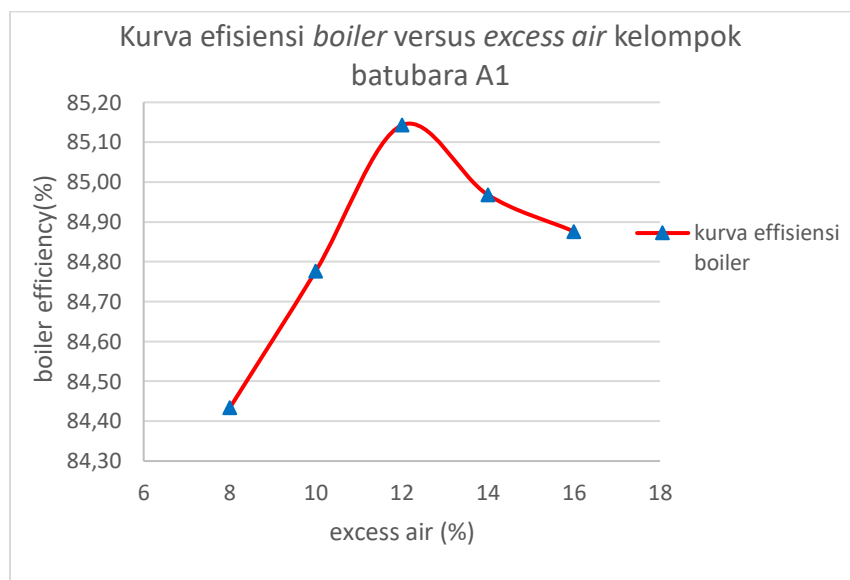
No	Parameter	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	Satuan
	Variasi nilai <i>excess air</i>	8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4227	4227	4227	4227	4227	kcal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	%
4.	Kadar karbon dalam batubara	44,56	44,56	44,56	44,56	44,56	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	67	67,5	66	67	67,1	%
B	Data Udara Ambient (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara ambient	42	42	45	45	46	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara ambient (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	0,0182	0,0181	0,0181	0,018	Kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,28	0,18	0,1	0,13	0,15	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	16	16	16	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	138,5	138	138,15	137,95	137,65	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	1,18	1,34	1,82	3,75	%

Selanjutnya data dari sampel A1 untuk variasi kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*. Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data kedua kelompok A1, 27 Mei 2019 pukul 10:00 – 12:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.8 berikut ini:

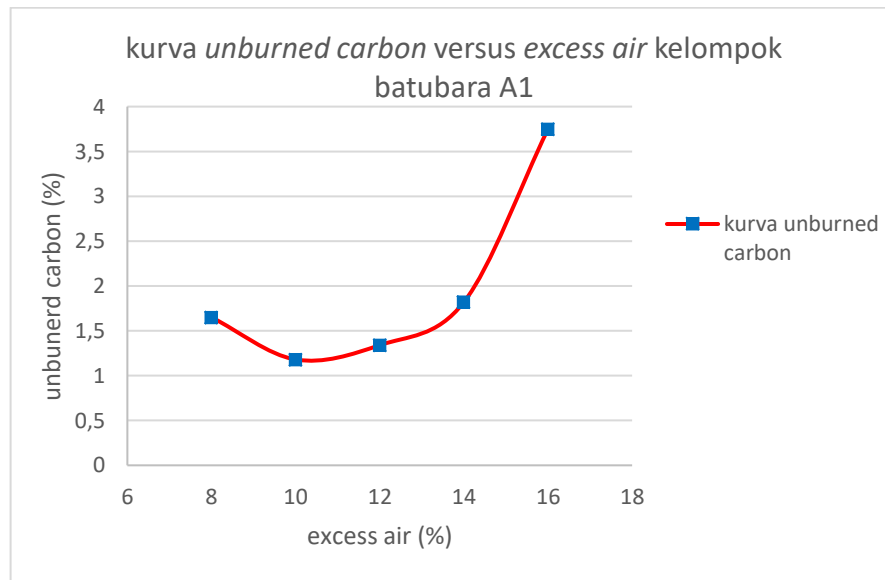
Tabel 4.8 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-2
(A1) Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00 Sd 12:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4227	4227	4227	4227	4227	kcal/kg
	Kadar karbon dalam batubara	44,56	44,56	44,56	44,56	44,56	%
2.	Coal sizing batubara yang lolos 200 mesh	67	67,5	66	67	67,1	%
3.	Excess air	8	10	12	14	16	%
4.	Unburned carbon	1,65	1,18	1,34	1,82	3,75	%
5.	Efisiensi Boiler	84,43	84,78	85,14	84,97	84,88	%

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi boiler versus excess air (a) dan grafik unburned carbon versus excess air (b). Grafik tersebut dapat dilihat di Gambar 4.3 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.3 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* Vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara (A1), Tanggal 27 Mei 2019 Pukul 10:00 Sd 12:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini bisa disebabkan oleh faktor semakin banyaknya udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.7. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* akan meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12% seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan pada nilai *excess air* 10% nilai *unburned carbon* akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

b. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan udara sekunder suhunya adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan

terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan nilai *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

c. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan terbawa bersama abu sehingga akan meningkatkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara.

Dari data eksperimen pada sampel batubara A1 (batubara dengan kadar *Carbon* 44,56% dan *coal sizing* lolos 200 mesh 60-70%) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara A1 pada beban 500 MW yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi adalah 12% dan yang menghasilkan nilai *unburned carbon* terendah adalah pada nilai *excess air* 10%.

4.1.3. Data Ketiga, 19 Agustus 2019.

Pada tanggal 19 Agustus 2019 pukul 09:00 kembali dilakukan proses pengambilan data ketiga pada eksperimen ini. Pengambilan data ketiga ini sama dengan pengambilan data pertama maupun data kedua, yaitu menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal, pengambilan data dilakukan pada pukul 09:00 pagi. Data diambil oleh tim pengambilan data di titik yang telah ditentukan pada bab metode eksperimen seperti pada percobaan sebelumnya.

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dibawa ke laboratorium dan dianalisa untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, *Ash* dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Data ini keluar hasilnya dari laboratorium setelah 3-7 hari kerja, tergantung beban kerja alat analisa batubara. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* diambil menggunakan alat bantu eksperimen dan

hasilnya dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data lapangan, data hasil analisa sampel di laboratorium dan data pencatatan *logbook* disajikan pada Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.9 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4424	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	26,57	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	8,93	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	47,78	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	12,05	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,49	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,47	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,74	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	40	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	Kg air/kg udara
C.	<i>Data Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,23	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari <i>boiler</i>	142,1	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	2,05	%

Dari hasil analisa batubara di laboratorium, nilai kalori batubara sampel ketiga ini adalah 4424 kkal/kg. Sampel batubara ketiga ini dapat dijadikan data percobaan karena memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200 kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel ketiga ini adalah sekitar 47%. Dari matriks pengelompokkan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 maka

sampel ketiga batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis maksimum (C). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 65% maka jenis sampel batubara ketiga yang diambil tersebut adalah termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 60-70% yang dalam matriks sampel di Gambar 4.1 digolongkan pada sampel batubara kelompok 1. Sehingga dari gambar matriks sampel di atas, sampel batubara ketiga ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok C1.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* metode *heat loss* ini seragam untuk data pertama, kedua dan ketiga karena interval waktu pengambilan sama yaitu di 2019, adalah sebagai berikut :

- ✓ *Specific heat of flue gas* : 0,23 kcal/kg°C
- ✓ *Specific heat of air ambient* : 0,45 kcal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* seperti pada pengambilan data pertama dan kedua diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel ketiga ini, tanggal 19 Agustus 2019 sebesar 85,14%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel ketiga, 19 Agustus 2019 pukul 09:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3 Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4424	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	47,78	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	2,05	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	85,14	%

Dari data sampel ketiga ini (C1), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* yang cukup besar yaitu 2,05%. Lebih besar dari nilai *unburned carbon* yang dihasilkan oleh sampel jenis A1 maupun B1 pada nilai *excess air* yang sama. Bertambahnya nilai *unburned*

carbon pada sampel C1 bila dibandingkan dengan kandungan *unburned carbon* pada sampel A1 dan B1 untuk nilai *excess air* yang sama, bisa disebabkan oleh bertambahnya kadar karbon dalam batubara sehingga jumlah batubara yang tidak terbakar (*unburned carbon*) bertambah pula. Pada saat percobaan *flow* udara primer *disetting* tetap, sehingga kemungkinan *ratio* udara primer dengan bahan bakar kurang. Sementara jumlah *excess air* sebesar 8% menyebabkan pasokan oksigen untuk reaksi pembakaran berkurang, sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu. Hal ini menyebabkan nilai *unburned carbon* pada sampel C1 ini cukup tinggi dibanding dua sampel sebelumnya.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* masih cukup tinggi, yaitu sebesar 0,23 % atau sebesar 2300 ppm. Akan tetapi nilai kadar CO ini masih relatif lebih kecil daripada sampel A1 dan B1. Akan tetapi, nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak sepenuhnya bereaksi sempurna tetapi beberapa hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Berikut data perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk):



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel C1 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data analisa batubara diasumsikan seragam nilainya dan tetap karena bersumber dari

satu pembongkaran kapal. Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*, data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di Tabel 4.11 berikut ini:

Tabel 4.11 Tabel pengambilan data dan analisa laboratorium percobaan tanggal 19 agustus 2019 pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, 11:00.

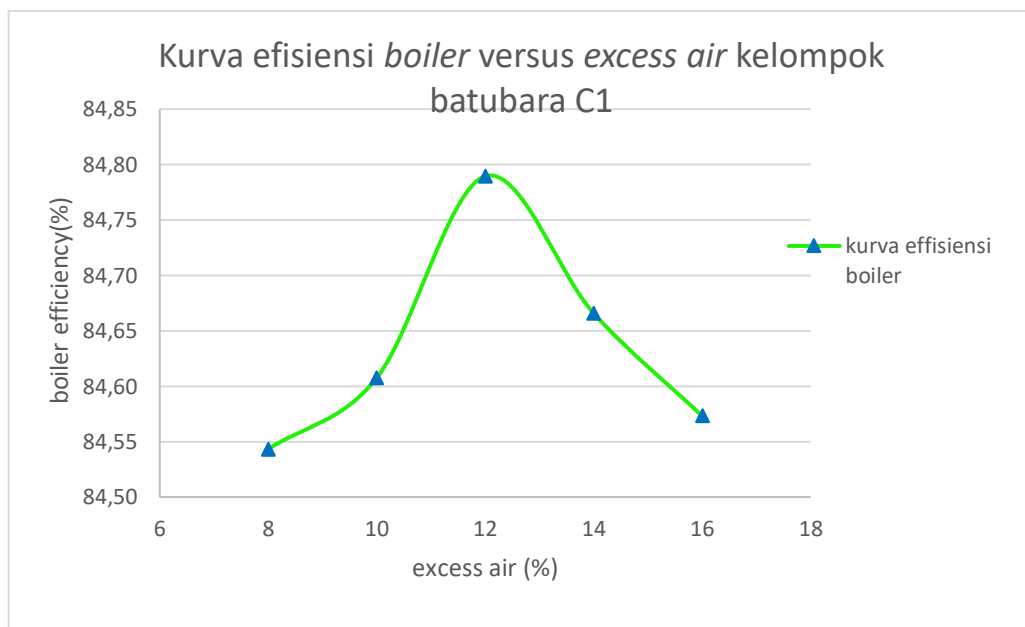
No	Parameter	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	Satuan
Variasi nilai <i>excess air</i>		8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4424	4424	4424	4424	4424	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	26,57	26,57	26,57	26,57	26,57	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	47,78	47,78	47,78	47,78	47,78	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	64,7	64,1	65,3	65,5	%
B.	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	40	40	41	42	42	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	0,0182	0,0181	0,0181	0,018	Kg air/kg udara
C.	<i>Data Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,23	0,16	0,09	0,11	0,13	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	16	16	16	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	142,1	141,1	139,5	139,7	139,7	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	2,05	1,45	2,2	3,7	4,8	%

Selanjutnya data dari sampel C1 untuk variasi *excess air* kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*. Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data kedua kelompok C1, 19 Agustus 2019 pukul 09:00 – 11:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.12 berikut ini:

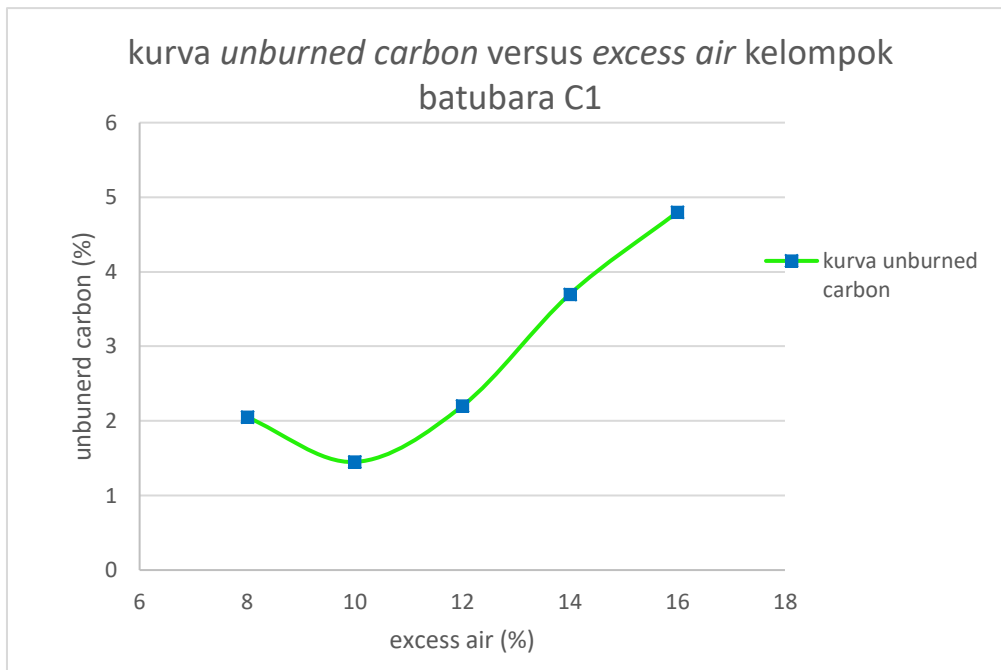
Tabel 4.12 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3 (C1) Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4424	4424	4424	4424	4424	kkal/kg
2.	Kadar Karbon dalam batubara	47,78	47,78	47,78	47,78	47,78	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	65	64,7	64,1	65,3	65,5	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	2,05	1,45	2,2	3,7	4,8	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	85,14	85,4	85,69	85,56	85,4	%

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi *boiler* versus *excess air* (a) dan grafik *unburned carbon* versus *excess air* (b). Grafik tersebut dapat dilihat di Gambar 4.4 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.4 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler Vs Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon Vs Excess Air* (b) Untuk Batubara (C1), Tanggal 19 Agustus 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini disebabkan oleh faktor semakin banyaknya udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.11. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* semakin meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12% seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan pada nilai *excess air* 10% nilai *unburned carbon* juga akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

- c. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan udara sekunder suhunya adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan nilai *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

d. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan terbawa bersama abu sehingga akan meningkatkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara.

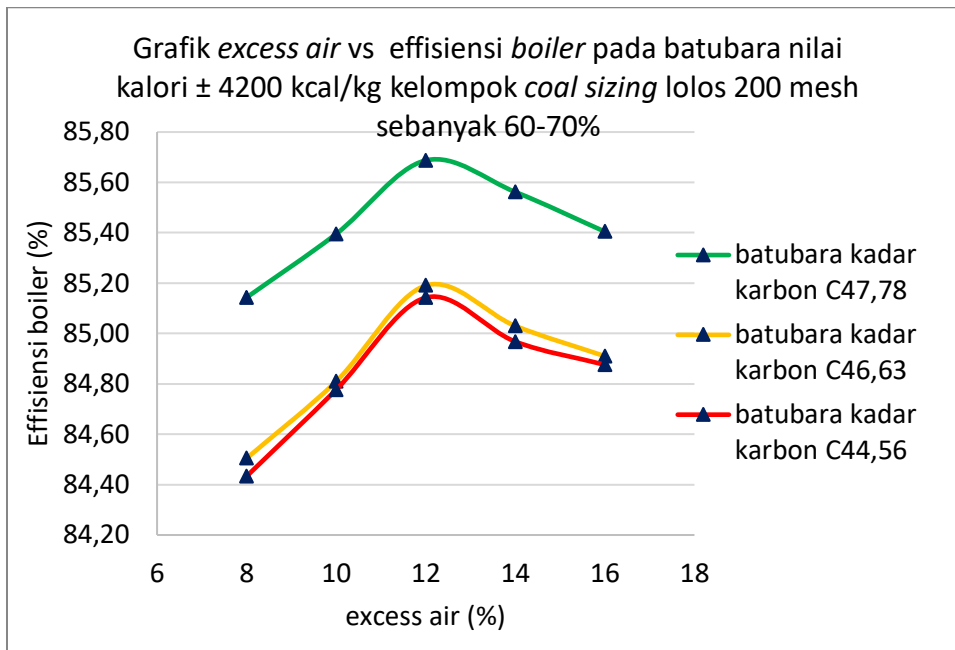
Dari data eksperimen pada sampel batubara C1 (batubara dengan kadar *Carbon* 47,78% dan *coal sizing* lolos 200 mesh 60-70%) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara C1 pada beban 500 MW yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi adalah 12% dan yang menghasilkan nilai *unburned carbon* terendah adalah pada nilai *excess air* 10%.

4.1.4 Analisa data pertama, kedua dan ketiga sampel batubara

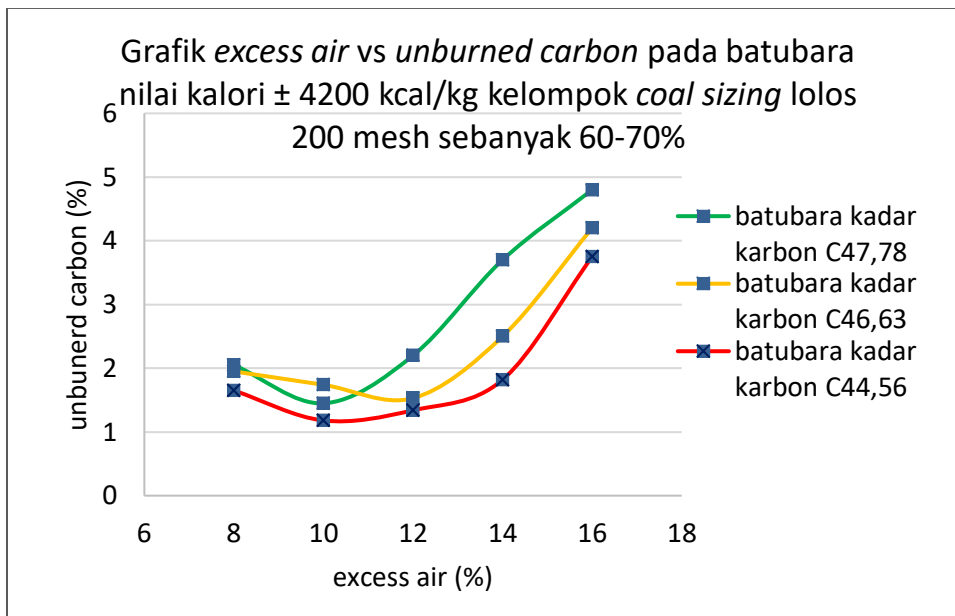
Dari tiga jenis sampel batubara yang telah diambil yaitu jenis batubara A1, B1 dan C1 maka dapat dibuat sebuah pengelompokan bahwa sampel pertama, kedua dan ketiga adalah kelompok sampel batubara jenis ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh 60-70%.

Sehingga untuk sampel batubara ukuran *coal sizing* yang seragam dengan kandungan karbon dalam batubara yang bervariasi 44,56%, 46,63% dan 47,78% maka grafik variasi *excess air* terhadap efisiensi *boiler* kelompok jenis batubara

ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh 60-70% dapat digambarkan di Gambar 4.5 grafik (a) sedangkan untuk grafik variasi *excess air* terhadap *unburned carbon* digambarkan pada Gambar 4.5 grafik (b).



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik Data Eksperimen Efisiensi Boiler Vs Excess Air (A) Dan Grafik Unburned Carbon Vs Excess Air (B) Untuk Batubara Kelompok Coal Sizing Lolos 200 Mesh 60-70%

Dari grafik (a) diatas, dapat dilihat bahwa dengan ukuran *coal sizing* yang seragam yaitu lolos 200 mesh sebanyak 60-70%, untuk variasi kadar karbon dalam batubara yang meningkat dari 44,56%, 46,63% dan 47,78% maka nilai efisiensi *boiler* akan meningkat pula. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

a. Semakin tinggi temperatur ruang bakar

Semakin tinggi kadar karbon dalam batubara, maka akan semakin tinggi nilai kalori batubara. Sehingga temperatur ruang bakar juga meningkat. Hal ini menyebabkan efisiensi total boiler menjadi meningkat karena semakin sempurnanya reaksi pembakaran.

b. Semakin tingginya kadar karbon dalam batubara

Semakin tinggi kadar karbon dan kandungan kalori bahan bakar, semakin tinggi pula suhu ruang bakar sehingga reaksi pembakaran menjadi lebih cepat dan sempurna. Pada saat kadar *excess air* mencapai titik optimum akan semakin meningkatkan efisiensi *boiler* tersebut.

Pada grafik (b) kadar *unburned carbon* akan menurun seiring dengan bertambahnya *excess air*, kemudian naik ketika mencapai nilai optimum. Pada batubara kadar karbon 44,56% dan 47,78% nilai optimum *unburned carbon* justru ada di 10% *excess air* sedangkan untuk batubara kadar 46,63% nilai optimum *excess air* untuk *unburned carbon* ada di angka 12%. Hal ini dapat terjadi karena kadar oksigen pada sampel batubara kadar karbon 44,56% dan 47,78% memiliki kadar oksigen yang lebih besar dari sampel batubara kadar karbon 46,63% (>12% wt). Sehingga kebutuhan oksigen pembakaran akan mendapat tambahan dari kadar oksigen yang ada di dalam bahan bakar, dalam hal ini batubara. Sehingga untuk sampel batubara kadar karbon 44,56% dan 47,78% nilai optimum *excess air* justru ada di angka 10%.

Untuk nilai *unburned carbon* akan semakin meningkat dengan meningkatnya kadar karbon dalam batubara, akan tetapi meningkatnya tidak terlalu signifikan dan cenderung mengikuti pola yang seragam. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor antara lain semakin tinggi kandungan karbon dalam batubara. Semakin tinggi kadar karbon dalam batubara, maka semakin banyak pula karbon yang harus bereaksi dengan oksigen. Hal ini juga berpotensi meningkatkan kadar *unburned carbon* dalam abu.

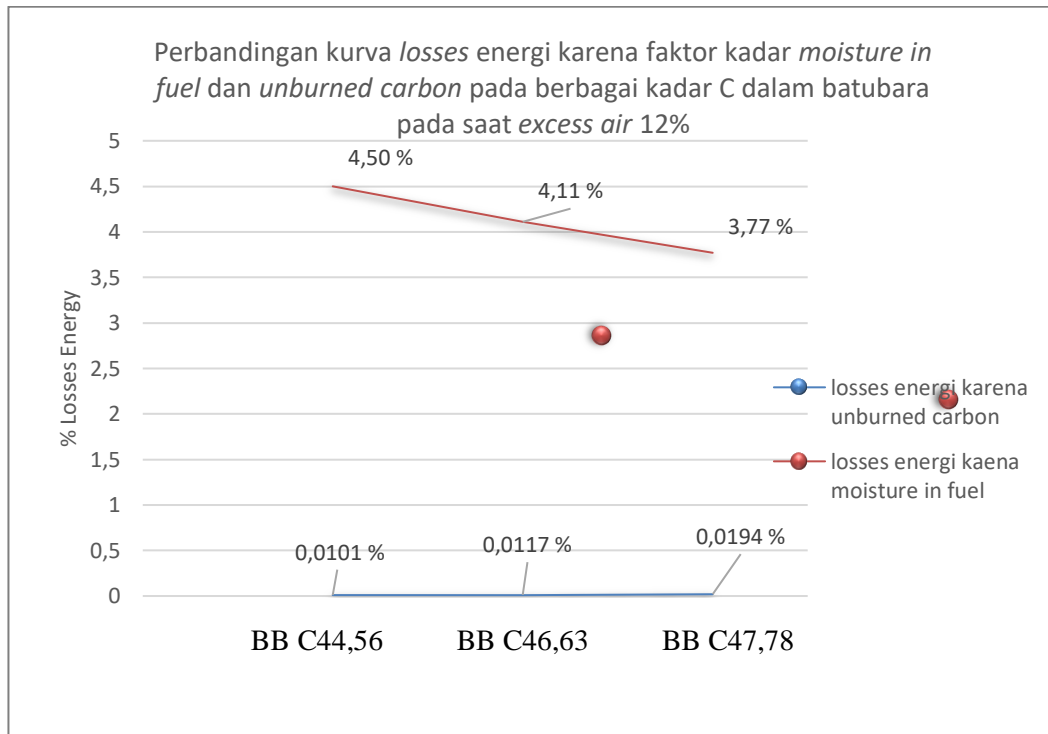
Kenaikan kadar *unburned carbon* dalam eksperimen ini tidak diikuti dengan penurunan efisiensi total *boiler*. Hal ini disebabkan bertambahnya *losses* energi yang dihasilkan oleh terbentuknya *unburned carbon* masih jauh lebih rendah daripada berkurangnya *losses* energi karena penurunan kadar *moisture* dalam batubara. Hal ini terlihat dalam Tabel 4.13 mengenai sankey diagram untuk *losses energy* berikut ini:

Tabel 4.13 Tabel *Sankey Losses Energy* Untuk Tiap Variasi Kadar Karbon Dalam Batubara dalam kelompok *coal sizing* lolos 200 mesh 60-70%.

No	<i>Losses Boiler</i> saat <i>excess air</i> 12%	BB C44	BB C45-46	BBC47
1	<i>Loss due to dry flue gases (L1)</i>	3,45	3,75	3,75
2	<i>Loss due to Formation of Water from H2 in fuel (L2)</i>	4,58	4,63	4,46
3	<i>Loss due to moisture in Fuel (L3)</i>	4,50	4,11	3,77
4	<i>Loss due to moisture in Air (L4)</i>	0,12	0,12	0,12
5	<i>Loss due to partial conversion of CO to CO₂ (L5)</i>	0,38	0,37	0,37
6	<i>Loss due to unburn carbon in Fly Ash (L6)</i>	0,0115	0,0117	0,0014
7	<i>Loss due to unburn carbon in Bottom Ash (L7)</i>	0,0101	0,0117	0,0194

Apabila digambarkan dalam bentuk grafik, *losses* energi pada *boiler* yang disebabkan oleh terbentuknya *unburned carbon* akan terlihat jauh lebih rendah bila dibandingkan penurunan *losses* energi yang terbentuk karena penurunan *moisture* dalam batubara. Sementara untuk *losses* energi karena faktor lain relatif stabil ada ada beberapa yang di luar kendali percobaan. Seperti *losses* energi karena kadar hidrogen dalam batubara. Kadar hidrogen dalam batubara ini sangat sulit dikendalikan karena kondisi pemasok batubara yang variatif sekali. Oleh karena itu,

meskipun kadar *unburned carbon* relatif naik karena kadar atom C (karbon) yang naik dalam sampel batubara, efisiensi total *boiler* akan tetap naik. Hal ini disebabkan bertambahnya *losses* tersebut masih jauh jumlahnya bila dibandingkan dengan berkurangnya *losses* dari penurunan kadar *moisture* dalam batubara. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut ini:



Gambar 4.6 Gambar Perbandingan *Losses* Energi Karena Faktor Kadar *Moisture In Fuel* Dan *Unburned Carbon* Pada Berbagai Kadar Karbon Dalam Batubara Pada Saat *Excess Air* 12% Untuk Kelompok Batubara *Coal Sizing* Lolos 200 Mesh 60-70%.

4.1.5. Data Keempat, 25 Juli 2019.

Pada tanggal 25 Juli 2019 pukul 08:00 telah dilakukan proses pengambilan data keempat pada eksperimen ini. Pengambilan data ini menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal pengambilan data. Data diambil di titik yang telah ditentukan oleh tim pengambilan data, yaitu :

1. Data batubara di *coalpipe outlet mill*
2. Data *flue gas* di *inlet APH, outlet boiler*
3. Data abu di SDCC dan Di ESP

4. Data udara *ambient* di sekitar *suction Fan boiler*

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dianalisa di laboratorium untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, Ash dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data dan analisa sampel di laboratorium serta data pencatatan *logbook* dapat disajikan pada Tabel 4.14 berikut ini:

Tabel 4.14 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4424	kcal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	31,92	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	5,66	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	47,26	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,31	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	2,93	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,28	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,65	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	78	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	34	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0196	kg air/kg udara
C.	<i>Data Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,12	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15,85	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari <i>boiler</i>	143,7	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	%

Dari hasil analisa di laboratorium, nilai kalori batubara sampel keempat ini adalah 4424 kkal/kg Sampel batubara ini layak dijadikan data percobaan karena

memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200 kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel keempat ini adalah sekitar 47%. Dari matriks pengelompokan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 maka sampel keempat batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis maksimum (C). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 78% maka jenis sampel batubara yang diambil tersebut adalah termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 70-80% yang dalam matriks sampel di Gambar 4.1 digolongkan pada sampel batubara kelompok 2. Sehingga dari gambar matriks sampel diatas, sampel batubara pertama ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok C2.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* metode *heat loss* ini adalah sebagai berikut :

- ✓ *Specific heat of flue gas* : 0,23 kkal/kg°C
- ✓ *Specific heat of air ambient* : 0,45 kkal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel tersebut, tanggal 25 Juli 2019 sebesar 85,32%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel yang diambil pada 25 Juli 2019 pukul 08:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.15 berikut ini:

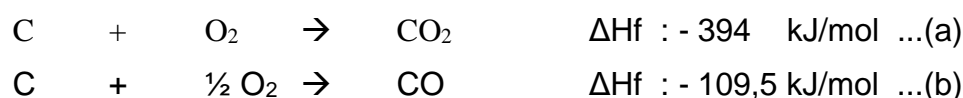
Tabel 4.15 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-4 Tanggal 25 Juli Pukul 08:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai Kalori batubara	4424	kkal/kg
2.	Kadar Karbon dalam batubara	47,26	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	78	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	85,32	%

Dari data ini (C2), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* yang cukup besar yaitu 1,65%. Hal ini disebabkan oleh kurangnya pasokan oksigen untuk reaksi pembakaran sehingga

pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak kandungan karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu sehingga nilai *unburned carbon* cukup besar. Selain itu, reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut juga menyebabkan temperatur di ruang bakar menjadi rendah sehingga proses pembakaran batubara menjadi sedikit terhambat. Hal ini juga dapat menyebabkan tingginya nilai *unburned carbon* dalam abu batubara tersebut.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* juga masih tinggi, yaitu sebesar 0,12% atau sebesar 1200 ppm. Nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak sepenuhnya bereaksi sempurna tetapi sebagian hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Sementara perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dengan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk) adalah sebagai berikut:



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel C2 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data batubara tidak diambil lagi, karena sampel yang masuk adalah dari pembongkaran kapal sehingga kondisinya lebih seragam dan homogen. Data analisa batubara diasumsikan seragam nilainya dan tetap. Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*, data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan

data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di Tabel 4.16 berikut ini:

Tabel 4.16 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00, 08:30, 09:00, 09:30, 10:00.

No	Parameter	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	Satuan
Variasi nilai <i>excess air</i>		8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4424	4424	4424	4424	4424	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	31,92	31,92	31,92	31,92	31,92	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	5,66	5,66	5,66	5,66	5,66	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	47,26	47,26	47,26	47,26	47,26	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,31	11,31	11,31	11,31	11,31	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	2,93	2,93	2,93	2,93	2,93	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	78	79	78,6	78,4	78,7	%
B.	Data Udara Ambient (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara ambient	40	40	41	42	42	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara ambient (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0196	0,0193	0,0192	0,0191	0,019	kg air/kg udara
C.	Data Flue gas (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,12	0,09	0,03	0,04	0,05	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15,85	16	15,85	16,1	15	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	143,7	141	139,5	143,8	143,5	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	1,15	0,74	1,17	1,35	%

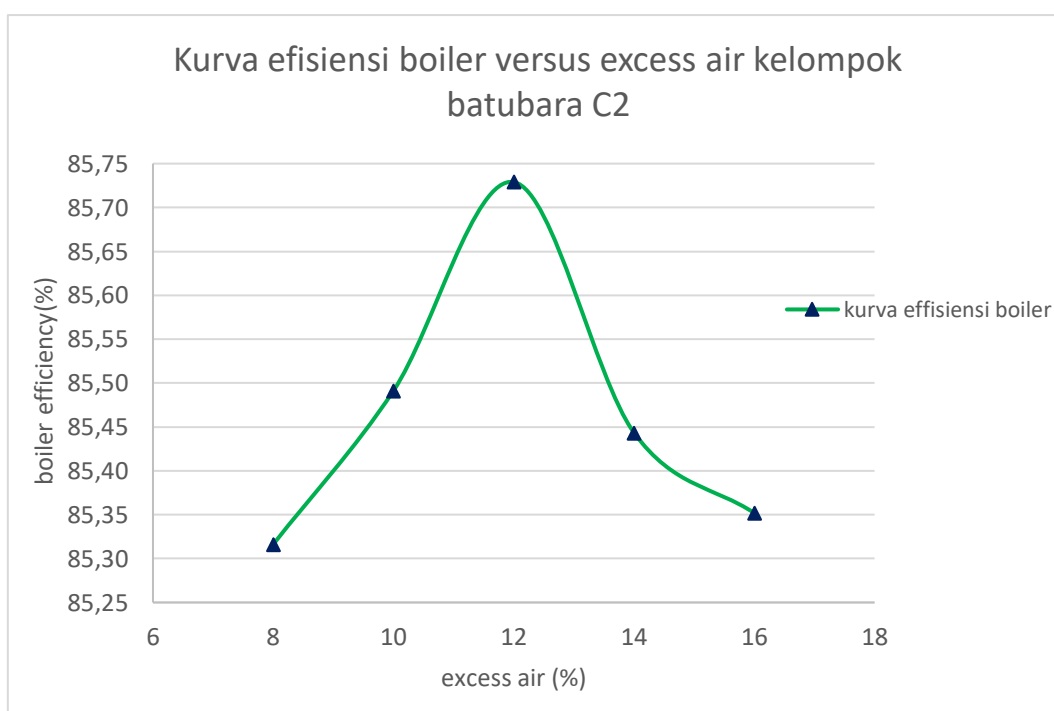
Selanjutnya data dari sampel C2 untuk percobaan kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*.

Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data yang diambil pada 25 Juli 2019 pukul 08:00 – 10:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.17 berikut ini:

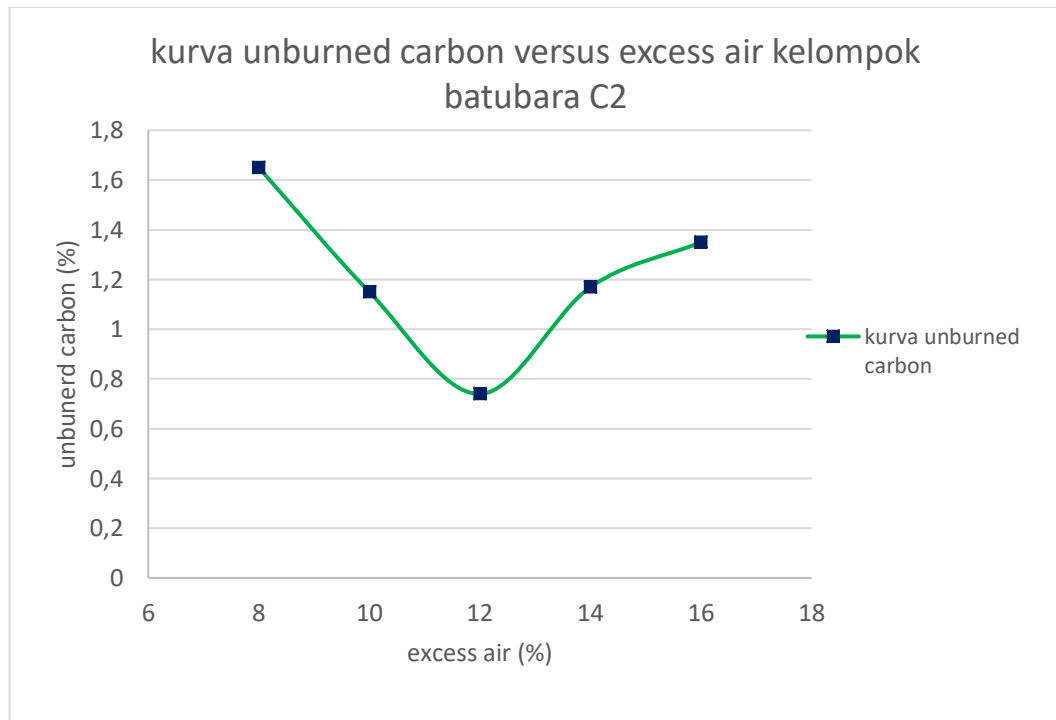
Tabel 4.17 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-4 (C2) Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00 sd 10:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4424	4424	4424	4424	4424	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	47,26	47,26	47,26	47,26	47,26	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	78	79	78,6	78,4	78,7	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,65	1,15	0,74	1,17	1,35	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	85,32	85,49	85,73	85,44	85,35	%

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi *boiler* versus *excess air* (a) dan grafik *unburned carbon* versus *excess air* (b). Grafik tersebut dapat dilihat di Gambar 4.7 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.7 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler Vs Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon Vs Excess Air* (b) Untuk Batubara (C2), Tanggal 25 Juli 2019 Pukul 08:00 sd 10:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini bisa disebabkan oleh faktor semakin banyaknya udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.17. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* akan meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12%, seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan *unburned carbon* akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

- a. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan udara sekunder suhunya adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

b. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan jatuh terbawa bersama abu sehingga akan menyebabkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara menjadi tinggi.

Dari data eksperimen pada sampel batubara C2 (batubara dengan kadar *carbon* 47,26% dan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh 60-80%) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara C2 pada beban 500 MW yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi dan *unburned carbon* terendah adalah pada nilai 12%.

4.1.6. Data Kelima, 2 September 2019.

Pada tanggal 2 September 2019 pukul 08:00 kembali dilakukan proses pengambilan data kelima pada eksperimen ini. Pengambilan data kelima ini sama dengan pengambilan sebelumnya, yaitu menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal, pengambilan data dilakukan pada pukul 08:00. Data diambil di titik yang telah ditentukan pada bab metode eksperimen, seperti pada pengambilan data keempat.

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dibawa ke laboratorium dan dianalisa untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, *Ash* dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data dan analisa sampel di laboratorium serta data pencatatan *logbook* dapat disajikan pada Tabel 4.18 berikut ini:

Tabel 4.18 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4201	kcal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	33,74	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	4,85	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	43,95	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	13,6	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,16	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,19	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,51	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	77	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	33,65	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0192	kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,12	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari <i>boiler</i>	134,51	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,4	%

Dari hasil analisa batubara di laboratorium, nilai kalori batubara sampel kelima ini adalah 4201 kkal/kg. Sampel batubara kelima ini dapat dijadikan data percobaan karena memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200

kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel kelima ini adalah sekitar 43%. Dari matriks pengelompokan sampel seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. maka sampel kelima batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis minimum (A). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 77% maka jenis sampel batubara kelima yang diambil tersebut adalah termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 70-80% yang dalam matriks sampel di gambar 4.1. digolongkan pada sampel batubara kelompok 2. Sehingga dari gambar matriks sampel 4.1. diatas, sampel batubara data kelima ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok A2.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* metode *heat loss* ini adalah sebagai berikut :

- ✓ *Spesific heat of flue gas* : 0,23 kkal/kg°C
- ✓ *Spesific heat of air ambient* : 0,45 kkal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* seperti pada pengambilan data kelima, diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel kedua, tanggal 2 September 2019 sebesar 84,77%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel yang diambil pada 2 September 2019 pukul 08:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.19 berikut ini:

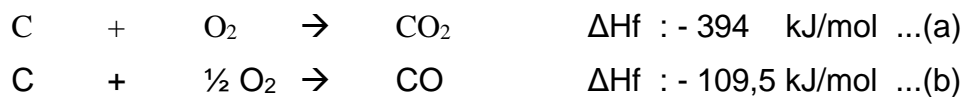
Tabel 4.19 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-5 Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai Kaloribatubara	4201	Kkal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	43,95	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	77	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,4	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,77	%

Dari data kelima ini (A2), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* sebesar 1,4%. Akan tetapi nilai *unburned carbon* tersebut masih lebih kecil dari yang dihasilkan oleh sampel

jenis C2 dengan nilai *excess air* yang sama. Berkurangnya nilai *unburned carbon* pada abu antara sampel C2 dengan A2 dengan nilai *excess air* yang sama ini bisa disebabkan oleh berkurangnya kadar karbon dalam batubara sehingga jumlah batubara yang tidak terbakar (*unburned carbon*) berkurang pula. Sementara jumlah *excess air* yang tetap sebesar 8% menyebabkan pasokan oksigen untuk reaksi pembakaran berkurang, sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu. Hal ini menyebabkan nilai *unburned carbon* pada sampel A2 data pertama masih cukup besar.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* juga masih tinggi, yaitu sebesar 0,12 % atau sebesar 1200 ppm. Nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak seutuhnya bereaksi sempurna tetapi beberapa hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Sementara perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dengan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk) adalah sebagai berikut:



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel A2 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data batubara tidak diambil lagi, karena sampel yang masuk kondisi dari pembongkaran kapal sehingga lebih seragam dan homogen. Data analisa batubara diasumsikan seragam nilainya dan tetap. Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*,

data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di Tabel 4.20 berikut ini:

Tabel 4.20 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00, 08:30, 09:00, 09:30, 10:00.

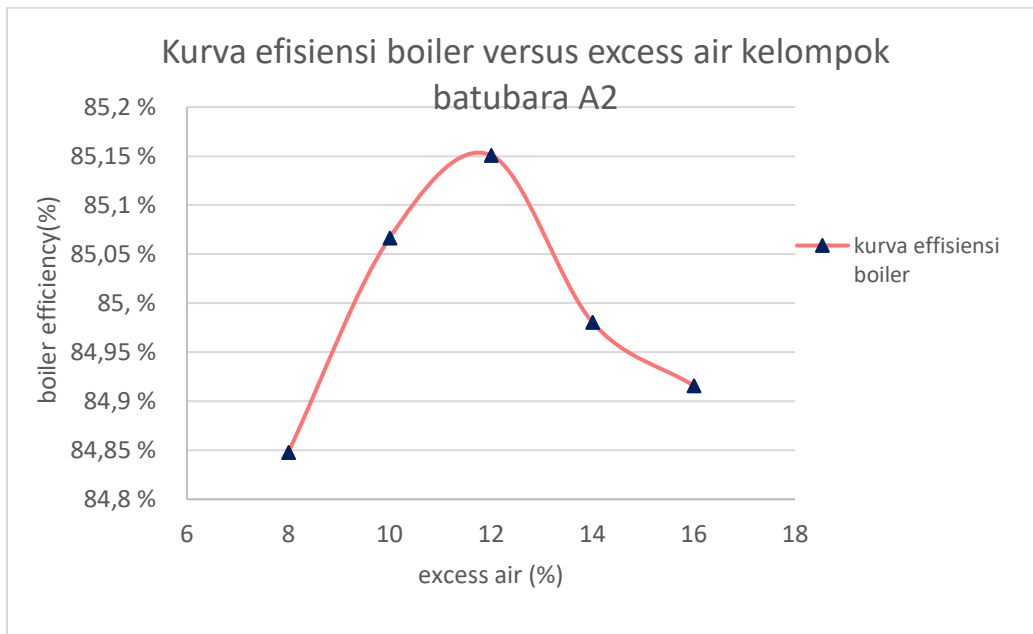
No	Parameter	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	Satuan
	Variasi nilai <i>excess air</i>	8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4201	4201	4201	4201	4201	kcal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	33,74	33,74	33,74	33,74	33,74	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	43,95	43,95	43,95	43,95	43,95	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	%
7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	77	76	77	78	76	%
B.	Data Udara Ambient (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara ambient	33,65	34	34,5	34,9	35,7	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara ambient (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0192	0,0192	0,0191	0,0191	0,019	Kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,12	0,05	0,02	0,05	0,06	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	16	16	16	16	16	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	134,5	134,4	134,2	134,4	134,5	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,4	1	0,45	0,8	0,85	%

Selanjutnya data dari sampel A2 untuk percobaan kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*. Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data kedua kelompok A2, 2 September 2019 pukul 08:00 - 10:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.21 berikut ini:

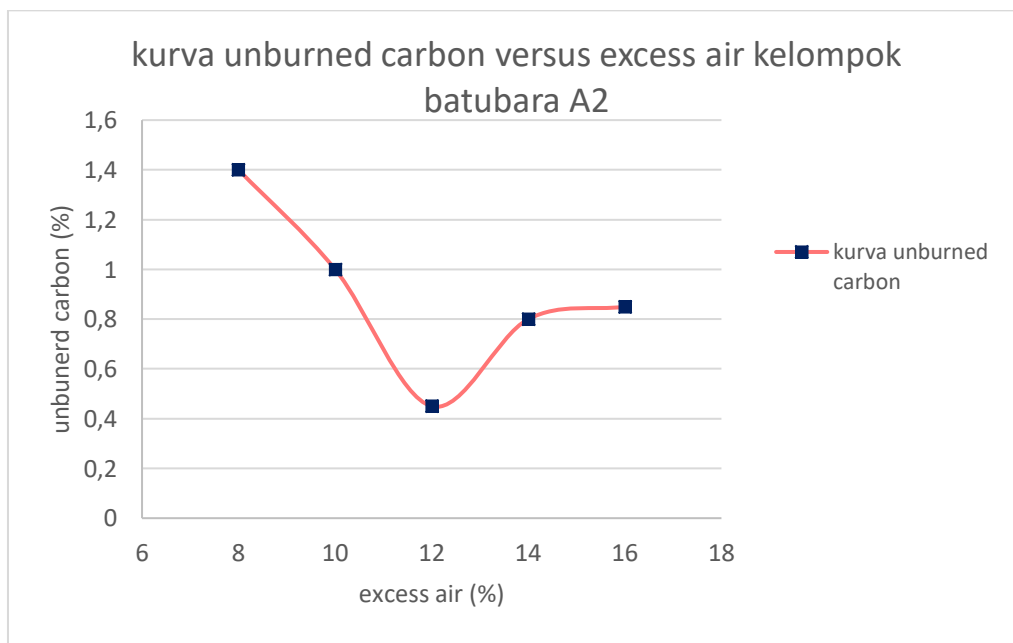
Tabel 4.21 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-5 (A2) Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00 Sd 10:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4201	4201	4201	4201	4201	kkal/kg
	Kadar karbon dalam batubara	43,95	43,95	43,95	43,95	43,95	%
2.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	77	76	77	78	76	%
3.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
4.	<i>Unburned carbon</i>	1,4	1	0,45	0,8	0,85	%
5.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,77	84,99	85,07	84,90	84,84	%

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi *boiler* versus *excess air* (a) dan grafik *unburned carbon* versus *excess air* (b). Grafik tersebut dapat dilihat di Gambar 4.8 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.8 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara (A2), Tanggal 2 September 2019 Pukul 08:00 Sd 10:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini bisa disebabkan oleh faktor semakin banyaknya

udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.21. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* akan meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12% seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan pada nilai *excess air* 10% nilai *unburned carbon* akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

a. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan udara sekunder suhunya adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan nilai *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

b. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan terbawa bersama abu sehingga akan meningkatkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara.

Dari data eksperimen pada sampel batubara A2 (batubara dengan kadar *Carbon* 43,95% dan *coal sizing* lolos 200 mesh 70-80%) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara A2 pada beban 500 MW

yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi adalah 12% dan yang menghasilkan nilai *unburned carbon* terendah adalah pada nilai *excess air* 12%.

4.1.7. Data Keenam, 19 November 2019.

Pada tanggal 19 November 2019 pukul 09:00 kembali dilakukan proses pengambilan data kelima pada eksperimen ini. Pengambilan data kelima ini sama dengan pengambilan data sebelumnya, yaitu menggunakan nilai *excess air* sebesar 8% sebagai titik awal, pengambilan data dilakukan pada pukul 09:00 pagi. Data diambil oleh tim pengambilan data di titik yang telah ditentukan pada bab metode eksperimen, yaitu :

1. Data batubara di *coalpipe outlet mill*
2. Data *flue gas* di *inlet APH, outlet boiler*
3. Data abu di SDCC dan Di ESP
4. Data udara *ambient* di sekitar *suction Fan boiler*

Untuk sampel batubara dan abu kemudian dibawa ke laboratorium dan dianalisa untuk diketahui kadar karbon (C, H, N, O, S, *Ash* dan *Moisture*), *coal sizing* dan *unburned carbonnya*. Data ini keluar hasilnya dari laboratorium setelah 3-7 hari kerja, tergantung beban kerja alat analisa batubara. Sementara itu, data udara *ambient* dan *flue gas* diambil menggunakan alat bantu eksperimen dan hasilnya dicatat di *logbook*. Hasil pengambilan data lapangan, data hasil analisa sampel di laboratorium dan data pencatatan *logbook* disajikan pada Tabel 4.22 berikut ini:

Tabel 4.22 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Nilai	Satuan
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)		
1.	Nilai Kalori batubara	4356	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	33,6	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	4,89	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	45,61	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,88	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,3	%

7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,18	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,54	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	75	%
B	Data Udara Ambient (pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara ambient	40	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara ambient (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	Kg air/kg udara
C.	Data Flue gas (Pencatatan <i>logbook</i>)		
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,11	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	139,2	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)		
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,55	%

Dari hasil analisa batubara di laboratorium, nilai kalori batubara sampel keenam ini adalah 4356 kkal/kg. Sampel batubara keenam ini dapat dijadikan data percobaan karena memiliki nilai kalori antara 3950 - 4450 kkal/kg (\pm 4200 kkal/kg). Sedangkan kadar karbon sampel keenam ini adalah sekitar 46%. Dari matriks pengelompokan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 maka sampel batubara tersebut dapat dikelompokkan ke dalam sampel batubara jenis medium (B). Sedangkan dengan ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh sebesar 75% maka jenis sampel batubara keenam yang diambil tersebut adalah termasuk jenis batubara dengan ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh sebanyak 70-80% yang dalam matriks sampel di Gambar 4.1 digolongkan pada sampel batubara kelompok 2. Sehingga dari gambar matriks sampel diatas, sampel batubara kedua ini dapat dimasukkan ke dalam batubara kelompok B2.

Asumsi yang digunakan untuk perhitungan efisiensi boiler metode *heat loss* ini seragam untuk karena interval waktu pengambilan sama yaitu di 2019, adalah sebagai berikut :

- ✓ *Specific heat of flue gas* : 0,23 kcal/kg°C
- ✓ *Specific heat of air ambient* : 0,45 kcal/kg°C
- ✓ *Radiant Losses (L8)* konstan : 1,80 %

Maka dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss* diperoleh data efisiensi *boiler* pada pengambilan sampel keenam ini, tanggal 19 November 2019 sebesar 84,97%. Sehingga hasil perhitungan dan data analisa sampel keenam, 19 November 2019 pukul 09:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.23 berikut ini:

Tabel 4.23 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-6 Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00.

No	Parameter	Hasil analisa/ perhitungan	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4356	kcal/kg
2.	Kadar Karbon dalam batubara	45,61	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	75	%
4.	<i>Excess air</i>	8	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,55	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,97	%

Dari data sampel keenam ini (B2), dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai *excess air* sebesar 8% diperoleh nilai *unburned carbon* sebesar 1,55%. Lebih besar dari nilai *unburned carbon* yang dihasilkan oleh sampel jenis A2 maupun C2 pada nilai *excess air* yang sama. Bertambahnya nilai *unburned carbon* pada sampel B2 bila dibandingkan dengan kandungan *unburned carbon* pada sampel A2 dan C2 untuk nilai *excess air* yang sama, bisa disebabkan oleh bertambahnya kadar karbon dalam batubara sehingga jumlah batubara yang tidak terbakar (*unburned carbon*) bertambah pula. Pada saat percobaan, *flow* udara primer *disetting* tetap, sehingga kemungkinan *ratio* udara primer dengan bahan bakar kurang. Sementara jumlah *excess air* sebesar 8% menyebabkan pasokan oksigen untuk reaksi pembakaran berkurang, sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Akibatnya masih banyak karbon dalam batubara yang belum terbakar dan jatuh bercampur bersama abu. Hal ini menyebabkan nilai *unburned carbon* pada sampel B2 ini cukup tinggi dibanding dua sampel sebelumnya.

Sementara itu nilai CO dalam *flue gas* masih cukup tinggi, yaitu sebesar 0,11 % atau sebesar 1100 ppm. Nilai ini cukup mempengaruhi efisiensi *boiler*, karena *enthalpy* panas pembakaran yang seharusnya dihasilkan dari reaksi pembakaran karbon menjadi karbondioksida (CO₂) tidak seutuhnya bereaksi sempurna tetapi beberapa hanya menjadi karbonmonoksida (CO). Berikut data

perbandingan *enthalpy* panas yang dihasilkan apabila pembakaran sempurna (CO₂ terbentuk) dan pembakaran tidak sempurna (CO terbentuk):



Dari data perbandingan *enthalpy* pembakaran diatas, jelas bahwa terbentuknya CO sangat merugikan, karena energi yang dibangkitkan seharusnya adalah sebesar 394 kJ/mol akan tetapi karena reaksi yang tidak sempurna menjadi hanya 109,5 kJ/mol CO yang terbentuk. Sehingga masih ada potensi energi panas yang belum terbentuk dari reaksi pembakaran yang kurang sempurna tersebut sebesar 284,5 kJ/mol CO. Bila ditampilkan dalam bentuk persentase *losses* energi karena terbentuknya CO terhadap energi yang seharusnya terbentuk apabila reaksi berlangsung sempurna adalah sebesar 72,21%. Hal ini menjadi salah satu penyebab *losses* dalam *boiler* yang bisa mengurangi efisiensi *boiler*.

Data kedua sampai data kelima sampel B2 diambil dengan interval waktu 30 menit dan nilai *excess air* dinaikkan menjadi 10%, 12%, 14% dan 16%. Data analisa batubara diasumsikan seragam nilainya dan tetap Data yang diambil adalah data kondisi udara *ambient*, data *flue gas* dan data kualitas abu. Hasil analisa laboratorium dan data pencatatan di *logbook* untuk eksperimen kedua sampai kelima dapat dilihat di tabel 4.24 berikut ini:

Tabel 4.24 Tabel Pengambilan Data Dan Analisa Laboratorium Percobaan Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00, 09:30, 10:00, 10:30, 11:00.

No	Parameter	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	Satuan
	Variasi nilai <i>excess air</i>	8	10	12	14	16	%
A.	Data Batubara (analisa laboratorium)						
1.	Nilai Kalori batubara	4356	4356	4356	4356	4356	kkal/kg
2.	Kadar <i>Total Moisture</i> dalam batubara	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	%
3.	Kadar Abu dalam batubara	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	%
4.	Kadar Karbon dalam batubara	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61	%
5.	Kadar Oksigen dalam batubara	11,88	11,88	11,88	11,88	11,88	%
6.	Kadar Hydrogen dalam batubara	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	%

7.	Kadar Sulfur dalam batubara	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	%
8.	Kadar Nitrogen dalam batubara	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	%
9.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	75	76	75	75,5	75,9	%
B	Data Udara <i>Ambient</i> (pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	<i>Dry bulb temperature</i> udara <i>ambient</i>	40	40	41	42	42	°C
2.	<i>Ratio Humidity</i> udara <i>ambient</i> (dari pembacaan grafik psikometrik)	0,0182	0,0182	0,0181	0,0181	0,018	Kg air/kg udara
C.	Data <i>Flue gas</i> (Pencatatan <i>logbook</i>)						
1.	Kadar CO dalam <i>flue gas</i>	0,11	0,05	0,01	0,04	0,04	%
2.	Kadar CO ₂ dalam <i>flue gas</i>	15	15	15	15	15	%
3.	Suhu <i>flue gas</i> keluar dari boiler	139,2	139,1	139	139	139,1	°C
D.	Data Kualitas Abu (analisa laboratorium)						
1.	<i>Unburned carbon</i>	1,55	1,14	0,6	1,02	1,21	%

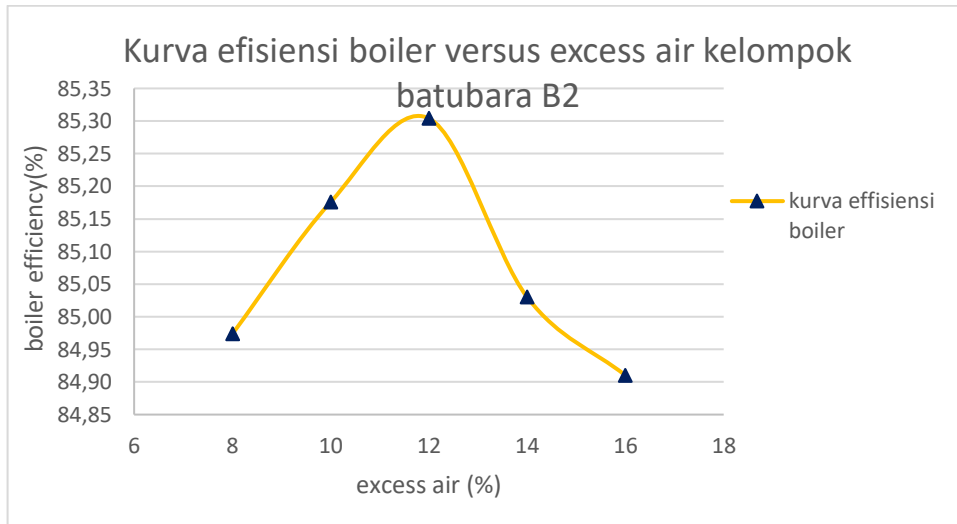
Selanjutnya data dari sampel B2 untuk variasi *excess air* kedua sampai kelima dihitung nilai efisiensi *boilernya* dengan menggunakan metode perhitungan *heat loss*. Sehingga analisa sampel dan hasil perhitungan data keenam kelompok B2 yang diambil pada 19 November 2019 pukul 09:00 – 11:00 dapat dirangkum dalam Tabel 4.25 berikut ini:

Tabel 4.25 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-3 (B2) Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00 sd 11:00.

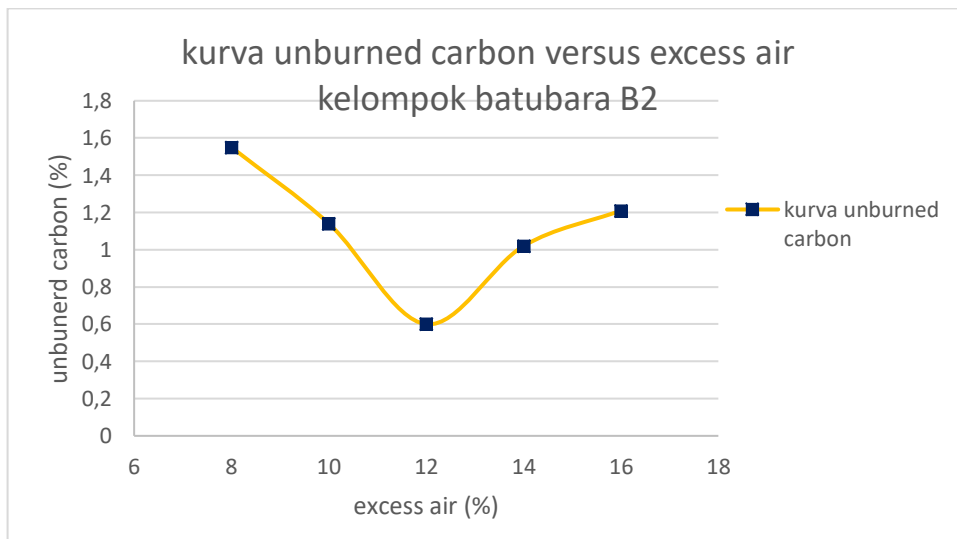
No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubar	4356	4356	4356	4356	4356	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	45,61	45,61	45,61	45,61	45,61	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	75	76	75	75,5	75,9	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,55	1,14	0,6	1,02	1,21	%

6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,97	85,18	85,3	85,16	85,1	%
----	-------------------------	-------	-------	------	-------	------	---

Apabila data diatas diplot dalam sebuah grafik maka akan diperoleh dua grafik yaitu grafik efisiensi *boiler* versus *excess air* (a) dan grafik *unburned carbon* versus *excess air* (b). Grafik tersebut dapat dilihat di Gambar 4.9 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.9 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara (B2), Tanggal 19 November 2019 Pukul 09:00 sd 11:00.

Dari grafik diatas terlihat dengan bertambahnya *excess air* maka efisiensi *boiler* akan meningkat pula, hal ini disebabkan oleh faktor semakin banyaknya udara pembakaran membuat reaksi pembakaran menjadi sempurna sehingga kandungan gas CO di dalam gas buang semakin berkurang seperti yang terlihat pada Tabel 4.25. Dengan berkurangnya kadar CO dalam *flue gas* maka akan berkurang pula *losses boiler* akibat dari terbentuknya senyawa CO, sehingga hal tersebut mengakibatkan efisiensi *boiler* semakin meningkat.

Akan tetapi pada titik tertentu, yaitu pada saat setelah *excess air* tercapai angka 12% seperti yang terlihat pada grafik (a), efisiensi *boiler* akan perlahan menurun dan pada nilai *excess air* 10% nilai *unburned carbon* juga akan meningkat. Hal ini bisa disebabkan banyak faktor, antara lain:

a. Berkurangnya temperatur ruang bakar

Semakin bertambahnya udara sekunder (*excess air*) maka semakin turun suhu di dalam ruang bakar yang dikarenakan udara sekunder suhunya adalah atmosferis. Akibatnya pembakaran sempurna sedikit terhambat karena berkurangnya suhu di dalam ruang bakar. Hal ini bisa menyebabkan terbentuknya gas CO kembali. Sedangkan nilai *unburned carbon* akan semakin banyak terbentuk karena temperatur *ignition* dalam ruang bakar sedikit berkurang.

b. Berkurangnya waktu tinggal bahan bakar dalam ruang bakar

Semakin tinggi *flow* udara sekunder, maka akan mempercepat laju bahan bakar dalam ruang bakar sehingga akan mengurangi *residence time* bahan bakar dalam *boiler*. Hal ini bisa menyebabkan berkurangnya waktu untuk tercapainya reaksi pembakaran sempurna dan menyebabkan munculnya kembali gas CO. Akan tetapi jumlahnya tidak sebanyak pada saat kondisi *excess air* yang terkemudian sedikit (8%).

Sedangkan bagi *unburned carbon*, terkemudian cepatnya laju bahan bakar akan membuat beberapa batubara menjadi tidak terbakar dan terbawa bersama abu sehingga akan meningkatkan nilai *unburned carbon* pada abu batubara.

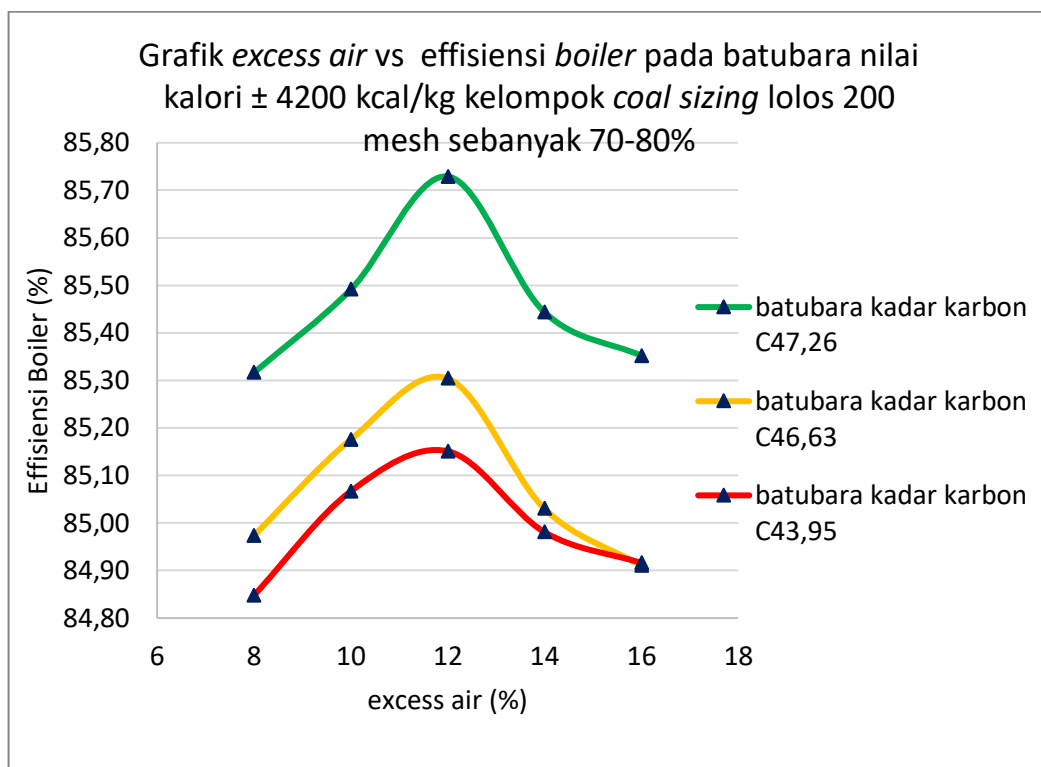
Dari data eksperimen pada sampel batubara B2 (batubara dengan kadar *Carbon* 45,61% dan *coal sizing* lolos 200 mesh 70-80%) dapat diambil kesimpulan bahwa

nilai *excess air* yang paling optimum untuk jenis batubara B2 pada beban 500 MW yang menghasilkan nilai efisiensi *boiler* tertinggi adalah 12% dan yang menghasilkan nilai *unburned carbon* terendah adalah pada nilai *excess air* 12%.

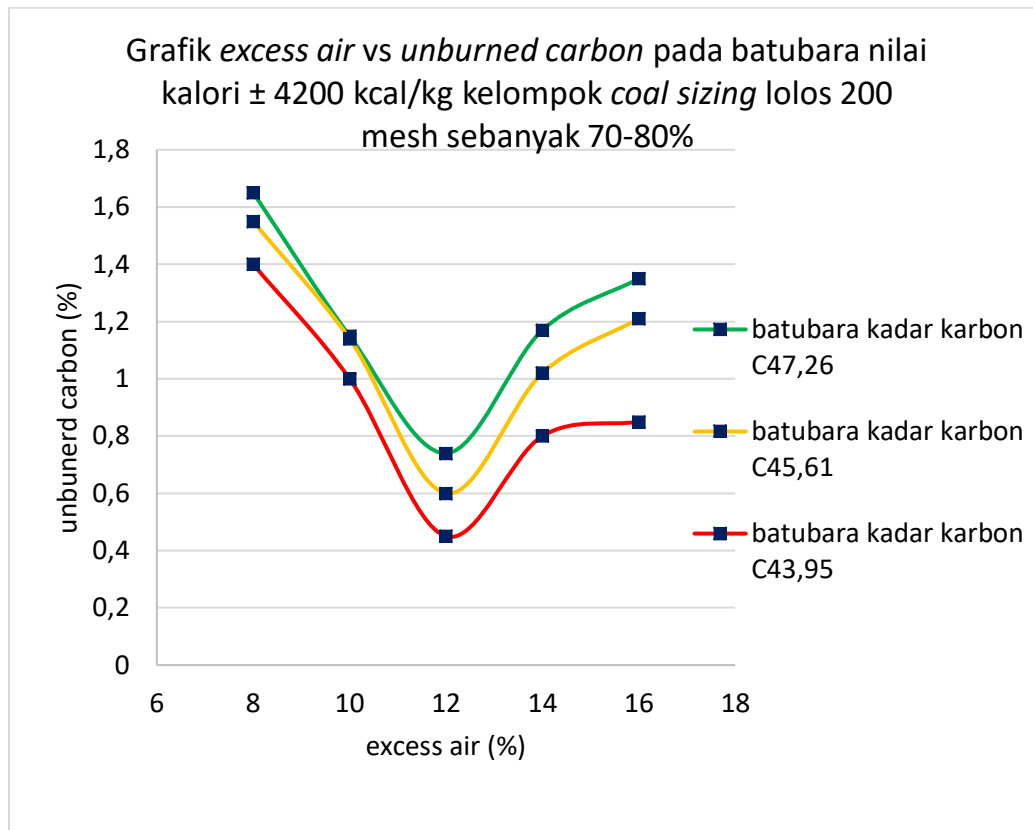
4.1.8. Analisa data sampel batubara ke-4, ke-5 dan ke-6

Dari tiga jenis sampel batubara yang telah diambil yaitu jenis batubara A2, C2 dan B2 maka dapat dibuahkan sebuah pengelompokan bahwa sampel keempat, kelima dan keenam adalah kelompok sampel batubara jenis ukuran *coal sizing* yang lolos 200 mesh 70-80%.

Sehingga untuk sampel batubara ukuran *coal sizing* yang seragam dengan kandungan *carbon* dalam batubara yang bervariasi 43,95%, 45,61% dan 47,26% maka grafik variasi *excess air* terhadap efisiensi *boiler* kelompok jenis batubara ukuran *coal sizing* lolos 200 mesh 70-80% dapat digambarkan di Gambar 4.10 grafik (a) sedangkan untuk grafik variasi *excess air* terhadap *unburned carbon* digambarkan pada Gambar 4.9 grafik (b).



(a)



(b)

Gambar 4.10 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara Kelompok *Coal Sizing* Lolos 200 Mesh 70-80%

Dari grafik (a) diatas, dapat dilihat bahwa dengan ukuran *coal sizing* yang seragam yaitu lolos 200 mesh sebanyak 70-80%, untuk variasi kadar *carbon* dalam batubara yang meningkat dari 43,95%, 45,61% dan 47,26% maka nilai efisiensi *boiler* akan meningkat pula. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- c. Semakin tinggi temperatur ruang bakar
Semakin tinggi kadar *carbon* dalam batubara, maka akan semakin tinggi nilai kalori batubara. Sehingga temperatur ruang bakar juga meningkat. Hal ini menyebabkan efisiensi total boiler menjadi meningkat karena semakin sempurnanya reaksi pembakaran.
- d. Semakin tingginya kadar karbon dalam batubara
Semakin tinggi kadar *carbon* dan kandungan kalori bahan bakar, semakin tinggi pula suhu ruang bakar sehingga reaksi pembakaran menjadi lebih

cepat dan sempurna. Pada saat kadar *excess air* mencapai titik optimum akan semakin meningkatkan efisiensi *boiler* tersebut.

Pada grafik (b) kadar *unburned carbon* akan semakin meningkat dengan meningkatnya kadar karbon dalam batubara, akan tetapi meningkatnya tidak terkemudian signifikan dan cenderung mengikuti pola yang seragam. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor antara lain semakin tinggi kandungan karbon dalam batubara. Semakin tinggi kadar karbon dalam batubara, maka semakin banyak pula karbon yang harus bereaksi dengan oksigen. Hal ini berpotensi juga meningkatkan kadar *unburned carbon* dalam abu.

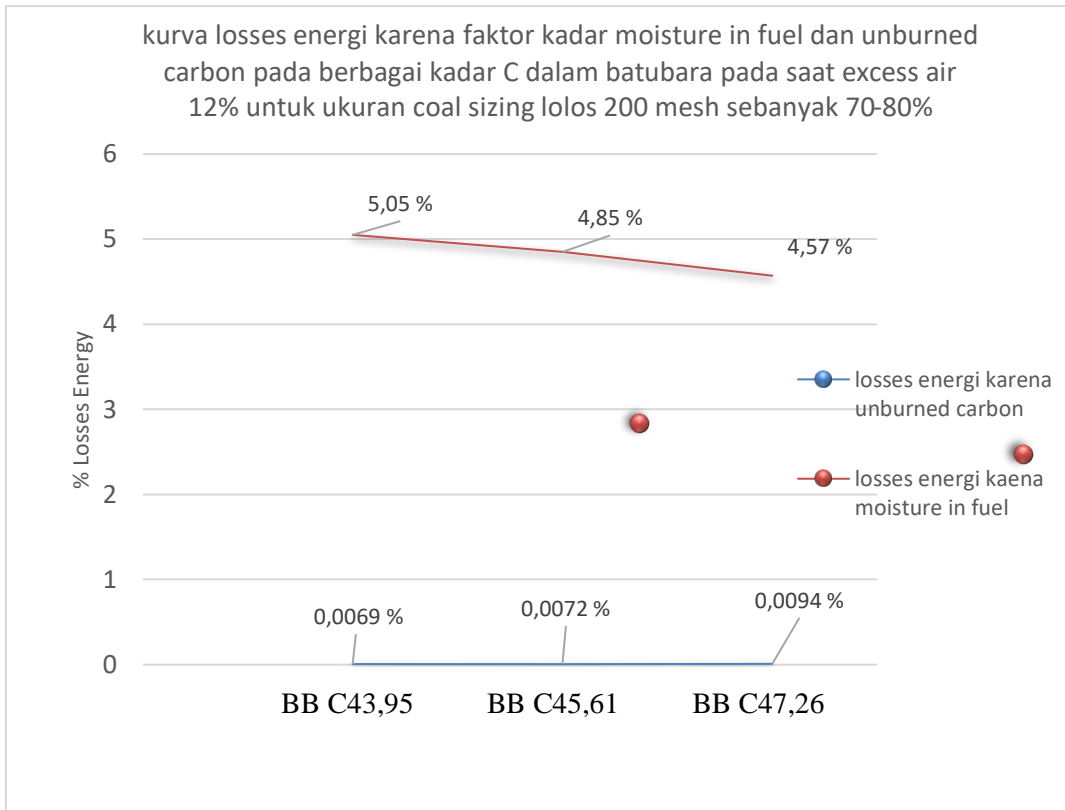
Kenaikan kadar *unburned carbon* dalam eksperimen ini tidak diikuti dengan penurunan efisiensi total *boiler*. Hal ini disebabkan bertambahnya *losses* energi yang dihasilkan oleh terbentuknya *unburned carbon* masih jauh lebih rendah daripada berkurangnya *losses* energi karena penurunan kadar *moisture* dalam batubara. Hal ini terlihat dalam Tabel 4.26 berikut ini:

Tabel 4.26 Tabel Perbandingan *Losses* Energi Karena *Unburned Carbon* Dengan *Losses* Energi Karena *Moisture In Fuel* Pada Kondisi *Excess Air* 12% Pada Ukuran Coal Sizing Lolos 200 Mesh 70-80%.

No	Parameter pada saat excess air 12%	sat	BB C43,95	BB C45,91	BB C47,26
1.	<i>Unburn Carbon</i>	%	0,45	0,6	0,74
2.	<i>Losses</i> energi karena <i>unburned carbon</i>	%	0,0069	0,0072	0,0094
3.	<i>Moisture in fuel</i>	ppm	33,74	33,6	31,92
4.	<i>Losses</i> energi karena <i>moisture in fuel</i>	%	5,05	4,85	4,57

Apabila digambarkan dalam bentuk grafik, *losses* energi pada *boiler* yang disebabkan oleh terbentuknya *unburned carbon* akan terlihat jauh lebih rendah bila dibandingkan penurunan *losses* energi yang terbentuk karena penurunan *moisture* dalam batubara. Oleh karena itu, meskipun kadar *unburned carbon* relatif naik karena kadar atom karbon yang naik dalam sampel batubara, efisiensi total *boiler* akan tetap naik. Hal ini disebabkan bertambahnya *losses* tersebut masih jauh

jumlahnya bila dibandingkan dengan berkurangnya *losses* dari penurunan kadar *moisture* dalam batubara. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut ini:



Gambar 4.11 Gambar Perbandingan *Losses* Energi Karena Faktor Kadar *Moisture* In Fuel Dan *Unburned Carbon* Pada Berbagai Kadar C Dalam Batubara Pada Saat *Excess Air* 12% Untuk Kelompok Batubara *Coal Sizing* Lolos 200 Mesh 70-80%.

4.1.9. Analisa data sampel batubara terakhir

Dari data yang masuk dalam kategori kelompok 3, yaitu kelompok yang *coal sizing* lolos 200 mesh diatas 80%, data yang didapat diolah menggunakan metode perhitungan yang sama. Hasilnya data bulan Oktober 2019 dan Desember 2019 untuk hasil analisa *unburned carbon* dan perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode tidak langsung seperti pada Tabel 4.27 dan Tabel 4.28 berikut ini:

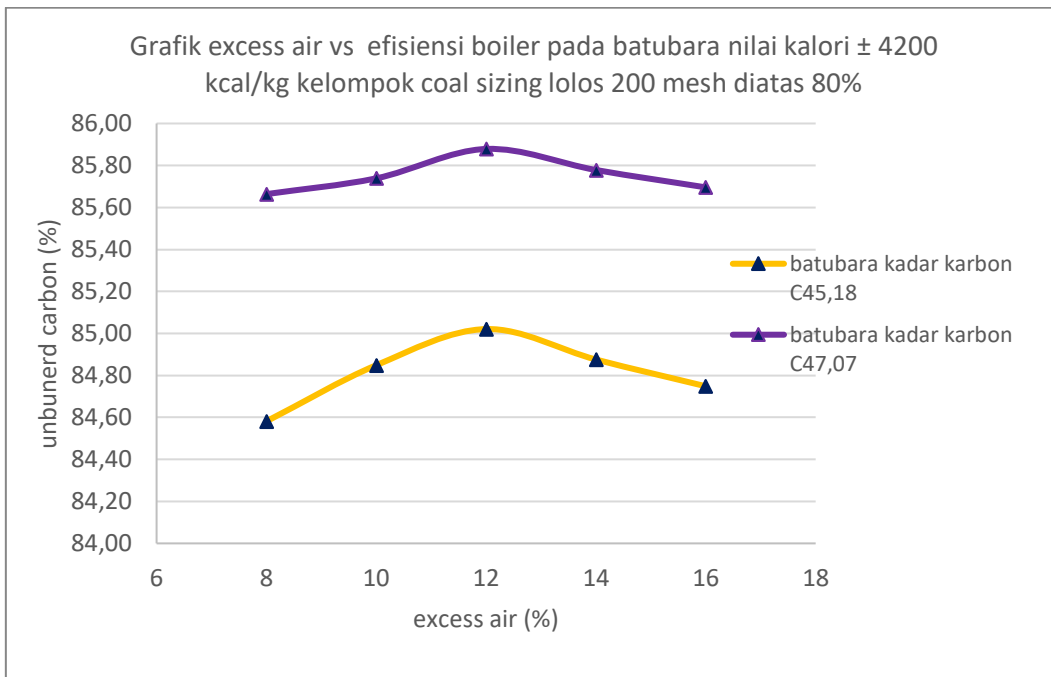
Tabel 4.27 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-7 (B3) Tanggal 17 Oktober 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4236	4236	4236	4236	4236	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	45,18	45,18	45,18	45,18	45,18	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	83	82	80	83	82	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,4	1,04	0,55	0,64	0,86	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	84,58	84,85	85,02	84,88	84,75	%

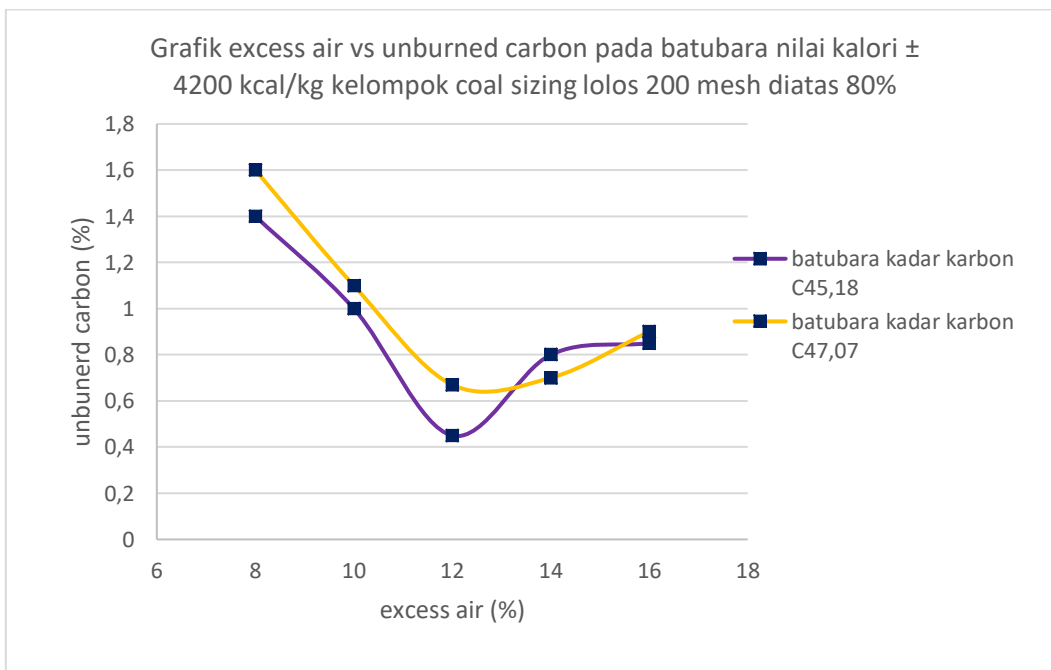
Tabel 4.28 Tabel Data Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Untuk Batubara Ke-8 (C3) Tanggal 17 Desember 2019 Pukul 09:00 Sd 11:00.

No	Parameter	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4	Data ke-5	satuan
1.	Nilai Kalori Batubara	4410	4410	4410	4410	4410	kcal/kg
2.	Kadar karbon dalam batubara	47,07	47,07	47,07	47,07	47,07	%
3.	<i>Coal sizing</i> batubara yang lolos 200 mesh	81	80	81	81	82	%
4.	<i>Excess air</i>	8	10	12	14	16	%
5.	<i>Unburned carbon</i>	1,6	1,1	0,67	0,7	0,9	%
6.	Efisiensi <i>Boiler</i>	85,66	85,74	85,88	85,78	85,7	%

Apabila disajikan dalam bentuk grafik, kelompok 3 ini dapat disajikan dalam Gambar 4.12 sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 4.12 Grafik Data Eksperimen Efisiensi *Boiler* vs *Excess Air* (a) Dan Grafik *Unburned Carbon* Vs *Excess Air* (b) Untuk Batubara Kelompok *Coal Sizing* Lolos 200 Mesh diatas 80%

Dari Gambar 4.12 di atas, terlihat bahwa pada kurva (b) yaitu kurva *kadar unburn carbon versus excess air* terdapat sedikit anomali dimana pada kurva kadar karbon C45,18 (warna ungu) pada saat naik, sempat memotong kurva kuning (kadar karbon C47) hingga posisi di atasnya lalu sedikit melandai. Hal ini bisa disebabkan pada saat stabilisasi beban, *dampers* di lokal terbuka lebih besar dari *setting* di *control room* yang 14%, akibatnya *flow* udara lebih banyak dari seharusnya sehingga kadar *unburned carbon* juga naik secara drastis.

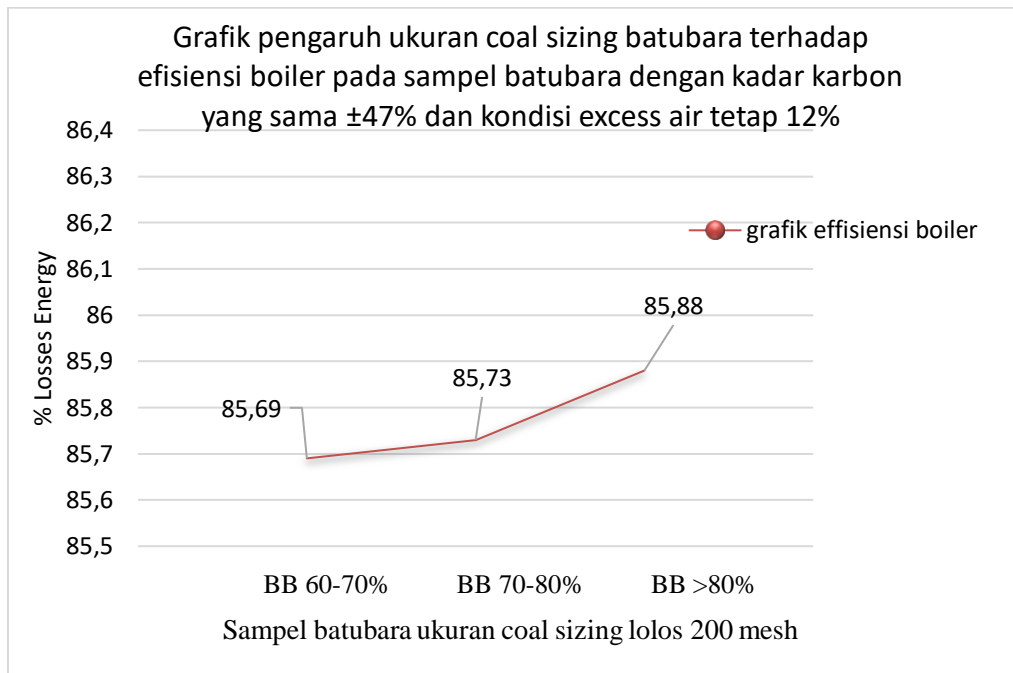
4.1.10 Pengaruh ukuran *coal fineness* batubara terhadap efisiensi boiler dan *unburned carbon*.

Dalam eksperimen ini, sampel batubara yang diambil ada berbagai jenis kelompoknya. Kelompok batubara dengan kadar karbon yang sama, apabila divariasikan ukuran *coal fineness*nya maka akan menghasilkan efisiensi boiler yang berbeda pula. Seperti dapat dilihat dalam Tabel 4.29 berikut ini:

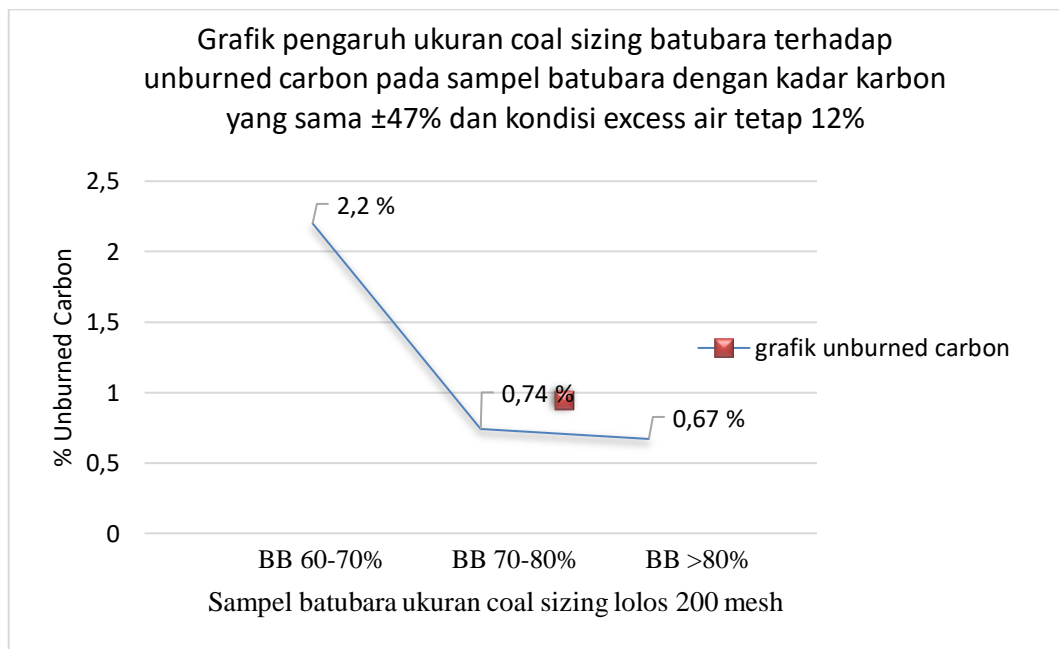
4.29 Tabel Pengaruh Ukuran *Coal Sizing* Batubara Terhadap Efisiensi Boiler Pada Kadar Karbon Yang Relatif Sama $\pm 47\%$ Pada Kondisi *Excess Air* Optimum 12%.

No	Parameter	Efisiensi boiler	satuan
1	<i>coal sizing</i> lolos 200 mesh 60-70%	85,69	%
2	<i>coal sizing</i> lolos 200 mesh 70-80%	85,73	%
3	<i>coal sizing</i> lolos 200 mesh diatas 80%	85,88	%

Apabila digambarkan dalam bentuk grafik maka pengaruh ukuran coal sizing batubara terhadap efisiensi boiler pada sampel batubara dengan kadar karbon yang sama dan kondisi excess air 12% dapat ditunjukkan pada gambar 4.13 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Ukuran *Coal Sizing* Batubara Terhadap Efisiensi *Boiler* (a) dan *Unburned Carbon* (b) Pada Sampel Batubara Dengan Kadar Karbon Yang Sama $\pm 47\%$ Dan Kondisi *Excess Air* Tetap 12%.

Dari data diatas bahwa ukuran *coal sizing* yang paling optimal adalah diantara 70-80% lolos ayakan 200 mesh atau jika di rata-rata >75% lolos ayakan 200 mesh. Ukuran ini merupakan ukuran *coal sizing* batubara yang paling optimal. Karena jika dibawah nilai itu maka efisiensi *boiler* akan kurang tinggi dan *unburned carbon* juga semakin banyak. Akan tetapi, jika ukuran terlalu halus, sebenarnya terhadap efisiensi *boiler* menjadi lebih baik. Akan tetapi terhadap kinerja mill akan semakin berat dan menaikkan *ampere* serta memperpendek waktu antara dua inspeksi mill. Selain itu nilai *unburned carbon* yang diturunkan karena naiknya ukuran menjadi semua >80% lolos ayakan 200 mesh cukup landai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi kadar karbon dalam batubara maka semakin tinggi pula udara pembakaran secara teoritis yang dibutuhkan.
2. Semakin tinggi nilai *excess air* dalam suatu pembakaran maka *unburned carbon* akan berkurang dan efisiensi *boiler* akan meningkat, sampai pada titik optimum rata-rata *excess air* 12% nilai efisiensi *boiler* akan menurun landai dan *unburned carbon* akan meningkat
3. Semakin halus ukuran *coal fineness* batubara maka efisiensi *boiler* akan meningkat karena semakin sempurnanya pembakaran.
4. Nilai *optimum excess air* terhadap *unburned carbon* adalah diangka 10-12% sedangkan nilai *optimum excess air* terhadap efisiensi *boiler* adalah di 12% untuk berbagai variasi kadar karbon batubara dan ukuran *coal fineness* pada batubara dengan nilai kalori ± 4200 kkal/kg pada beban 500 MW
5. Ukuran *coal fineness* batubara yang paling optimal terhadap efisiensi *boiler* dan *unburned carbon* adalah rata-rata $>75\%$ lolos ayakan 200 mesh. Sedangkan ukuran batubara yang memberikan hasil *unburned carbon* yang kurang optimal adalah ukuran yang hanya 60-70% lolos ayakan 200 mesh.

5.2 Saran

Saran dari eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan kajian lanjutan terhadap pengaruh variable lain seperti primary air terhadap ukuran coal fineness yang dihasilkan
2. Perlu dilakukan kajian lanjutan terhadap pengaruh HGI terhadap ukuran coal fineness batubara
3. Nilai optimum excess air 12% pada pembakaran perlu diaplikasikan pada saat boiler beroperasi pada beban 500 MW dengan batubara nilai kalori ± 4200 kkal/kg



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Hendri, Suhengki dan Ramadhan, P., (2017), *Analisa Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum Dan Sesudah Overhaul PT. INDONESIA POWER UJP PLTU LONTAR Unit 3*), Jurnal Power Plant STT-PLN, ISSN: 2356-1513, Vol. 4, No. 4, Hal. 211-287.
2. Luo, L.-f., Li, F.-q., & Wang, H.-w, (2017), *The Influence of Coal Calorific Value On Power Plant Boiler Operation*. 2017 2nd International Conference on Environmental Science and Engineering (ESE), 26-30.
3. .Priatna, Rizqi, (2019), *Laporan Performance Test Februari 2019 PT. INDONESIA POWER UJP PLTU BANTEN I SURALAYA*, Hal. 1-5.
4. Shanghai Boiler Manual Book, (2012), *Boiler PLTU BANTEN I SURALAYA*.
5. Yolanda, P., Malinoa, M.B. dan Mara, M.N., (2017) *Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung*, Jurnal Universitas Tanjungpura, ISSN : 2337-8204, PRISMA FISIKA, Vol. V, No. 01, Hal. 09 – 12
6. Yohana, E. dan Askhabulyamin, (2019) *Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada Boiler EBARA HKL 1800 KA*, Jurnal Universitas Diponegoro, ROTASI, Vol. 11, No. 3, Juli 2009, hal. 13-16.
7. Bujak, J., (2008) *Mathematical modelling of a steam boiler room to research thermal efficiency*, Elsevier Science, Ltd.
8. Winanti, W.S. dan Prayudi, T., (2006) *Perhitungan Efisiensi Boiler Pada Industri-industri Tepung Terigu*, Jurnal Teknik Lingkungan, ISSN : 1441-316X, Edisi Khusus, Juni 2006, hal. 58-65.
9. ASME (American Society of Mechanical Engineer), (1983) *PTC (Performance Test Codes 12.2*, New York, USA.
10. Pachaiyappan, R.,Dasa Prakash, J., (2015) *Improving The Boiler Efficiency By Optimizing The Combustion Air*, Scientific.

11. Liu, Chunlong, Li, Zhengqi, Kong, Weiguang, Zhao, Yang, dan Chen, Zhichao, (2010) *Bituminous Coal Combustion In A Full-Scale Start-Up Ignition Burner: Influence Of The Excess Air Ratio*, Elsevier Science, Ltd.
12. Babcox and Wilcox Company, (2005) *Steam its generation and use*”, page 14-19.

A. LAMPIRAN 1, DATA BATUBARA KADAR C46,46

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/FEBRUARI/2019			No. Dokumen				
			Tanggal	19 Mei 2011			
			Revisi	00			
			Halaman	1 dari 1 halaman			
SAMPLE	:	Batubara Coal Fedder Performance Test					
TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE	:						
NAMA PELANGGAN	:	-					
DITERIMA DARI	:	Johan					
TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE	:	18 FEBRUARI 2019					
TANGGAL DITERIMA	:	18 FEBRUARI 2019					
TANGGAL PENGUJIAN	:	23 - 24 FEBRUARI 2019					
URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE	:	MILL F					
No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	15,37	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	28,50	-	-	D-3302	<35
03.	ASH CONTENT	%Wt	7,71	9,12	10,78	D-7582	<5
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	32,14	38,04	44,95	D-7582	<35
05.	FIXED CARBON	%Wt	31,66	37,47	44,28	By difference	<30
06.	GROSS CALORIFIC VALUE	Kcal/Kg	4418,59	5230,00	6179,84	D-5865	4000-4500
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,35	0,42	0,50	D-4239	0,33
08.	CARBON	%Wt	47,29	55,98	66,15	D-5373	46
09.	HIDROGEN	%Wt	3,62	6,01	5,07	D-5373	3,77
10.	NITROGEN	%Wt	0,74	0,88	1,04	D-5373	1,2
11.	OKSIGEN	%Wt	11,78	27,59	16,47	By difference	-
10.	SIZING UNDER SIZE :	-	-	-	-	D-409	
	-70 mm	%Wt					98
	-50 mm	%Wt					9500%
	-32 mm	%Wt					8000%
	-2.38 mm	%Wt					2000%
11.	HGI		-	-	-	D-409	45-65
12.	ASH FUSION TEMPERATURE (RED) :					D-1857	
12.1	INITIAL DEFORMATION	°C	-	-			1150
12.2	SOFTENING	°C	-	-			1200
12.3	HEMISPHERICAL	°C	-	-			1250
12.4	FLUID	°C	-	-			1300
SPS KIMIA DAN BOP			SURALAYA, 28 FEBRUARI 2019				
			ANALYST				
IMAM SISWO UTOMO							
			FANDY AHMAD				

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/FEB/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **18 FEBRUARI 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	18/02/2019 09:00	Ash	495,5	0,21	1,95
2	18/02/2019 09:30	Ash	499	0,19	1,74
3	18/02/2019 10:00	Ash	500	0,20	1,53
4	18/02/2019 10:30	Ash	498	0,17	2,50
5	18/02/2019 11:00	Ash	499	0,21	4,20

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan method reference ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 19 Februari 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/FEB/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : UDARA DAN GAS BUANG
TANGGAL SAMPLING : 18 FEBRUARI 2019
NAMA PELANGGAN : ENGINEERING EFISIENSI
DITERIMA DARI : (Helper Kimia)

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	18/02/2019 09:00	40	495,5	142,1	0,25	15,00	75
2	18/02/2019 09:30	40	499	141,1	0,17	15,00	75
3	18/02/2019 10:00	41	500	139,5	0,09	15,00	73
4	18/02/2019 10:30	42	498	139,7	0,12	15,00	73
5	18/02/2019 11:00	42	499	139,7	0,13	15,00	70

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 19 Februari 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

B. LAMPIRAN 2, DATA BATUBARA KADAR C44,56

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/MEI/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Fedder Performance Test**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **HELPER KIMIA**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **27 MEI 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **27 MEI 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **28 - 29 MEI 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE : **MIX SEMUA MILL**

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	14,55	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	30,41	-	-	D-3302	<35
03.	ASH CONTENT	%Wt	7,53	9,24	10,81	D-7582	<5
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	32,10	39,42	46,13	D-7582	<35
05.	FIXED CARBON	%Wt	29,96	36,79	43,05	By difference	<30
06.	GROSS CALORIFIC VALUE	Kcal/Kg	4227,07	5190,45	6074,25	D-5865	4000-4500
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,27	0,33	0,39	D-4239	0,33
08.	CARBON	%Wt	44,56	54,71	64,03	D-5373	46
09.	HIDROGEN	%Wt	3,44	5,85	4,94	D-5373	3,77
10.	NITROGEN	%Wt	0,77	0,95	1,11	D-5373	1,2
11.	OKSIGEN	%Wt	13,03	28,92	18,72	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 29 MEI 2019
ANALYST



FANDY AHMAD

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/MEI/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **27 MEI 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	27/05/2019 10:00	Ash	500,5	0,22	0,28
2	27/05/2019 10:30	Ash	500,1	0,24	0,18
3	27/05/2019 11:00	Ash	500,3	0,25	0,10
4	27/05/2019 11:30	Ash	499,8	0,22	0,13
5	27/05/2019 12:00	Ash	500	0,24	0,15

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 28 Mei 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/MEI/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : UDARA DAN GAS BUANG
TANGGAL SAMPLING : 27 MEI 2019
NAMA PELANGGAN : ENGINEERING EFISIENSI
DITERIMA DARI : (Helper Kimia)

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	27/05/2019 10:00	42	500,5	138,50	0,28	16,00	75
2	27/05/2019 10:30	42	500,1	138,00	0,18	16,00	75
3	27/05/2019 11:00	45	500,3	138,15	0,1	16,00	73
4	27/05/2019 11:30	46	499,8	137,95	0,13	16,00	73
5	27/05/2019 12:00	46	500	137,65	0,15	16,00	70

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan metode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 28 Mei 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

C. LAMPIRAN 1, DATA BATUBARA KADAR C47,78

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor : 016/BB-I/UJPBSLA/AGUSTUS/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Fedder**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **JOHAN**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **19 AGUSTUS 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **19 AGUSTUS 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **20 AGUSTUS 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE :

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	12,47	-	D-5142	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	26,57	-	-	D-3302	-
03.	ASH CONTENT	%Wt	8,93	10,64	12,16	D-5142	-
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	33,15	39,51	45,14	D-5142	-
05.	FIXED CARBON	%Wt	31,35	37,37	42,70	By difference	-
06.	GROSS CALORIFIC VALUE	Kcal/Kg	4597	5480	6261	D-5865	-
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,43	0,51	0,58	D-4239	-
08.	CARBON	%Wt	47,78	56,96	65,08	D-5373	-
09.	HIDROGEN	%Wt	3,49	5,56	4,76	D-5373	-
10.	NITROGEN	%Wt	0,74	0,89	1,01	D-5373	-
11.	OKSIGEN	%Wt	12,05	25,44	16,41	By difference	-
10.	SIZING UNDER SIZE :	-	-	-	-	D-409	-
	-70 mm	%Wt					-
	-50 mm	%Wt					-
	-32 mm	%Wt					-
	-2.38 mm	%Wt					-
11.	HGI		-	-	-	D-409	-
12.	ASH FUSION TEMPERATURE (RED) :					D-1857	
12.1	INITIAL DEFORMATION	°C	-	-	-		-
12.2	SOFTENING	°C	-	-	-		-
12.3	HEMISPHERICAL	°C	-	-	-		-
12.4	FLUID	°C	-	-	-		-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 23 AGUSTUS 2019
ANALYST



FANDY

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/AGT/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **19 AGUSTUS 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	19/08/2019 09:00	Ash	505	0,21	2,05
2	19/08/2019 09:30	Ash	500	0,19	1,45
3	19/08/2019 10:00	Ash	503	0,20	2,20
4	19/08/2019 10:30	Ash	499	0,17	3,70
5	19/08/2019 11:00	Ash	505	0,21	4,80

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 23 Agustus 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/FEB/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : UDARA DAN GAS BUANG
TANGGAL SAMPLING : 19 AGUSTUS 2019
NAMA PELANGGAN : ENGINEERING EFISIENSI
DITERIMA DARI : (Helper Kimia)

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	19/08/2019 09:00	40	505	142,1	0,23	16	75
2	19/08/2019 09:30	40	500	141,1	0,16	16	75
3	19/08/2019 10:00	41	503	139,5	0,09	15	73
4	19/08/2019 10:30	42	499	139,7	0,11	15	73
5	19/08/2019 11:00	42	505	139,7	0,13	15	70

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 19 Agustus 2019
AMU KIMIA





ADE LESMANA PUTRA

D. LAMPIRAN 4, DATA BATUBARA KADAR C43,95

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/SEPTEMBER/2019			No. Dokumen	
			Tanggal	19 Mei 2011
			Revisi	00
			Halaman	1 dari 1 halaman
SAMPLE	:	Batubara Coal Fedder Performance Test		
TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE	:			
NAMA PELANGGAN	:	-		
DITERIMA DARI	:	HELPER KIMIA		
TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE	:	02 SEPTEMBER 2019		
TANGGAL DITERIMA	:	02 SEPTEMBER 2019		
TANGGAL PENGUJIAN	:	08 - 15 SEPTEMBER 2019		
URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE	:	MILL		

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	16,31	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	33,74	-	-	D-3302	-
03.	ASH CONTENT	%Wt	4,85	6,13	7,32	D-7582	-
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	33,70	42,57	50,87	D-7582	-
05.	FIXED CARBON	%Wt	27,70	34,99	41,81	By difference	-
06.	GROSS CALORIFIC VALUE (HHV)	Kcal/Kg	4201,88	5307,20	6341,50	D-5865	-
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,19	0,24	0,29	D-4239	-
08.	CARBON	%Wt	43,95	55,51	66,33	D-5373	-
09.	HIDROGEN	%Wt	3,16	5,82	4,77	D-5373	-
10.	NITROGEN	%Wt	0,51	0,65	0,77	D-5373	-
11.	OKSIGEN	%Wt	13,60	31,66	20,52	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP  IMAM SISWO UTOMO	SURALAYA, 15 SEPTEMBER 2019 ANALYST  FANDY AHMAD
--	--

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/SEP/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **2 SEPTEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	2/09/2019 08:00	Ash	500	0,25	1,40
2	2/09/2019 08:30	Ash	499,9	0,21	1,00
3	2/09/2019 09:00	Ash	499,7	0,19	0,45
4	2/09/2019 09:30	Ash	500	1,60	0,80
5	2/09/2019 10:00	Ash	500,1	1,50	0,85

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 9 September 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/SEP/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **UDARA DAN GAS BUANG**
TANGGAL SAMPLING : **2 SEPTEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	2/09/2019 08:00	33,65	500	134,51	0,12	15,9	82
2	2/09/2019 08:30	34	499,9	134,43	0,05	16,0	82
3	2/09/2019 09:00	34,5	499,7	134,22	0,02	15,9	80
4	2/09/2019 09:30	34,9	500	134,45	0,05	16,1	80
5	2/09/2019 10:00	35,7	500,1	134,47	0,06	15,0	79

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan metode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 3 September 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

E. LAMPIRAN 5, DATA BATUBARA KADAR C45,61

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/NOVEMBER/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Fedder Performance Test**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **HELPER KIMIA**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **19 NOVEMBER 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **19 NOVEMBER 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **26-30 NOVEMBER 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE : -

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	15,69	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	33,60	-	-	D-3302	-
03.	ASH CONTENT	%Wt	4,89	6,21	7,37	D-7582	-
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	32,94	41,83	49,61	D-7582	-
05.	FIXED CARBON	%Wt	28,57	36,27	43,02	By difference	-
06.	GROSS CALORIFIC VALUE (HHV)	Kcal/Kg	4136,47	5252,20	6229,63	D-5865	-
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,18	0,23	0,27	D-4239	-
08.	CARBON	%Wt	45,61	57,91	68,69	D-5373	-
09.	HIDROGEN	%Wt	3,30	5,94	4,97	D-5373	-
10.	NITROGEN	%Wt	0,54	0,69	0,81	D-5373	-
11.	OKSIGEN	%Wt	11,88	29,02	17,90	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 21 NOVEMBER 2019
ANALYST



FANDY AHMAD

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/NOV/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **19 NOVEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	19/11/2019 09:00	Ash	499,4	0,23	1,55
2	19/11/2019 09:30	Ash	499	0,21	1,14
3	19/11/2019 10:00	Ash	500	0,23	0,6
4	19/11/2019 10:30	Ash	498,5	0,26	1,02
5	19/11/2019 11:00	Ash	499	0,23	1,21


Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 26 November 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/NOV/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **UDARA DAN GAS BUANG**
TANGGAL SAMPLING : **19 NOVEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	19/11/2019 09:00	33,65	499,4	139,2	0,12	15	75
2	19/11/2019 09:30	34	499	139,1	0,05	15	75
3	19/11/2019 10:00	34,5	500	139,0	0,02	15	72
4	19/11/2019 10:30	34,9	498,5	139,0	0,05	15	72
5	19/11/2019 11:00	35,7	499	139,1	0,06	15	67

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 20 November 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

F. LAMPIRAN 6, DATA BATUBARA KADAR C47,26

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/JULI/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Feeder Performance Test**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **HELPER KIMIA**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **25 JULI 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **25 JULI 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **29 - 30 JULI 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE : **MIX SEMUA MILL**

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	15,97	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	31,92	-	-	D-3302	<35
03.	ASH CONTENT	%Wt	5,66	6,99	8,32	D-7582	<5
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	31,39	38,75	46,11	D-7582	<35
05.	FIXED CARBON	%Wt	31,02	38,29	45,57	By difference	<30
06.	GROSS CALORIFIC VALUE	Kcal/Kg	4422,60	5458,74	6496,18	D-5865	4000-4500
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,28	0,34	0,40	D-4239	0,33
08.	CARBON	%Wt	47,26	58,33	69,42	D-5373	46
09.	HIDROGEN	%Wt	2,93	5,40	4,30	D-5373	3,77
10.	NITROGEN	%Wt	0,65	0,80	0,95	D-5373	1,2
11.	OKSIGEN	%Wt	11,31	28,14	16,61	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 30 JULI 2019
ANALYST



FANDY AHMAD

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/JUL/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **25 JULI 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	25/07/2019 08:00	Ash	500,1	0,22	1,50
2	25/07/2019 08:30	Ash	500	0,19	1,00
3	25/07/2019 09:00	Ash	499	0,20	0,50
4	25/07/2019 09:30	Ash	500	1,80	0,70
5	25/07/2019 10:00	Ash	501	1,20	0,85

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode reference ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 28 Juli 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/JUL/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **UDARA DAN GAS BUANG**
TANGGAL SAMPLING : **25 JULI 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	25/07/2019 08:00	34	500,1	143,7	0,12	15,85	83
2	25/07/2019 08:30	34,1	500	141	0,09	16	81
3	25/07/2019 09:00	34,3	499	139,5	0,03	15,85	80
4	25/07/2019 09:30	34,6	500	143,8	0,04	16,1	79
5	25/07/2019 10:00	35	501	143,5	0,05	15	79

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 29 Juli 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

G. LAMPIRAN 7, DATA BATUBARA KADAR C45,18

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/DESEMBER/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Fedder Performance Test**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **HELPER KIMIA**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **17 DESEMBER 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **17 DESEMBER 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **23 - 26 DESEMBER 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE : **AKHIR**

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	14,91	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	34,08	-	-	D-3302	-
03.	ASH CONTENT	%Wt	3,88	5,01	5,89	D-7582	-
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	32,48	41,92	49,27	D-7582	-
05.	FIXED CARBON	%Wt	29,56	38,16	44,85	By difference	-
06.	GROSS CALORIFIC VALUE (HHV)	Kcal/Kg	4236,41	5468,39	6426,60	D-5865	-
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,18	0,23	0,27	D-4239	-
08.	CARBON	%Wt	45,18	58,32	68,54	D-5373	-
09.	HIDROGEN	%Wt	3,28	5,90	4,97	D-5373	-
10.	NITROGEN	%Wt	0,62	0,80	0,93	D-5373	-
11.	OKSIGEN	%Wt	12,79	29,74	19,40	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 28 DESEMBER 2019
ANALYST



FANDY AHMAD

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/DES/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **17 DESEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	17/12/2019 09:00	Ash	499,6	0,22	1,4
2	17/12/2019 09:30	Ash	499,8	0,24	1,04
3	17/12/2019 10:00	Ash	500	0,23	0,55
4	17/12/2019 10:30	Ash	501	0,25	0,64
5	17/12/2019 11:00	Ash	500	0,24	0,86

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan method reference ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 25 Desember 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/DES/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **UDARA DAN GAS BUANG**
TANGGAL SAMPLING : **17 DESEMBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	17/12/2019 09:00	40	499,6	139	0,120	15	75
2	17/12/2019 09:30	40	499,8	138	0,050	15	75
3	17/12/2019 10:00	41	500	137	0,015	15	72
4	17/12/2019 10:30	42	501	138	0,035	15	72
5	17/12/2019 11:00	42	500	138,5	0,045	15	67

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode reference ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 18 Desember 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

H. LAMPIRAN 8, DATA BATUBARA KADAR C47,07

LAPORAN HASIL PENGUJIAN Nomor :- /BB-PT/UJPBSLA/OKTOBER/2019	No. Dokumen	
	Tanggal	19 Mei 2011
	Revisi	00
	Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **Batubara Coal Fedder Performance Test**
 TEMPAT PENGAMBILAN SAMPLE :
 NAMA PELANGGAN : -
 DITERIMA DARI : **HELPER KIMIA**
 TANGGAL PENGAMBILAN SAMPLE : **17 OKTOBER 2019**
 TANGGAL DITERIMA : **17 OKTOBER 2019**
 TANGGAL PENGUJIAN : **19-20 OKTOBER 2019**
 URAIAN/IDENTIFIKASI SAMPLE : **SAMPLING AWAL**

No.	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PEMERIKSAAN			METODE TEST	BATASAN
			AS RECEIVED	AIR DRIED BASIS	DRY BASIS	ASTM	AS RECEIVED
01.	MOISTURE IN ANALYSIS SAMPLE	%Wt	-	15,13	-	D-7582	-
02.	TOTAL MOISTURE	%Wt	30,62	-	-	D-3302	-
03.	ASH CONTENT	%Wt	3,97	4,86	5,73	D-7582	-
04.	VOLATILE MATTER	%Wt	33,85	41,41	48,79	D-7582	-
05.	FIXED CARBON	%Wt	31,55	38,60	45,48	By difference	-
06.	GROSS CALORIFIC VALUE (HHV)	Kcal/Kg	4410,37	5395,04	6356,83	D-5865	-
07.	TOTAL SULPHUR	%Wt	0,21	0,26	0,30	D-4239	-
08.	CARBON	%Wt	47,07	57,58	67,84	D-5373	-
09.	HIDROGEN	%Wt	3,06	5,43	4,41	D-5373	-
10.	NITROGEN	%Wt	0,72	0,88	1,04	D-5373	-
11.	OKSIGEN	%Wt	14,35	30,99	20,69	By difference	-

SPS KIMIA DAN BOP



IMAM SISWO UTOMO

SURALAYA, 29 OKTOBER 2019
ANALYST



FANDY AHMAD

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/BA-FA/UJPBSLA/OKT/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **ASH**
TANGGAL SAMPLING : **17 OKTOBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SAMPLE	BEBAN (MW)	INHERENT MOISTURE ABU (%)	UNBURNED CARBON (%)
1	17/10/2019 08:00	Ash	500,5	0,25	1,6
2	17/10/2019 08:30	Ash	500	0,22	1,1
3	17/10/2019 09:00	Ash	500,8	0,20	0,67
4	17/10/2019 09:30	Ash	500,1	0,25	0,7
5	17/10/2019 10:00	Ash	501	0,19	0,9

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan methode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

SPS KBOP



IMAM SISWO UTOMO

Suralaya, 25 Oktober 2019
ANALIS KIMIA



OKKY RAMDHANI

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : -/PT/A-FG/UJPBSLA/OKT/2019

No. Dokumen	
Tanggal	19 Mei 2011
Revisi	00
Halaman	1 dari 1 halaman

SAMPLE : **UDARA DAN GAS BUANG**
TANGGAL SAMPLING : **17 OKTOBER 2019**
NAMA PELANGGAN : **ENGINEERING EFISIENSI**
DITERIMA DARI : **(Helper Kimia)**

No.	WAKTU PENGAMBILAN SAMPLE	SUHU UDARA DRY BULB (°C)	BEBAN (MW)	FLUE GAS TEMP (°C)	KADAR CO (ppm)	KADAR CO ₂ (%)	RELATIVE HUMIDITY %
1	17/10/2019 08:00	33,65	500,5	139,2	0,09	16	75
2	17/10/2019 08:30	34,1	500	139,1	0,06	16	75
3	17/10/2019 09:00	34,3	500,8	139	0,01	16	73
4	17/10/2019 09:30	34,6	500,1	139,2	0,02	16	73
5	17/10/2019 10:00	35	501	139,1	0,03	16	70

Note: metode analisa menggunakan acuan manual book alat leco TGA 701 "LOI in combustion residues" dengan metode referance ASTM D7348 dan dilakukan drying selama 3 jam di suhu 107°C

Suralaya, 18 Oktober 2019
AMU KIMIA



ADE LESMANA PUTRA

BIOGRAFI PENULIS



IMAM SISWO UTOMO, lahir di Yogyakarta pada hari Kamis tanggal 3 Oktober 1985 merupakan putra sulung dari pasangan Ibu Dra. Sri Muktiningsih dan Bapak Drs. Teguh Dwi Jatmiko. Penulis saat ini sudah berkeluarga dengan 1 orang istri Dwi Asih Wijayanti ST dan 3 orang anak Fatahillah Bintang Maulana, Nabila Jihan Mentari dan Sultan Gibran Alfaresi. Pendidikan formal dasar ditempuh di SD Negeri Tritih Wetan 01 Cilacap, dan lulus pada tahun 1997. Pendidikan selanjutnya ditempuh di SMP Negeri 1 Cilacap, lulus tahun 2000, dan di SMA Negeri 1 Cilacap, lulus tahun 2003. Dari jenjang SMA penulis melanjutkan ke jenjang Sarjana Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada yang dijalani sejak tahun 2003 hingga tahun 2008. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi pascasarjana di Departemen Teknik Mesin, Program Studi S2 Manajemen Energi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Alamat e-mail: imam.siswo@indonesiapower.co.id atau imam.utomo@gmail.com