



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Badak LNG**  
Center Of Excellence

**OPTIMALISASI NILAI *EXCESS OXYGEN* PADA  
UNIT *WATER TUBE BOILER* 24 DAN 25 GUNA  
MENDUKUNG PENINGKATAN EFISIENSI DAN  
PENGHEMATAN *FUEL* DI PT BADAQ NGL**

LAPORAN SKRIPSI

Oleh:

**Feby Valentina**  
NIM. 2002322008

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI  
ENERGI**

**KERJASAMA PNJ – PT BADAQ NGL**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**AGUSTUS, 2024**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Badak LNG**  
Center Of Excellence

**OPTIMALISASI NILAI *EXCESS OXYGEN* PADA  
UNIT *WATER TUBE BOILER* 24 DAN 25 GUNA  
MENDUKUNG PENINGKATAN EFISIENSI DAN  
PENGHEMATAN *FUEL* DI PT BADAK NGL**

**DRAFT SKRIPSI**

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik  
Mesin

Oleh:

**Feby Valentina**  
**NIM. 2002322008**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI  
ENERGI**

**KERJASAMA PNJ – PT BADAK NGL**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**AGUSTUS, 2024**



*“Skripsi ini saya persembahkan untuk Ayah, Mamah, bangsa, dan almamater”*

## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERSETUJUAN  
LAPORAN SKRIPSI

OPTIMALISASI NILAI *OXYGEN EXCESS* PADA UNIT *WATER TUBE BOILER 24 DAN 25* GUNA Mendukung Peningkatan Efisiensi DAN Penghematan *FUEL* DI PT BADAk NGL

Oleh:

Feby Valentina

NIM. 2002322008

Program Studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Laporan Skripsi telah disetujui oleh Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Noor Hidayati, S.T., M.Sc.

NIP. 199008042019032019

Ir. Akbar Surya Laksamana, S.T.,

MBA.

No Badge. 131453

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa

Konversi Energi

Yuli Mafendro D.E.S, S.Pd., M.T.

NIP. 199403092013031013



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## HALAMAN PENGESAHAN

### LAPORAN SKRIPSI

#### OPTIMALISASI NILAI *EXCESS OXYGEN* PADA UNIT *WATER TUBE BOILER 24* DAN *25* GUNA Mendukung Peningkatan Efisiensi DAN Penghematan *FUEL* DI PT BADAK NGL

Oleh:  
Feby Valentina  
NIM. 2002322008

Program Studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Konversi Energi  
Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 21 Agustus 2024 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

### DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Ir. M. Teguh Pratama., S.T., M.Si., I.P.M. No. Badge 133229	Penguji 1		23/08 <sup>24</sup>
2.	Muhammad Prasha Risfi Silitonga, S.Si., M.T. NIP. 199403192022031006	Penguji 2		23/08 <sup>24</sup>
3.	Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T. NIP. 199403092013031013	Penguji 3		23/08 <sup>24</sup>

Bontang, 2024

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Muslimin, S.T.

NIP. 197707142008121005





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Feby Valentina

NIM : 2002322008

Program Studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 2024



Feby Valentina

NIM. 2002322008



# OPTIMALISASI NILAI *EXCESS OXYGEN* PADA UNIT *WATER TUBE BOILER* 24 DAN 25 GUNA Mendukung PENINGKATAN Efisiensi DAN Penghematan *FUEL* DI PT Badak NGL

Feby Valentina<sup>1)</sup>, Noor Hidayati<sup>1\*)</sup>, Akbar Surya Laksamana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16242

<sup>2)</sup> PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: [febyvalentinaa@gmail.com](mailto:febyvalentinaa@gmail.com)

## ABSTRAK

*Boiler* merupakan salah satu peralatan yang memegang peranan penting dalam mendukung keberlangsungan produksi LNG di PT Badak NGL. Efisiensi *boiler* yang rendah dapat menyebabkan pemborosan bahan bakar yang berdampak terhadap kerugian bagi perusahaan. Untuk mengatasi *inefficiency* pada *boiler*, dapat dilakukan dengan melakukan optimasi pada nilai *excess oxygen*. Menurunnya nilai *excess oxygen* akan berdampak terhadap penurunan *fuel gas flow* sehingga *Flue Gas Temperature* dapat diminimalkan dan mengurangi *losses*. Objek dari penelitian yang dilakukan adalah *Water Tube Boiler* 24 dan 25 di PT Badak NGL dengan variasi *load* 46%, 52%, 61%, dan 82%. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *software Hysys* serta validasi perhitungan termodinamika *Peng-Robinson*. Berdasarkan hasil penelitian, penurunan nilai *excess oxygen* pada *Boiler* 24 dan 25 mampu meningkatkan nilai efisiensi dengan nilai rata-rata peningkatan sebesar 3,1% dan 2,9%. Optimalisasi nilai *excess oxygen* juga memberikan pengaruh terhadap penghematan dari konsumsi *fuel gas* dan *steam* sebagai penggerak *force draft fan*. Rata-rata besarnya penghematan pada *Boiler* 24 dan 25 adalah Rp 34.961.970.378 dan Rp 28.509.357.313.

Kata Kunci: *Water Tube Boiler*, *Excess Oxygen*, *Flue Gas Temperature*, Efisiensi, *Fuel Gas*

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



# OPTIMIZATION OF EXCESS OXYGEN VALUE IN WATER TUBE BOILER UNITS 24 AND 25 TO ACHIEVE INCREASED EFFICIENCY AND FUEL SAVINGS AT PT BADAK NGL

Feby Valentina<sup>1)</sup>, Noor Hidayati<sup>1\*)</sup>, Akbar Surya Laksamana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16242

<sup>2)</sup> PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: [febyvalentinaa@gmail.com](mailto:febyvalentinaa@gmail.com)

## ABSTRACT

*Boilers are one of the pieces of equipment that play an important role in supporting the continuity of LNG production at PT Badak NGL. Low boiler efficiency can cause fuel waste which results in losses for the company. To overcome inefficiencies in boilers, can be done by optimizing the excess oxygen value. Reducing the excess oxygen value will have an impact on reducing the flow of fuel gas so that the exhaust gas temperature can be minimized and reduce losses. The object of the research carried out was Water Tube Boiler 24 and 25 at PT Badak NGL with load variations of 46%, 52%, 61% and 82%. The research was carried out using Hysys software and validated Peng-Robinson thermodynamic calculations. Based on the results, reducing the excess oxygen value in Boilers 24 and 25 can increase the efficiency value with an average increase of 3,1% and 2,9%. Optimizing the excess oxygen value also has an impact on saving gas and steam fuel consumption as a force draft fan driver. The average amount of savings on Boilers 24 and 25 is IDR 34.961.970.378 and IDR 28.509.357.313.*

Keyword: *Water Tube Boiler, Excess Oxygen, Flue Gas Temperature, Efficiency, Fuel Gas*

- Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karuniannya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**OPTIMALISASI NILAI *EXCESS OXYGEN* PADA UNIT *WATER TUBE BOILER* 24 DAN 25 GUNA Mendukung Peningkatan Efisiensi dan Penghematan *FUEL* di PT Badak NGL**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Johan Anindhito Indriawan selaku Direktur LNG Academy PT Badak NGL.
3. Bapak Yuli Mafendro D.E.S, S.Pd., M.T selaku Ketua Program Studi Diploma Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
4. Bapak Ir. Muhammad Arief Setiawan, S.T., M.T., I.P.M selaku Ketua Jurusan konsentrasi Pengolahan Gas yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini.
5. Ibu Noor Hidayati, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing dari Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Ir. Akbar Surya Laksamana, S.T., MBA. selaku Dosen Pembimbing dari PT Badak NGL yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh pekerja Department *Technical* dan *Operation* yang telah membantu dalam penyusunan skripsi penulis.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Kakak tingkat LNG Academy di berbagai seksi yang telah membantu kelancaran skripsi.
9. Pihak-pihak yang berasal dari PNJ dan PT Badak NGL yang membantu penyelesaian skripsi ini yang tidak penulis sebutkan satu persatu.
10. Kedua orang tua serta keluarga yang telah memberikan doa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
11. Teman-teman LNG Academy angkatan X yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.

Penulis sangat menyadari betapa banyak kesalahan dan kekurangan yang mungkin ada pada laporan ini. Oleh karena itu, jika pembaca memiliki pesan dan saran mohon disampaikan kepada penulis sebagai rujukan bagi penulis dimasa yang akan datang.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada pembaca yang telah meluangkan waktunya untuk membaca laporan ini dan berharap laporan yang disusun ini dapat bermanfaat bagi pembaca juga bagi penulis dan bagi ilmu pengetahuan.

Bontang, 2024

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
DAFTAR ISTILAH .....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian.....	4
1.3 Pertanyaan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Manfaat Penelitian .....	6
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Landasan Teori.....	9
2.1.1 <i>Boiler</i> .....	9
2.1.2 Prinsip Kerja <i>Boiler</i> .....	9
2.1.3 <i>Boiler</i> di PT Badak NGL .....	11
2.1.4 Komponen <i>Boiler</i> .....	13
2.1.5 Bahan Bakar <i>Boiler</i> .....	21
2.1.6 Efisiensi <i>Boiler</i> .....	23
2.1.7 <i>Flue Gas Temperature</i> .....	30



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.8 Reaksi Pembakaran.....	31
2.1.9 <i>Steam</i> .....	34
2.1.10 Kesetimbangan Massa dan Energi.....	35
2.1.11 Persamaan Keadaan <i>Peng–Robinson</i> (PR-EOS).....	36
2.1.12 Simulasi <i>Hysys</i> .....	39
2.1.13 <i>Fouling</i> .....	39
<b>2.2 Kajian Literatur.....</b>	<b>45</b>
<b>2.3 Kerangka Pemikiran.....</b>	<b>49</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1 Jenis Penelitian.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2 Objek Penelitian.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3 Metode Pengambilan Sampel.....</b>	<b>55</b>
<b>3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....</b>	<b>55</b>
3.4.1 Data Primer.....	55
3.4.2 Data Sekunder.....	55
<b>3.5 Metode Pengumpulan Data.....</b>	<b>56</b>
3.5.1 Langkah-Langkah Pengumpulan Data.....	56
3.5.2 Tempat dan Waktu Pengumpulan Data.....	57
3.5.3 Teknik Pengumpulan Data.....	58
<b>3.6 Metode Analisis Data.....</b>	<b>59</b>
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1 Perhitungan Efisiensi <i>Boiler</i> Sebelum Optimalisasi.....</b>	<b>76</b>
4.1.1 Perhitungan Efisiensi <i>Boiler 24</i> Sebelum Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	76
4.1.2 Perhitungan Efisiensi <i>Boiler 25</i> Sebelum Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	77
<b>4.2 Validasi Simulasi.....</b>	<b>77</b>
4.2.1 Validasi Simulasi <i>Boiler 24</i> .....	78
4.2.2 Validasi Simulasi <i>Boiler 25</i> .....	82
<b>4.3 Hasil Simulasi <i>Hysys</i> terhadap Perubahan Nilai <i>Fuel</i>.....</b>	<b>85</b>



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1 Hasil Simulasi <i>Hysys Boiler 24</i> terhadap Perubahan Nilai <i>Fuel</i> .....	86
4.3.2 Hasil Simulasi <i>Hysys Boiler 25</i> terhadap Perubahan Nilai <i>Fuel</i> .....	87
<b>4.4 Hasil Simulasi <i>Hysys</i> pada Nilai <i>Fuel</i> Tetap .....</b>	<b>88</b>
4.4.1 Hasil Simulasi <i>Hysys Boiler 24</i> pada Nilai <i>Fuel</i> Tetap .....	88
4.4.2 Hasil Simulasi <i>Hysys Boiler 25</i> pada Nilai <i>Fuel</i> Tetap .....	90
<b>4.5 Pengaruh <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Air Flow</i> .....</b>	<b>91</b>
<b>4.6 Pengaruh <i>Excess Oxygen</i> terhadap Konsumsi <i>Fuel</i> .....</b>	<b>92</b>
<b>4.7 Pengaruh <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Flue Gas Temperature</i> .....</b>	<b>94</b>
<b>4.8 Perbandingan Efisiensi <i>Boiler</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....</b>	<b>96</b>
4.8.1 Perbandingan <i>Dry Flue Gas Loss</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	98
4.8.2 Perbandingan <i>H<sub>2</sub> in Fuel Loss</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	100
4.8.3 Perbandingan <i>Moisture in Air Loss</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	101
<b>4.9 Perbandingan <i>Fuel Flow</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....</b>	<b>102</b>
<b>4.10 Perbandingan <i>Air Flow</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....</b>	<b>104</b>
<b>4.11 Rincian Biaya Penghematan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i>...</b>	<b>106</b>
4.11.1 Rincian Biaya Penghematan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> pada <i>Boiler 24</i> .....	106
4.11.2 Rincian Biaya Penghematan Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> pada <i>Boiler 25</i> .....	108
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>110</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>110</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>110</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>112</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>119</b>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>Hydrocarbon</i> Alkana.....	22
Tabel 2.2 <i>Fouling Resistance</i> untuk <i>Industrial Fluids</i> .....	39
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu yang Relevan .....	46
Tabel 3.1 Data Sekunder Penelitian .....	55
Tabel 3.2 Basis Data Simulasi <i>Boiler 24</i> dan <i>25</i> .....	61
Tabel 3.3 Data Komposisi <i>Fuel Gas</i> .....	62
Tabel 3.4 Data Aktual <i>Boiler 24</i> .....	63
Tabel 3.5 Data Aktual <i>Boiler 25</i> .....	63
Tabel 4.1 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 46%</i> .....	78
Tabel 4.2 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 52%</i> .....	79
Tabel 4.3 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 61%</i> .....	80
Tabel 4.4 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 82%</i> .....	81
Tabel 4.5 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 25 Load 49%</i> .....	82
Tabel 4.6 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 25 Load 52%</i> .....	83
Tabel 4.7 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 25 Load 61%</i> .....	84
Tabel 4.8 Nilai <i>Error Flue Gas Temperature Boiler 25 Load 82%</i> .....	85
Tabel 4.9 Nilai <i>Optimal Excess Oxygen Boiler 24</i> .....	89
Tabel 4.10 Nilai <i>Optimal Excess Oxygen Boiler 25</i> .....	91
Tabel 4.11 Perbandingan <i>Fuel Flow Boiler 24</i> .....	103
Tabel 4.12 Perbandingan <i>Fuel Flow Boiler 25</i> .....	103
Tabel 4.13 Perbandingan <i>Air Flow Boiler 24</i> .....	104
Tabel 4.14 Perbandingan <i>Air Flow Boiler 25</i> .....	104
Tabel 4.15 Perbandingan Konsumsi <i>Steam Boiler 24</i> .....	105
Tabel 4.16 Perbandingan Konsumsi <i>Steam Boiler 25</i> .....	105
Tabel 4.17 Rincian Biaya Penghematan <i>Fuel Boiler 24</i> .....	106
Tabel 4.18 Rincian Biaya Penghematan <i>Steam Boiler 24</i> .....	107
Tabel 4.19 Total Biaya Penghematan <i>Boiler 24</i> .....	107
Tabel 4.20 Rincian Biaya Penghematan <i>Fuel Boiler 25</i> .....	108
Tabel 4.21 Rincian Biaya Penghematan <i>Steam Boiler 25</i> .....	108
Tabel 4.22 Total Biaya Penghematan <i>Boiler 25</i> .....	109



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Efisiensi <i>Boiler</i> 2023 .....	1
Gambar 1.2 <i>Excess Oxygen Boiler</i> 24 dan 25 .....	3
Gambar 1.3 <i>Flue Gas Temperature Boiler</i> 24 dan 25 .....	3
Gambar 2.1 Prinsip Kerja <i>Boiler</i> .....	10
Gambar 2.2 <i>Boiler</i> di <i>Utilities I</i> PT Badak NGL .....	12
Gambar 2.3 <i>Boiler</i> di <i>Utilities II</i> PT Badak NGL .....	13
Gambar 2.4 <i>Steam Drum</i> di PT Badak NGL .....	15
Gambar 2.5 <i>Mud Drum</i> di PT Badak NGL .....	16
Gambar 2.6 <i>Economizer</i> .....	16
Gambar 2.7 <i>Boiler Stack</i> di <i>Utilities I</i> PT Badak NGL .....	18
Gambar 2.8 <i>Burner</i> pada <i>Utilities I</i> PT Badak NGL .....	18
Gambar 2.9 <i>Force Draft Fan</i> di PT Badak NGL .....	19
Gambar 2.10 <i>Spray Attemperator</i> dengan <i>Ventury Type</i> .....	20
Gambar 2.11 <i>Boiler Chemical Mixing Tank</i> dan Pompa Injeksi di PT Badak NGL .....	21
Gambar 2.12 Kerangka Pemikiran .....	51
Gambar 3 1. Diagram Alir Penelitian .....	53
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Perhitungan Efisiensi <i>Boiler</i> .....	60
Gambar 4.1 Efisiensi <i>Boiler</i> 24 .....	76
Gambar 4.2 Efisiensi <i>Boiler</i> 25 .....	77
Gambar 4.3 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 24 Load 46% .....	78
Gambar 4.4 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 24 Load 52% .....	79
Gambar 4.5 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 24 Load 61% .....	80
Gambar 4.6 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 24 Load 82% .....	81
Gambar 4.7 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 25 Load 49% .....	82
Gambar 4.8 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 25 Load 52% .....	83
Gambar 4.9 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 25 Load 61% .....	84
Gambar 4.10 <i>Mass</i> dan <i>Energy Balance Boiler</i> 25 Load 82% .....	85
Gambar 4.11 Variasi <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Flue Gas Temperature Boiler</i> 24 (Perubahan <i>Fuel Flow</i> ) .....	86
Gambar 4.12 Variasi <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Flue Gas Temperature Boiler</i> 25 (Perubahan <i>Fuel Flow</i> ) .....	87
Gambar 4.13 Variasi <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Flue Gas Temperature Boiler</i> 24 pada <i>Fuel</i> Tetap .....	89
Gambar 4.14 Variasi <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Flue Gas Temperature Boiler</i> 25 pada <i>Fuel</i> Tetap .....	90
Gambar 4.15 <i>Air Flow</i> pada Variasi <i>Excess Oxygen</i> dan Load <i>Boiler</i> 24 .....	91
Gambar 4.16 <i>Air Flow</i> pada Variasi <i>Excess Oxygen</i> dan Load <i>Boiler</i> 25 .....	92
Gambar 4.17 Konsumsi <i>Fuel</i> pada Variasi <i>Excess Oxygen</i> dan Load <i>Boiler</i> 24 ..	93
Gambar 4.18 Konsumsi <i>Fuel</i> pada Variasi <i>Excess Oxygen</i> dan Load <i>Boiler</i> 25 ..	93
Gambar 4.19 <i>Flue Gas Temperature</i> terhadap Variasi <i>Excess Oxygen</i> pada <i>Boiler</i> 24 .....	94

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.20 <i>Flue Gas Temperature</i> terhadap Variasi <i>Excess Oxygen</i> pada <i>Boiler 25</i> .....	95
Gambar 4.21 Perbandingan Efisiensi <i>Boiler 24</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi .....	96
Gambar 4.22 Perbandingan Efisiensi <i>Boiler 25</i> Sebelum dan Setelah Optimalisasi .....	97
Gambar 4.23 Perbandingan <i>Dry Flue Gas Loss Boiler 24</i> .....	98
Gambar 4.24 Perbandingan <i>Dry Flue Gas Loss Boiler 25</i> .....	99
Gambar 4.25 Perbandingan <i>H<sub>2</sub> in Fuel Loss Boiler 24</i> .....	100
Gambar 4.26 Perbandingan <i>H<sub>2</sub> in Fuel Loss Boiler 25</i> .....	101
Gambar 4.27 Perbandingan <i>Moisture in Air Loss Boiler 24</i> .....	102
Gambar 4.28 Perbandingan <i>Moisture in Air Loss Boiler 25</i> .....	102



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Simulasi <i>Hysys</i> .....	119
Lampiran 2. <i>American Boiler Manufacturers Association (ABMA) Chart</i> .....	120
Lampiran 3. Uji Normalitas Data.....	121
Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi <i>Boiler</i> Sebelum Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	122
Lampiran 5. Perhitungan <i>Enthalpy Fuel</i> .....	141
Lampiran 6. Perhitungan <i>Enthalpy Air</i> .....	149
Lampiran 7. Perhitungan <i>Enthalpy Boiler Feed Water</i> .....	155
Lampiran 8. Perhitungan <i>Enthalpy Out Economizer</i> .....	158
Lampiran 9. Perhitungan <i>Enthalpy High Pressure Steam</i> .....	161
Lampiran 10. Perhitungan <i>Mass Balance Boiler 24 Load 46%</i> .....	164
Lampiran 11. Perhitungan <i>Fouling</i> pada <i>Superheater Boiler 24 Load 46%</i> .....	165
Lampiran 12. Perhitungan <i>Fouling</i> pada <i>Boiler Bank Tubes Boiler 24 Load 46%</i> .....	175
Lampiran 13. Perhitungan <i>Energy Balance Boiler 24 Load 46%</i> .....	180
Lampiran 14. Perhitungan Komposisi <i>Flue Gas Boiler 24 Load 46%</i> .....	182
Lampiran 15. Perhitungan <i>Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 46%</i> .....	186
Lampiran 16. Perhitungan <i>Air Flow</i> dan <i>Fuel Flow</i> pada Rentang Nilai <i>Excess Oxygen</i> .....	192
Lampiran 17. Perhitungan <i>Air Flow</i> pada Nilai <i>Fuel Flow</i> Tetap .....	211
Lampiran 18. Hasil Simulasi Nilai <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Fuel Flow</i> dan <i>Air Flow Boiler 24</i> .....	225
Lampiran 19. Hasil Simulasi Nilai <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Fuel Flow</i> dan <i>Air Flow Boiler 25</i> .....	228
Lampiran 20. Hasil Simulasi Nilai <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Fuel Flow</i> Tetap <i>Boiler 24</i> .....	231
Lampiran 21. Hasil Simulasi Nilai <i>Excess Oxygen</i> terhadap <i>Fuel Flow</i> Tetap <i>Boiler 25</i> .....	235
Lampiran 22. Perhitungan Efisiensi <i>Boiler</i> Setelah Optimalisasi <i>Excess Oxygen</i> .....	238
Lampiran 23. Perhitungan Konsumsi <i>Steam</i> .....	256
Lampiran 24. Perhitungan Penghematan Biaya .....	258
Lampiran 25. Biodata Mahasiswa.....	261

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR ISTILAH**

ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i> , standar
ABMA	= <i>American Boiler Manufacturers Association</i> , asosiasi
EOS	= <i>Equation of State</i> atau persamaan keadaan
PR	= <i>Peng-Robinson</i> , EOS
SRK	= <i>Soave-Redlich-Kwong</i> , EOS
VLE	= <i>Vapor Liquid Equilibrium</i> , konsep kesetimbangan
EA	= <i>Excess Air</i>
AAS	= <i>Actual Air Supply</i>
TA	= <i>Theoretical Air</i>
AFR	= <i>Air to Fuel Ratio</i>
HPS	= <i>High Pressure Steam</i>
BFW	= <i>Boiler Feed Water</i>
MCR	= <i>Maximum Continous Rate</i>
CBD	= <i>Continous Blowdown</i>
IBD	= <i>Intermitten Blowdown</i>
HHV	= <i>Higher Heating Value</i>
LHV	= <i>Lower Heating Value</i>
NTU	= <i>Number of Transfer Unit</i>



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR NOTASI**

$A$	= Luas Area ( $m^2$ )
$\eta$	= Efisiensi (%)
$m$	= Massa zat
$T_f$	= <i>Flue Gas Temperature</i> ( $^{\circ}C$ )
$T_a$	= <i>Temperature ambience</i> ( $^{\circ}C$ )
$C_p$	= Kapasitas panas spesifik suatu zat ( $kJ/kg \cdot ^{\circ}C$ )
$n$	= Jumlah mol
$\dot{Q}$	= Energi dalam suatu sistem
$h$	= <i>Enthalpy</i> aliran
$P$	= Tekanan zat
$P_c$	= Tekanan kritis zat
$P_r$	= Tekanan tereduksi zat
$T$	= Temperatur zat
$T_c$	= Temperatur kritis zat
$T_r$	= Temperatur tereduksi zat
$R$	= Nilai konstanta gas
$V$	= Volume zat
$\kappa$	= Laju alir massa zat
$a$	= Koefisien persamaan keadaan <i>Soave-Redlich-Kwong</i> (SRK-EOS) dan <i>Peng-Robinson</i>
$b$	= Koefisien persamaan keadaan <i>Soave-Redlich-Kwong</i> (SRK-EOS) dan <i>Peng-Robinson</i>
$k_{ij}$	= Karakteristik <i>pure component</i>
$\alpha$	= Koefisien yang bergantung pada temperatur untuk SRK-EOS dan PR-EOS
$\omega$	= Faktor asentrik
$Z$	= Faktor kompresibilitas



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- $\alpha$  = *Excess air factor*
- $t_c$  = *Temperature pembakaran (°F)*
- $t_{ca}$  = *Actual flame temperature (°F)*
- $t_g$  = *Flue gas temperature inside furnace (°F)*
- $L$  = *Dimensi panjang furnace*
- $W$  = *Dimensi lebar furnace*
- $H$  = *Dimensi ketinggian furnace*
- $P_{vCO_2}$  = *Flue gas carbon dioxide vapor pressure*
- $P_{vH_2O}$  = *Flue gas water vapor pressure*
- $\sigma$  = *Konstanta Stefan Boltzman*
- $\epsilon_g$  = *Emisivitas gas*
- $G$  = *Flue gas product gas mass velocity*
- $d_o$  = *Outside diameter tube*
- $d_i$  = *Inside diameter tube*
- $\mu$  = *Dynamic viscosity*
- $K$  = *Thermal conductivity*
- $h_i$  = *Tube-side heat transfer coefficient*
- $U$  = *Overall heat transfer coefficient*
- $h_o$  = *Gas side coefficient*
- $ff_i$  = *Fouling factor inside tubes*
- $ff_o$  = *Fouling factor outside tubes*

**Hak Cipta :**

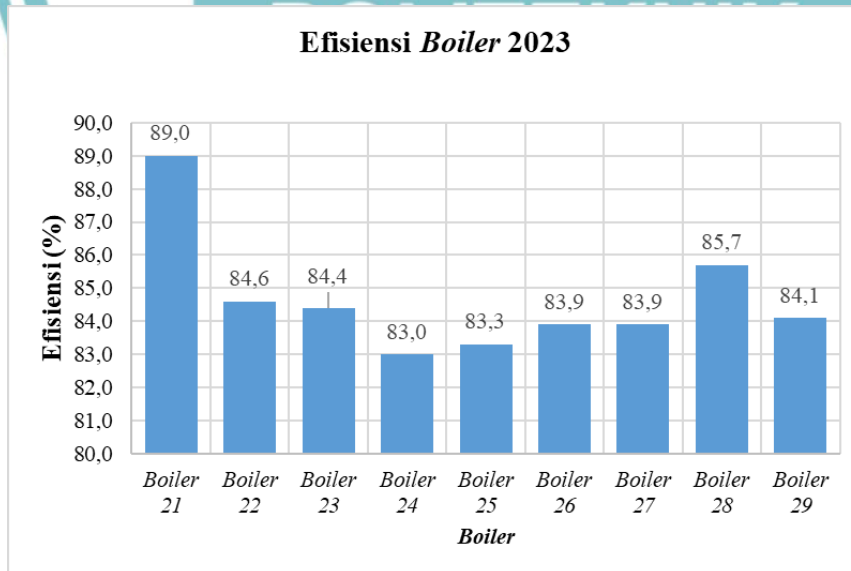
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

PT Badak NGL merupakan salah satu perusahaan penghasil LNG terbesar di dunia memegang peranan penting dalam menjaga rantai pasokan LNG, baik dalam skala nasional maupun internasional (Harjanto dkk., 2022). Sebagai perusahaan terdepan, PT Badak NGL perlu melakukan optimalisasi dalam berbagai aspek, baik dalam unit proses maupun unit penunjang (*utility*). *Boiler* merupakan salah satu unit penting dalam menyediakan kebutuhan *steam* bagi kelancaran proses produksi. *Boiler* di PT Badak NGL memanfaatkan *supply fuel* berupa gas hidrokarbon (C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>) memiliki nilai panas yang cukup tinggi yang berasal dari *process train*, *boil off gas (storage loading)* dan *line feed gas*. *Boiler* digunakan untuk menyediakan kebutuhan *high pressure steam* pada beberapa *equipment*, antara lain *steam turbine*, *heater*, *ejector*, serta fungsi *utilities* lainnya (Hendra, 2016).



Gambar 1.1 Efisiensi *Boiler* 2023

Sumber: (Sirait, 2023)



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan laporan audit *boiler* pada PT Badak NGL tahun 2023, nilai rata – rata efisiensi boiler adalah sebesar 84,7%. *Boiler* 24 dan 25 merupakan *boiler* dengan nilai efisiensi terendah, yakni sebesar 83,0% dan 83,3%. Efisiensi *boiler* yang rendah mengindikasikan besarnya kalor pembakaran yang terbang ke atmosfer dan menyebabkan pemborosan *fuel gas* (Djafar, 2017). Dalam laporan audit *boiler* pada PT Badak NGL tahun 2023 juga disebutkan bahwa nilai total konsumsi *fuel gas* sebagai bahan bakar *boiler* pada tahun 2022 adalah sebesar Rp 3,382,714,391,500. Peningkatan efisiensi *boiler* sebesar 1% dapat memberikan nilai penghematan konsumsi *fuel gas* sebesar 1%. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya peningkatan efisiensi *boiler* yang ada di PT Badak NGL.

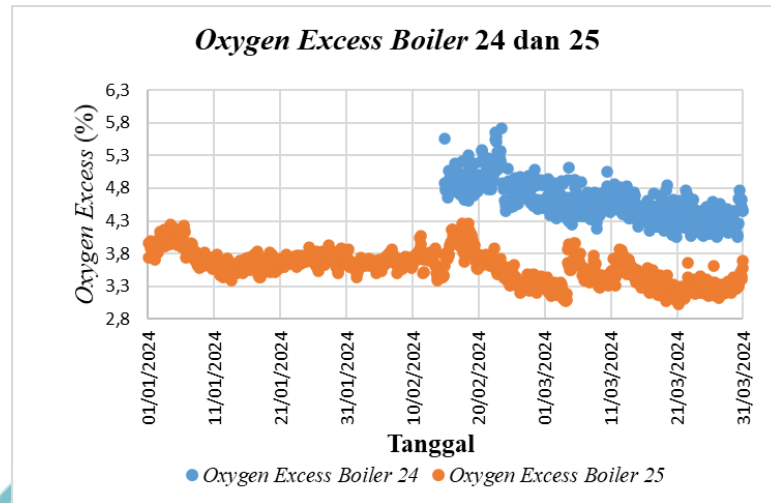
Penelitian difokuskan pada *Boiler* 24 dan 25, di mana *Boiler* 24 dan 25 memiliki nilai efisiensi yang paling rendah dibandingkan dengan efisiensi *boiler* lain yang ada pada *Utilities* II PT Badak NGL. Pemilihan *Boiler* 24 dan 25 juga didasarkan atas peralatan *oxygen analyzer* yang akurat. Dalam hal ini, optimalisasi nilai *excess oxygen* bergantung terhadap pembacaan *oxygen analyzer*. Oleh karena itu, *Boiler* 24 dan 25 juga dipilih berdasarkan keakuratan nilai *excess oxygen* sebagai akibat dari pengantian *steam boiler excess oxygen analyzer* (31-F-24 dan 31-F-25) pada 30 November 2023.

Tingginya angka *excess oxygen* pada *Boiler* 24 dan 25 digambarkan dalam Gambar 1.4. Pada bulan Januari – Maret 2024, *Boiler* 24 dan 25 memiliki nilai median *excess oxygen* sebesar 4,59% dan 3,60%. Nilai *excess oxygen* yang semakin besar akan menyebabkan konsumsi *fuel* yang semakin tinggi untuk memanaskan udara berlebih. Hal tersebut mengakibatkan temperatur *flue gas* menjadi semakin besar dan terbawa sebagai *losses*.



**Hak Cipta :**

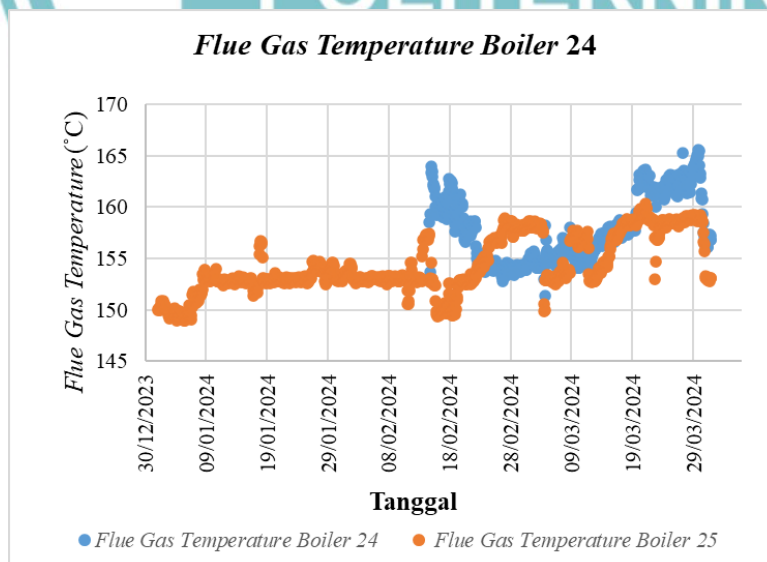
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1.2 Excess Oxygen Boiler 24 dan 25

Sumber: Data Diolah, 2024

Berdasarkan data aktual pada bulan Januari – Maret 2024, nilai median *flue gas temperature* pada Boiler 24 dan 25 adalah sebesar 158°C dan 154°C. Nilai *flue gas temperature* yang semakin tinggi mengindikasikan nilai kalor panas yang terbuang begitu saja melalui *stack*. Nilai *flue gas temperature* paling minimum yang dapat dicapai oleh boiler *natural gas* adalah sebesar 120°C (Sequeira, 2019). Nilai *flue gas temperature* pada Boiler 24 dan 25 ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Flue Gas Temperature Boiler 24 dan 25

Sumber: Data Diolah, 2024



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan beberapa permasalahan di atas, penurunan kinerja dan ketidakefisienan *Boiler* 24 dan 25 di PT Badak NGL dapat diatasi dengan optimalisasi nilai *excess oxygen*. Optimalisasi tersebut akan berpengaruh terhadap *supply fuel* yang juga berkurang dengan tujuan mencapai penghematan *fuel* serta meningkatkan efisiensi *boiler* melalui penurunan *flue gas temperature*. Penelitian diawali dengan melakukan perhitungan nilai efisiensi menggunakan *indirect method* untuk menentukan nilai efisiensi *boiler* serta sebagai pembanding sebelum optimalisasi nilai *excess oxygen* dilakukan. Penelitian dilanjutkan dengan simulasi menggunakan *Hysys* untuk memberikan gambaran pengaruh penurunan *combustion air* dan *fuel flow* terhadap *flue gas temperature*. Validasi penelitian juga dilakukan dengan melakukan perhitungan termodinamika untuk menentukan nilai *flue gas temperature*. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa nilai *error* antara data simulasi dan data aktual kurang dari 5%. Selanjutnya, perhitungan efisiensi *boiler* setelah optimalisasi dan pembiayaan dilakukan untuk mengetahui besarnya angka penghematan *fuel consumption* dan kenaikan efisiensi *boiler* pada nilai optimal *excess oxygen*.

### 1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah pada laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi *Boiler* 24 dan 25 pada *Utilities* II memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan dengan efisiensi *boiler* lain.
2. Nilai median *excess oxygen* pada *Boiler* 24 dan 25 mencapai 4,59% dan 3,60%.
3. Nilai median *flue gas temperature* *Boiler* 24 dan 25 adalah sebesar 158°C dan 154°C.

### 1.3 Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian dalam laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai optimum untuk parameter *excess oxygen* pada *Boiler* 24 dan 25?





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Bagaimana hasil perbandingan efisiensi *Boiler* 24 dan 25 sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi?
3. Bagaimana hasil perbandingan penghematan biaya pada nilai optimal *excess oxygen*?

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai optimum untuk parameter *excess oxygen* untuk diterapkan pada *Boiler* 24 dan 25.
2. Mengetahui perbandingan nilai efisiensi *Boiler* 24 dan 25 sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi.
3. Mengetahui perbandingan penghematan biaya pada nilai optimal *excess oxygen*.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. *Boiler* yang digunakan sebagai bahan penelitian dan simulasi adalah *Boiler* 24 dan 25 pada sistem *Utilities* II di PT Badak NGL.
2. Data simulasi dan perhitungan didasarkan atas data aktual *Boiler* 24 dan 25 pada periode Januari - April 2024.
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Hysys*.
4. Pemilihan *property package* dalam simulasi *Hysys* menggunakan *Peng-Robinson*.
5. Simulasi didasarkan atas variasi *load* 46%, 52%, 61% dan 82% *Boiler* 24 dan variasi *load* 49%, 52%, 61% dan 82% *Boiler* 25 dalam periode waktu Januari – April 2024.
6. Simulasi didasarkan atas variasi *excess oxygen* 1,20 - 4,50% pada *Boiler* 24 dan 1,20 – 3,90 pada *Boiler* 25.
7. Simulasi menggunakan *equipment* reaktor *Gibbs* dalam proses pembakaran *fuel gas*.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Validasi simulasi dilakukan dengan menggunakan perhitungan *thermodinamika* serta *mass and energy balance*.
9. Besarnya pengaruh radiasi dalam simulasi *Hysys* dan perhitungan termodinamika didasarkan atas *ABMA Chart* sesuai dengan *load* masing-masing *boiler*.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Bagi Penulis:

- 1) Sebagai syarat untuk memenuhi penyusunan Laporan Skripsi guna mendapatkan gelar Diploma IV dari Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi di Politeknik Negeri Jakarta.
- 2) Menambah pengalaman dan keterampilan dalam menganalisis permasalahan yang ada di PT Badak NGL.
- 3) Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan.

B. Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta:

Sebagai media pembelajaran dan penelitian unit *water tube boiler* di PT Badak NGL.

C. Bagi Badak LNG:

- 1) Berkontribusi dalam memberikan laporan uji efisiensi kerja *water tube boiler* 24 dan 25 di PT Badak NGL.
- 2) Berkontribusi dalam memberikan saran nilai optimal *Excess Oxygen* pada unit *water tube boiler* 24 dan 25 di PT Badak NGL.
- 3) Berkontribusi dalam memberikan rincian perhitungan penghematan berdasarkan nilai optimal *Excess Oxygen* pada unit *water tube boiler* 24 dan 25 di PT Badak NGL.

### 1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan laporan skripsi ini merujuk pada buku “Panduan Tugas Akhir/Skripsi Jurusan Teknik Mesin” yang diterbitkan oleh Politeknik



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Negeri Jakarta.

## **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini, penyusun laporan menguraikan latar belakang pemilihan topik, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan batasan masalah, manfaat yang akan didapat, metode penelitian, dan sistematika penulisan keseluruhan laporan skripsi

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Studi Pustaka/Tinjauan Pustaka berisi sumber bacaan atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan atau penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang dikaji dalam laporan skripsi.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

Penyusun laporan menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau penelitian, meliputi prosedur, pengambilan sampel dan pengumpulan data, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknis perancangan.

## **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini terdapat hasil dan analisis data, perhitungan-perhitungan aktual yang diperoleh dari analisis, serta interpretasi dan pembahasan hasil perhitungan.

## **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini penulis memaparkan kesimpulan dari seluruh analisis data dan pembahasan hasil perhitungan/penelitian. Isi kesimpulan akan menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan dalam laporan skripsi disertai saran – saran atau opini yang berkaitan dengan laporan skripsi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai optimal *excess oxygen* untuk *Boiler* 24 dengan *load* 46%, 52%, 61%, dan 82% adalah 2,00%, 1,60%, 1,60%, dan 1,80%. Sedangkan untuk *Boiler* 25, nilai optimal *excess oxygen* untuk *load* 49%, 52%, 61%, dan 82% adalah sebesar 1,60%, 1,40%, 1,60%, dan 1,80%.
2. Optimalisasi nilai *excess oxygen* berdampak terhadap kenaikan efisiensi *boiler*. Pada *Boiler* 24 dengan *load* 46%, 52%, 61%, dan 82%, kenaikan efisiensi yang terjadi yakni sebesar 3,3%, 2,8%, 2,9%, dan 3,5%. Sedangkan pada *Boiler* 25 dengan *load* 49%, 52%, 61%, dan 82%, kenaikan efisiensi yang terjadi adalah sebesar 2,9%, 2,8%, 3,0%, dan 3,0%.
3. Optimalisasi nilai *excess oxygen* berpengaruh terhadap penurunan konsumsi *fuel gas* dan *steam*. Besarnya nilai penghematan pada *Boiler* 24 dengan *load* 46%, 52%, 61%, dan 82% yaitu Rp 29.048.109.556, Rp 24.289.993.813, Rp 32.776.652.742, dan Rp 53.733.125.400. Sedangkan besarnya penghematan pada *Boiler* 25 dengan *load* 49%, 52%, 61%, dan 82% yaitu Rp 22.611.218.177, Rp 22.350.700.098, Rp 28.701.841.474, dan Rp 40.373.669.501.

#### 5.2 Saran

Dari kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan, penulis sadar masih terdapat beberapa kekurangan. Adapun saran yang diberikan untuk penelitian di masa yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan *plant test* untuk sebelum hasil penelitian diterapkan pada *boiler*. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi lapangan, terdapat banyak faktor pengganggu yang berpengaruh terhadap hasil efisiensi *boiler*.

2. Perlu dilakukan perbaikan serta pemeriksaan kondisi pada setiap bagian *boiler* sebelum hasil penelitian diterapkan. Hal tersebut perlu dilakukan untuk meminimalkan potensi *unaccounted losses* pada peralatan *boiler*.
3. Pada penelitian selanjutnya, pengambilan data sample masing-masing *load boiler* hendaknya memperhatikan kurva *excess oxygen trim*.
4. Perlu dilakukan variasi nilai komposisi *fuel gas* sesuai dengan data hasil *sampling*.



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





## DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisyi, M., Dharmawan, A., & Yudi Miswar, D. (2022). OPTIMASI KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN BATUBARA UNTUK MENINGKATKAN KINERJA BOILER PLTU TANJUNG AWAR-AWAR. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 2(1), 702–708. [www.gatrik.esdm.go.id](http://www.gatrik.esdm.go.id)
- Amani, Y., & Ilham Maulana, M. (2016). Analisis Laju Fouling pada Tube Heat Exchanger 53 EA-1001. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 4(1).
- Amri, Y., & Harmawan, T. (2019). Analisis pH dan Kesadahan Total pada Air Umpan Boiler di PMKS PT. SISIRAU Aceh Tamiang. *Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 1(1).
- Arif, A., Zambak, M. F., Suwarno, & Harahap, M. (2023). Analisa Dan Simulasi Efisiensi Energi Listrik PT. XYZ Dengan Menggunakan Regresi Linier. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 5(2). <https://doi.org/10.30596/rele.v5i2.13085>
- ARIS, P. (2019). PERAWATAN AIR KETEL UNTUK MENCEGAH TERJADINYA KOROSI DI MV. SINAR PAPUA PT. SAMUDERA INDONESIA SHIP MANAGEMENT.
- Arsy, F., & Lestari, S. (2022). OPTIMASI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR PADA FURNACE (F-1) DI HVU PT X INDONESIA. Dalam Fitri Arsy, *SNTEM (Vol. 2)*.
- De La Cruz, I., & Ugalde-Loo, C. E. (2021). District Heating and Cooling Systems. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- DEDI, K. (2020). PERAWATAN AIR UMPAN KETEL UAP BANTU AALBORG VAERFT AQ-9 UNTUK MENCEGAH TERJADINYA KOROSI DI MT.SANGA SANGA.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dewanti, D. P., Sulaiman, A., Pusat, ), Lingkungan, T., Pengkajian, B., Teknologi, P., Pusat, B., Pengembangan, T., Wilayah, S., Serpong, K. P., & Selatan, T. (2019). Penentuan Temperatur Optimal Pembakaran Boiler untuk Karbonisasi Hidrotermal Sampah Organik Melalui Model Semi-Analitik Perpindahan Panas Determination of Optimal Boiler Combustion Temperature for Hydrothermal Carbonization of Organic Waste Through A Semi-Analytic Heat Transfer Model. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 291–298.

Djafar, R. (2017). PENGARUH X-RATIO AIR PREHEATER TERHADAP PERFORMA PLTU KAPASITAS 2x12,5 MW PADA VARIASI BEBAN TURBIN 50%, 75%, DAN 100% DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE CYCLE TEMPO. Institut Teknologi Sepuluh November.

Faramawy, S., Zaki, T., & Sakr, A. A. E. (2016). Natural gas origin, composition, and processing: A review. Dalam *Journal of Natural Gas Science and Engineering* (Vol. 34, hlm. 34–54). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030>

Flynn, A. M., Akashige, T., & Theodore, L. (2019). *Kern's Process Heat Transfer* (2nd Edition).

Handari, S., & Pramesty, W. (t.t.). ANALISIS ASPEK K3 SERTA PERANCANGAN ULANG TATA LETAK INDUSTRI TAHU DI KABUPATEN.

Harjanto, A., Rumawan, F. H., Suprihanto, D., Nurdianto, B. B., & Elektro, T. (2022). A CHARACTERISTICS OF LINEARITY AND SENSITIVITY IN MEASURING THE MQ-4 SENSOR ON GAS LINE LEAKAGE. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 3(2), 287–294. <https://doi.org/10.20884/1.jutif.2022.3.2.229>

Hendra, D. (2016). OPERATION MANUAL BOOK-2 (BOILER = POWER STEAM GENERATION). PT Badak NGL.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Juliyanti, A. dan F. (2023). ANALISA PERBANDINGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR (FIBER& SHELL) DAN AIR PADA BOILER ADVANCE30 TON PT. CITRA SAWIT LESTARI. *Jurnal: Elektriika Borneo (JEB)*, Vol. 9, No. 2, 94–103.

Kim, C. H. , L., J. Y., P. S. H., & Moon, S. O. (2019). Global trends and prospects of black liquor as bioenergy. *Journal of Korea TAPPI*, 51(5), 3–15.

Madejski, P., & Żymelka, P. (2020). Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling. *Energy*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117221>

Maridjo, I., Yuliyani, A. R., Teknik, J., Energi, K., & Bandung, P. N. (2019). PENGARUH PEMAKAIAN BAHAN BAKAR PREMIUM, PERTALITE DAN PERTAMAX TERHADAP KINERJA MOTOR 4 TAK. *Jurnal Teknik Energi*, Vol. 9 No. 1.

Maulana, H. (2020). ANALISA UNJUK KERJA BOILER KAPASITAS 30 TON UAP/JAM DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN BAHAN BAKAR FIBER DAN SHELL.

Mbdk, S., Nts, S., & Vgtc, S. (2020). Boiler Operation and Process Control in Sri Lankan Industries. *JOURNAL OF RESEARCH TECHNOLOGY AND ENGINEERING*, 1.

Meksoub, A., Elkihel, A., Gziri, H., & Berrehili, A. (2021). Heat Loss in Industry: Boiler Performance Analysis. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy Systems*, Volume 681.

Mousapoor, M. (2022). *Industrial Water Tube Boiler Design*. Walter de Gruyter GmbH.





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mrzljak, V., Paolo Blecich, Nikola Anđelić, & Ivan Lorencin. (2019). Energy and exergy analyses of forced draft fan for marine steam propulsion system during load change. *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol. 7.

Muchlisinalahuddin, & Kesuma, D. S. (2020). TEMPAT PEMBAKARAN SAMPAH ORGANIK RAMAH LINGKUNGAN. *Rang Teknik Journa*, Vol. 3 No. 1.

Napitupulu, J. P. (2023). LAPORAN KERJA PRAKTEK PT. BARUMUN AGRO SENTOSA KAPASITAS 60 TON/JAM ANALISA KINERJA SISTEM PEMBAKARAN BOILER.

Nasution, M. (2022). Bahan Bakar Merupakan Sumber Energi Yang Sangat Diperlukan Dalam Kehidupan Sehari Hari. (Cetak) *Journal of Electrical Technology*, 7(1).

Ningsih, E. S. (2019). Perancangan Sistem Pengontrolan Structure Cascade Level Ketinggian Air Pada Steam Drum. Universitas Brawijaya.

Nur Lathifah Gusti, W., Prasetyo, T., Anis Roihatin, dan, Teknik Mesin, J., & Negeri Semarang Jl Soedarto, P. S. (2022). ANALISIS EFISIENSI FIRE TUBE BOILER TWA KAPASITAS 6000 KG/JAM UNTUK PEMANAS KILANG DI PPSDM MIGAS CEPU KAB. BLORA DENGAN METODE LANGSUNG. 13 *Prosiding NCIET*, 3.

Nur, R. (2020). Pengaruh persentase campuran kulit kayu gelam (*Melaleuca Cajuputi*) dan cangkang karet (*Hevea Brasiliensi*) terhadap karakteristik pembakaran briket. 9(1).

Piper, J. E. (2016). *Operations and Maintenance Manual for Energy Management (First Edition)*. Taylor & Francis.

Prasetyo, G., Gumelar, A., Dewi, N., Miftah, A., Endranaka, W., Al, D. B., & Eka, F. (2022). Analisis Efisiensi Boiler Berbahan Bakar Gas di PT XYZ



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung. TREN D Technology of Renewable Energy and Developm.

Putra, R. K. (2015). AUDIT ENERGI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI ENERGI LISTRIK (STUDI KASUS DI PT. JAWA POWER UNIT 5 SITUBONDO- JAWA TIMUR).

Rahardja, I. B., Abinanda, E., Ahdiat, & Siregar, L. (2022). Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 14(1).

Ramadhan, M. N. D., Syafri, I., Mohamad, F., & Alfadl, M. K. (2019). ANALISIS PETROFISIKA DALAM PENENTUAN ZONA HIDROKARBON FORMASI TALANG AKAR LAPANGAN “DR” CEKUNGAN SUMATERA SELATAN BERDASARKAN DATA BATUAN INTI DAN DATA SUMUR. *Padjadjaran Geoscience Journal*, Vol. 3 No 1.

Riwu, D. B. N., Tobe, A. Y., Adoe, D. G. H., Pah, J. C. A., & Baria, M. C. K. (2022). Karakteristik Pembakaran Premixed Campuran Bioetanol Dan Premium (Gasoline). *Jurnal Teknik Mesin Undana*. <http://ejournal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>

Rizal Anas, F., Ajiatmo, D., Nurohmah, H., & Ali, M. (2023). Optimasi Kontrol Suhu Tungku Pemanas Menggunakan Metode Firefly Algorithm (FA). *Jurnal FORTECH*, 4(2), 18–25. <https://doi.org/10.56795/fortech.v4i2.4203>

Safira Rahmania, W., Elvian Gayuh Prasetya, H., & Hesty Sholihah, F. (2020). Maintenance analysis of boiler feed pump turbine using failure mode effect analysis (fmea) methods. *IES 2020 - International Electronics Symposium: The Role of Autonomous and Intelligent Systems for Human Life and Comfort*, 54–59. <https://doi.org/10.1109/IES50839.2020.9231886>



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sahda, N. T., Mulya Sentosa, J., & Adhani, L. (2022). Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(1), 39–48. <http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JOE3S39>

Sequeira, C. A. C. (2019). *High Temperature Corrosion Fundamentals and Engineering (First Edition)*. Wiley.

Shahab, O. A., & Amna, S. (2023). EFFICIENCY ANALYSIS OF FIRE TUBE BOILER TYPE AT REFINERY UTILITY UNIT CENTER FOR OIL AND GAS HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT (PPSDM MIGAS) CEPU. *JCI Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(7). <http://bajangjournal.com/index.php/JCI>

Sidoarjo, U. M., Fadli, M. V., & Rasy Fahrudin, A. '. (2021). The Effect of Mini Boiler Fire Pipe Diameter Variations on Steam Power and Efficiency Pengaruh Variasi Diameter Pipa Api Mini Boiler Terhadap Daya Uap Dan Efisiensi. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1).

Simbolon, K. N. (2019). PENGARUH ECONOMIZER TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI BAHAN BAKAR BOILER PADA UNIT 3 PLTU PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN. UNIVERSITAS MEDAN AREA.

Sirait, A. F. (2023). FINAL REPORT BOILERS DETAILED ENERGY AUDIT FOR PT BADAK NGL BONTANG-EAST KALIMANTAN PREFACE. [www.tuv.com/id](http://www.tuv.com/id)

Sugiharto, A. (2020). PERHITUNGAN EFISIENSI BOILER DENGAN METODE SECARA LANGSUNG PADA BOILER PIPA API. *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2), 51–57.



Suryatmaja, P. (2022). ANALISIS PRODUKSI GAS STASIUN PENGOLAHAN GAS DARI MODE OPERASI KOMPRESOR PARALEL MENJADI SERI. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Suryo, T. dan E. S. (2015). ANALISA EFISIENSI EXERGI BOILER WANSON III PADA UNIT KILANG DI PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN MINYAK DAN GAS BUMI ( PUSDIKLAT MIGAS ) CEPU. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 3, No. 2.

Wang, Y., Cao, L., Li, X., Wang, J., Hu, P., Li, B., & Li, Y. (2020). A novel thermodynamic method and insight of heat transfer characteristics on economizer for supercritical thermal power plant. Energy, 191. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116573>

Wohlfarth, R., & Kohan, A. L. (2021). Boiler Operator's Guide (D. J. Daniels, Ed.; 5th edition). Mc Graw Hill.

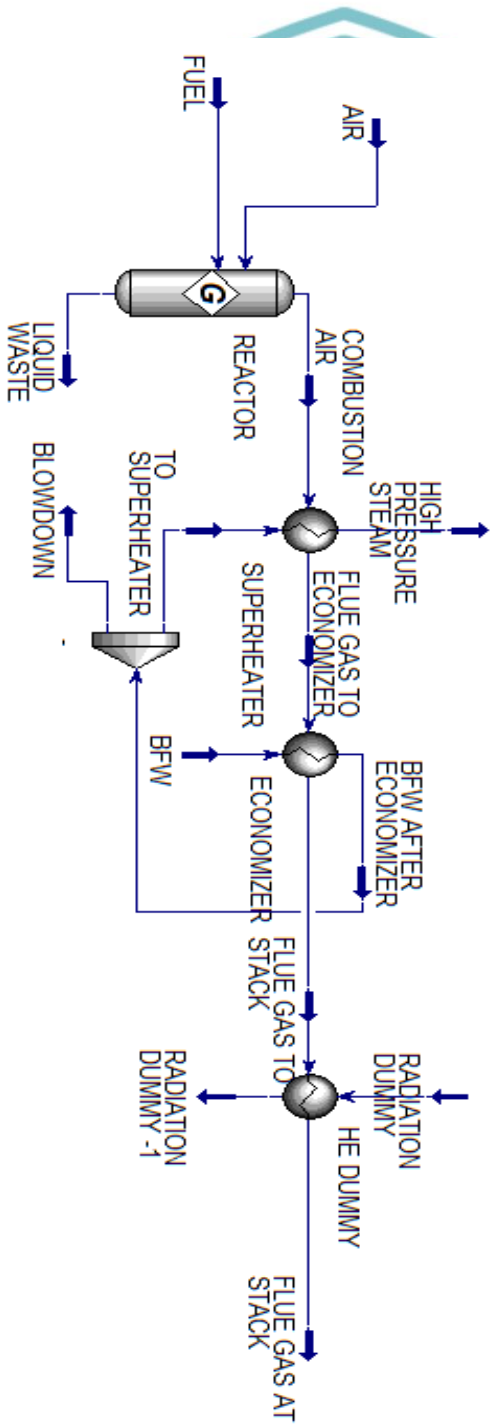
Yohan, R., Arachchige, U., Ranaraja, C., Ranaraja, C. D. M. O., Devasurendra, J. W., Maduwantha, M. I. P., Madhuwantha, G. A. L., & Hansa, R. Y. D. (2020). Optimization of an Industrial Boiler Operation. JOURNAL OF RESEARCH TECHNOLOGY AND ENGINEERING, 1. <https://www.researchgate.net/publication/342638048>

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Simulasi *Hysys*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

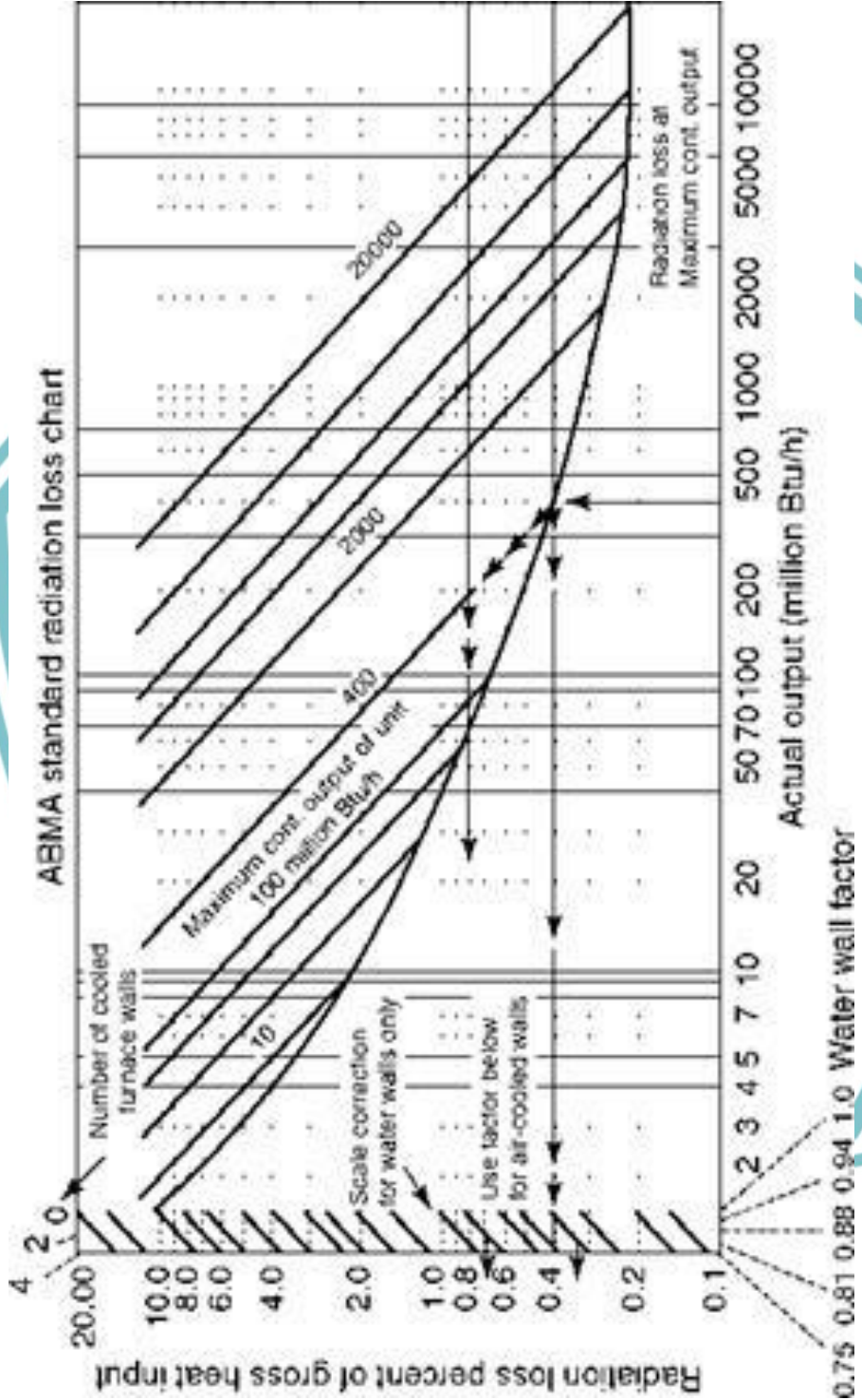
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, pennisan karya ilmiah, pennisan laporan, pennisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. American Boiler Manufacturers Association (ABMA) Chart



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



### Lampiran 3. Uji Normalitas Data

Berdasarkan uji normalitas yang dilakukan menggunakan *software IBM SPSS Statistics* didapatkan data sebagai berikut:

<i>Flue Gas Temperature</i>			<i>Excess Oxygen</i>		
<b>One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test</b>			<b>One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test</b>		
AI000624 FLUE GAS O2 F24			AI000624 FLUE GAS O2 F24		
N		555	N		555
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	4.586473291	Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	4.586473291
	Std. Deviation	.2991189511		Std. Deviation	.2991189511
Most Extreme Differences	Absolute	.062	Most Extreme Differences	Absolute	.062
	Positive	.062		Positive	.062
	Negative	-.037		Negative	-.037
Test Statistic		.062	Test Statistic		.062
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000 <sup>c</sup>	Asymp. Sig. (2-tailed)		.000 <sup>c</sup>
<b>One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test</b>			<b>One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test</b>		
TI30625A ECONO FLUE GAS OUT F25			AI000625 FLUE GAS O2 F25		
N		1092	N		1092
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	154.3578809	Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	3.595364004
	Std. Deviation	2.790114500		Std. Deviation	.2419203214
Most Extreme Differences	Absolute	.182	Most Extreme Differences	Absolute	.076
	Positive	.182		Positive	.057
	Negative	-.110		Negative	-.076
Test Statistic		.182	Test Statistic		.076
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000 <sup>c</sup>	Asymp. Sig. (2-tailed)		.000 <sup>c</sup>

Diketahui bahwa nilai signifikansi pada masing-masing variabel kurang dari 0,05 atau 5% sehingga data *flue gas temperature* dan *excess oxygen Boiler 24* dan *25* tersebut diklasifikasikan tidak berdistribusi normal. Untuk mendapatkan nilai yang representatif dari data di atas, perhitungan ditentukan menggunakan nilai mediannya sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Data	Median
<i>Flue Gas Temperature Boiler 24</i>	158°C
<i>Flue Gas Temperature Boiler 25</i>	154°C
<i>Excess Oxygen Boiler 24</i>	4,59%
<i>Excess Oxygen Boiler 25</i>	3,60%

- Hak Cipta :**
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  - Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi *Boiler* Sebelum Optimalisasi *Excess Oxygen*

Berikut adalah data komposisi dan HHV *fuel gas* yang didapatkan dari PODS PT Badak NGL.

Komponen	Komposisi (% mol)	Mr Molekul	Karbon %Wt	Hidrogen %Wt	Oksigen %Wt
N <sub>2</sub>	0,0022	14	0,0000	0,0000	0,0000
CH <sub>4</sub>	0,9808	16	0,7356	0,2452	0,0000
CO <sub>2</sub>	0,0042	44	0,0011	0,0000	0,0031
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0074	30	0,0059	0,0015	0,0000
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0033	44	0,0027	0,0006	0,0000
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0005	58	0,0004	0,0001	0,0000
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0006	58	0,0005	0,0001	0,0000
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	0,0002	0,0000	0,0000
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	0,0002	0,0000	0,0000
C <sub>6+</sub>	0,0006	86	0,0005	0,0001	0,0000
TOTAL	1,0000	494	0,7471	0,2476	0,0031
HHV	1020,0408	BTU/SCF	9598,5764	kCal/Nm <sup>3</sup>	

1. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 24 Load 46%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{4,51}{20,9 - 4,51}$$

$$EA = 0,275$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,275}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2753 \times 17,12\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,12\right)$$

$$m_{fg} = 17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (162^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,5\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $H_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(Tf - Ta)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (162^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (162^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 3,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$Lrc(\%) = 0,40\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 176,4714 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,5\% + 14,9\% + 3,2\% + 0,40\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 73,5\%$$

2. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 24 Load 52%

A. Perhitungan *Theoretical Air*



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{4,46}{20,9 - 4,46}$$

$$EA = 0,272$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,272}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} x Cp x (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} x 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022x28) + \left( 0,74716x \frac{44}{12} \right) + \left( \frac{21}{100} x 0,2715x17,12 \right)$$

$$+ \left( \frac{79}{100} x 17,12 \right)$$

$$m_{fg} = 17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$L_{dfg}(\%) = \frac{17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{dfg}(\%) = 5,2\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$L_{\text{H}_2}(\%) = \frac{9 \times \text{H}_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$L_{\text{H}_2}(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{H}_2}(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$L_{\text{ma}}(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$L_{\text{ma}}(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{ma}}(\%) = 3,0\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{\text{rc}}(\%) = 0,32\% \left( \text{Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 200,8491 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right)$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design*  $L_{bd}$  adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,2\% + 14,9\% + 3,0\% + 0,32\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 74,0\%$$

## 3. Perhitungan Efisiensi Boiler 24 Load 61%

 A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{4,48}{20,9 - 4,48}$$

$$EA = 0,273$$

 C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,273}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 D. Perhitungan Heat Loss *Dry Flue Gas*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2730 \times 17,12\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,12\right)$$

$$m_{fg} = 17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,3\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $H_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 3,1\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$\text{Lrc}(\%) = 0,24\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 232,7379 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,3\% + 14,9\% + 3,1\% + 0,24\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 74,0\%$$

4. Perhitungan Efisiensi *Boiler 24 Load 82%*

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{4,52}{20,9 - 4,52}$$

$$EA = 0,276$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,276}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$AAS = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**D. Perhitungan Heat Loss Dry Flue Gas**

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt \text{ N}_2 \text{ in fuel} + \%wt \text{ CO}_2 + \%wt \text{ O}_2 + \%wt \text{ N}_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2757 \times 17,12\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,12\right)$$

$$m_{fg} = 17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,3 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (166^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,7\%$$

**E. Perhitungan Heat Loss karena H<sub>2</sub> dalam Fuel Gas**

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (166^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 15,0\%$$

**F. Perhitungan Heat Loss karena Moisture dalam Udara**

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$



$L_{ma}(\%)$

$$= \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (166,20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{ma}(\%) = 3,3\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{rc}(\%) = 0,20\% \text{ (Berdasarkan } ABMA \text{ Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 311,0340 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design*  $L_{bd}$  adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (L_{dfg} + L_{H_2} + L_{mf} + L_{ma} + L_{co} + L_{rc})$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,7\% + 15,0\% + 3,3\% + 0,20\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 73,4\%$$

5. Perhitungan Efisiensi *Boiler 25 Load* 49%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43 \times C) + \left( 34,5 \times \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32 \times S) \quad (7)$$

$$TA = (11,43 \times 0,7471) + \left( 34,5 \times \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32 \times 0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$EA = \frac{3,81}{20,9 - 3,81}$$

$$EA = 0,223$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,223}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt \text{ N}_2 \text{ in fuel} + \%wt \text{ CO}_2 + \%wt \text{ O}_2 + \%wt \text{ N}_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2231 \times 17,11\right)$$

$$+ \left(\frac{79}{100} \times 17,11\right)$$

$$m_{fg} = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,3\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$LH_2(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 3,1\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$Lrc(\%) = 0,40\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 186,6939 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design* Lbd adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,3\% + 14,9\% + 3,1\% + 0,40\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 73,9\%$$

6. Perhitungan Efisiensi *Boiler 25 Load 52%*

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{3,80}{20,9 - 3,80}$$

$$EA = 0,222$$

 C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,222}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2225 \times 17,11\right)$$

$$+ \left(\frac{79}{100} \times 17,11\right)$$

$$m_{fg} = 17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,2\%$$

 E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $H_2$  dalam *Fuel Gas*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$LH_2(\%) = \frac{9xH_2\{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (156^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 3,0\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$Lrc(\%) = 0,32\% \text{ (Berdasarkan } ABMA \text{ Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 200,8004 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design* Lbd adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,2\% + 14,9\% + 3,0\% + 0,32\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 74,1\%$$

7. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 25 Load 61%

A. Perhitungan *Theoretical Air*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{3,82}{20,9 - 3,82}$$

$$EA = 0,223$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,223}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} x Cp x (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} x 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022x28) + \left( 0,74716x \frac{44}{12} \right) + \left( \frac{21}{100} x 0,2233x17,11 \right)$$

$$+ \left( \frac{79}{100} x 17,11 \right)$$

$$m_{fg} = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$L_{dfg}(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (158 - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{dfg}(\%) = 5,2\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$L_{\text{H}_2}(\%) = \frac{9 \times \text{H}_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$L_{\text{H}_2}(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{H}_2}(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$L_{\text{ma}}(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$L_{\text{ma}}(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (158^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{ma}}(\%) = 3,1\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{\text{rc}}(\%) = 0,24\% \left( \text{Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 232,0079 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right)$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design*  $L_{bd}$  adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,2\% + 14,9\% + 3,1\% + 0,24\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 74,1\%$$

## 8. Perhitungan Efisiensi Boiler 25 Load 82%

 A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{3,82}{20,9 - 3,82}$$

$$EA = 0,224$$

 C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,224}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 D. Perhitungan Heat Loss *Dry Flue Gas*





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,2238 \times 17,11\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,11\right)$$

$$m_{fg} = 17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{17,12 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (159^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 5,3\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $H_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (159^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,9\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,11 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (159^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 3,1\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$\text{Lrc}(\%) = 0,20\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata} \\ \text{– rata produksi steam } 312,7592 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma \\ + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (5,3\% + 14,9\% + 3,1\% + 0,20\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 74,0\%$$

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5. Perhitungan *Enthalpy Fuel*

Komposisi *fuel* yang digunakan dalam simulasi merupakan data *average* komposisi produk *fuel gas* (31C-4/12/23/28) pada Januari 2024 – April 2024, yaitu:

Komponen	Komposisi (% mol)	Mr Molekul (g/mol)
N <sub>2</sub>	0,0022	14
CH <sub>4</sub>	0,9808	16
CO <sub>2</sub>	0,0042	44
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0074	30
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0033	44
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0005	58
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0006	58
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72
C <sub>6+</sub>	0,0006	86
TOTAL	1,0000	494
HHV	1020,0408	BTU/SCF

Data kondisi aktual yang digunakan dalam simulasi dan perhitungan, yaitu:

Data	Nilai
<i>Temperature</i>	35 °C
Tekanan	2,795 $\frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature*, *critical pressure*, *acentric factor*, *standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity dari ideal gas* (C<sub>p</sub> dalam J/mol.K) diperoleh



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Data	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
T <sub>c</sub> (K)	126,1	190,6	305,4	408,1	425,2	460,4
P <sub>c</sub> (Pa)	3394000	4604000	4880000	3648000	3797000	3381000
ω	0,04	0,011	0,099	0,177	0,193	0,228
A	3,115E+01	1,925E+01	5,409	-1,390	9,487	-9,525
B	-1,357E-02	5,213E-02	1,781E-01	3,847E-01	3,313E-01	5,066E-01
C	2,680E-05	1,197E-05	-6,938E-05	-1,846E-04	-1,108E-04	-2,729E-04
D	-1,168E-08	-1,132E-08	8,713E-09	2,895E-08	-2,822E-09	5,723E-08
H <sub>f</sub> <sup>o</sup> (J/mol)	0	-7,490E+04	-8,474E+04	-1,346E+05	-1,262E+05	-1,546E+05

Data	CO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
T <sub>c</sub> (K)	304	370	470	507
P <sub>c</sub> (Pa)	7382000	4249000	3369000	3012000
ω	0,228	0,152	0,249	0,305
A	1,9800E+01	-4,2240	-3,6260	-4,413
B	7,3440E-02	3,0630E-01	4,8730E-01	5,2800E-01
C	-5,6020E-05	-1,5860E-04	-2,5800E-04	-3,1190E-04
D	1,7150E-08	3,2150E-08	5,3050E-08	6,4940E-08
H <sub>f</sub> <sup>o</sup> (J/mol)	-3,9351E+05	-1,0468E+05	-1,4676E+05	-1,6692E+05

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$b_i = \frac{0,0778 RT_c}{P_c} \quad (31)$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

Hasil perhitungan untuk masing-masing komponen, yaitu:

Data	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
$a_c$	0,1481	0,2494	0,6041	1,4431	1,5051	1,9817
$b_i$	2,4034E-05	2,6780E-05	4,0482E-05	7,2365E-05	7,2438E-05	8,8086E-05
$\kappa_i$	0,4359	0,3916	0,5247	0,6392	0,6622	0,7122
$\alpha_i$	0,7545	0,8937	0,9976	1,0838	1,0985	1,1295
$a_i$	8,4302E-02	1,9920E-01	6,0129E-01	1,6950E+00	1,8161E+00	2,5284E+00

Data	CO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
$a_c$	0,3962	1,0173	2,0699	2,7019
$b_i$	2,6656E-05	5,6298E-05	9,0185E-05	1,0897E-04
$\kappa_i$	0,7122	0,6028	0,7419	0,8199
$\alpha_i$	1,7122	1,6028	1,7419	1,8199
$a_i$	3,9260E-01	1,1270E+00	2,6947E+00	3,7682E+00

Dengan menggunakan nilai  $b_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\kappa_i$ , *critical temperature*, *molecul relative*, dan fraksi mol ( $x_i$ ) masing-masing komponen, dapat dilakukan perhitungan nilai  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $T_c$  campuran, dan *molecule relative* campuran dengan rumus:

$$b = \sum_{i=1}^n x_i b_i \quad (32)$$

$$b = 2,71x 10^{-5}$$



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\alpha = \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i$$

$$\alpha = 0,901$$

$$\kappa = \sum_{i=1}^n x_i \kappa_i$$

$$\kappa = 0,340$$

$$T_c = \sum_{i=1}^n x_i T_{ci}$$

$$T_c = 193 \text{ K}$$

$$Mr = \sum_{i=1}^n x_i Mr_i$$

$$Mr = 16,4506 \frac{g}{mol}$$

Data karakteristik *pure component* atau  $k_{ij}$  diperoleh dari buku *Introductory Chemical Engineering Thermodynamic 2<sup>nd</sup> edition* serta jurnal *Molecular Models for the Hydrogen age: Hydrogen, Nitrogen, Oxygen, Argon and Water*, 2018.

$k_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0000	0,0360	0,0500	0,0950	0,0900	0,0950	0,0200	0,0800	0,1000	0,0800
2	0,0360	0,0000	0,0034	0,0131	0,0123	0,0176	0,1000	0,0068	0,0179	0,0000
3	0,0500	0,0034	0,0000	0,0046	0,0041	0,0074	0,1298	0,0013	0,0076	0,0000
4	0,0950	0,0131	0,0046	0,0000	0,0000	0,0003	0,1298	0,0010	0,0004	0,0000
5	0,0900	0,0123	0,0041	0,0000	0,0000	0,0005	0,1298	0,0008	0,0006	0,0000
6	0,0950	0,0176	0,0074	0,0003	0,0005	0,0000	0,1250	0,0026	0,0000	0,1200
7	0,0200	0,1000	0,1298	0,1298	0,1298	0,1250	0,0000	0,1350	0,1250	0,0000
8	0,0800	0,0068	0,0013	0,0010	0,0008	0,0026	0,1350	0,0000	0,0027	0,0000
9	0,1000	0,0179	0,0076	0,0004	0,0006	0,0000	0,1250	0,0027	0,0000	0,0000
10	0,0800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1200	0,0000	0,0000	0,0000



**© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta**

**Hak Cipta :**  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nilai karakteristik *pure component* digunakan untuk menghitung koefisien  $a_i a_j$ . Koefisien tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai koefisien campuran  $x_i x_j$ . Data hasil perhitungan  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , yaitu:

$1 / a_j$	0,0843	0,1992	0,6013	1,6950	1,8161	2,5284	0,3926	1,1270	2,6947	3,7682
0,0843	0,0843	0,1249	0,2139	0,3421	0,3561	0,4178	0,1856	0,2836	0,4290	0,5185
0,1992	0,1249	0,1992	0,3449	0,5735	0,5941	0,6972	0,2517	0,4706	0,7195	0,8664
0,6013	0,2139	0,3449	0,6013	1,0049	1,0407	1,2239	0,4228	0,8222	1,2632	1,5052
1,6950	0,3421	0,5735	1,0049	1,6950	1,7545	2,0695	0,7099	1,3807	2,1363	2,5272
1,8161	0,3561	0,5941	1,0407	1,7545	1,8161	2,1418	0,7348	1,4295	2,2110	2,6160
2,5284	0,4178	0,6972	1,2239	2,0695	2,1418	2,5284	0,8718	1,6837	2,6103	2,7163
0,3926	0,1856	0,2517	0,4228	0,7099	0,7348	0,8718	0,3926	0,5754	0,9000	1,2163
1,1270	0,2836	0,4706	0,8222	1,3807	1,4295	1,6837	0,5754	1,1270	1,7380	2,0608
2,6947	0,4290	0,7195	1,2632	2,1363	2,2110	2,6103	0,9000	1,7380	2,6947	3,1866
3,7682	0,5185	0,8664	1,5052	2,5272	2,6160	3,0867	1,0703	2,0608	3,1866	3,7682
$1 / x_j$	0,0022	0,9808	0,0074	0,0005	0,0006	0,0002	0,0042	0,0033	0,0002	0,0006
0,0022	4,0802, E-07	2,6956, E-04	3,4821, E-06	3,7631, E-07	4,7001, E-07	1,8384, E-07	1,7146, E-06	2,0588, E-06	1,8874, E-07	6,8446, E-07
0,9808	2,6956, E-04	1,9163, E-01	2,5034, E-03	2,8122, E-04	3,4960, E-04	1,3676, E-04	1,0368, E-03	1,5231, E-03	1,4114, E-04	5,0985, E-04
0,0074	3,4821, E-06	2,5034, E-03	3,2927, E-05	3,7182, E-06	4,6208, E-06	1,8113, E-06	1,3141, E-05	2,0078, E-05	1,8696, E-06	6,6833, E-06
0,0005	3,7631, E-07	2,8122, E-04	3,7182, E-06	4,2374, E-07	5,2634, E-07	2,0695, E-07	1,4907, E-06	2,2782, E-06	2,1363, E-07	7,5817, E-07
0,0006	4,7001, E-07	3,4960, E-04	4,6208, E-06	5,2634, E-07	6,5380, E-07	2,5702, E-07	1,8517, E-06	2,8304, E-06	2,6532, E-07	9,4176, E-07
0,0002	1,8384, E-07	1,3676, E-04	1,8113, E-06	2,0695, E-07	2,5702, E-07	1,0114, E-07	7,3230, E-07	1,1113, E-06	1,0441, E-07	3,2595, E-07
0,0042	1,7146, E-06	1,0368, E-03	1,3141, E-05	1,4907, E-06	1,8517, E-06	7,3230, E-07	6,9254, E-06	7,9749, E-06	7,5600, E-07	3,0651, E-06
0,0033	2,0588, E-06	1,5231, E-03	2,0078, E-05	2,2782, E-06	2,8304, E-06	1,1113, E-06	7,9749, E-06	1,2274, E-05	1,1471, E-06	4,0804, E-06



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1,8874, E-07	1,4114, E-04	1,8696, E-06	2,1363, E-07	2,6532, E-07	1,0441, E-07	7,5600, E-07	1,1471, E-06	1,0779, E-07	3,8239, E-07
6,8446, E-07	5,0985, E-04	6,6833, E-06	7,5817, E-07	9,4176, E-07	3,7040, E-07	2,6973, E-06	4,0804, E-06	3,8239, E-07	1,3565, E-06

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien campuran  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , selanjutnya dilakukan perhitungan nilai  $a$  dengan rumus:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j (a_i a_j)^{0,5} (1 - k_{ij}) \quad (37)$$

$$a = 2,05 \times 10^{-1}$$

Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

$$B = 2,90 \times 10^{-3}$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = 8,58 \times 10^{-3}$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (39)$$

$$Z = 0,997$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:

$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \right) \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{\alpha}} \right) \quad (41)$$




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mentauntumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 308 (0,997 - 1 - \ln \left( \frac{0,997 + (1 + \sqrt{2} \times 2,90 \times 10^{-3})}{0,997 + (1 - \sqrt{2} \times 2,90 \times 10^{-3})} \right)) \right) \times \frac{8,58 \times 10^{-3}}{2,90 \times 10^{-3} \sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,3954 \sqrt{\frac{308}{193}}}{0,901} \right)$$

$$H - H^{ID} = -41,4 \frac{J}{mol}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298,15 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

Nilai  $H^{ID}$  untuk setiap komponen, yaitu:

$H^{ID} N_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} C_1 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} C_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} iC_4 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} nC_4 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} iC_5 \left( \frac{J}{mol} \right)$
292	358	533	991	997	1206

$H^{ID} CO_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} C_3 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} nC_5 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} C_6 \left( \frac{J}{mol} \right)$
374	750	1219	1288

Keseluruhan nilai  $H^{ID}$  dan  $H_f^0$  untuk *fuel* dapat dihitung dengan:

$$H^{ID} fuel = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_{id}$$

$$H^{ID} fuel = 363 \frac{J}{mol}$$

$$H_f^0 fuel = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_f^0$$

$$H_f^{\circ} \text{fuel} = -764 \times 10^1 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *fuel* dapat dihitung dengan:

$$H \text{ fuel} = H_f^{\circ} \text{fuel} + H^{ID} \text{fuel} + H - H^{ID}$$

$$H \text{ fuel} = -764 \times 10^1 \frac{\text{J}}{\text{mol}} + 363 \frac{\text{J}}{\text{mol}} + \left( -41,4 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

$$H \text{ fuel} = -761 \times 10^2 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$H \text{ fuel} = \frac{-761 \times 10^2 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}}{16,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = -462 \times 10^1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6. Perhitungan *Enthalpy Air*

Komposisi udara dan data aktual yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi, yaitu:

Komponen	Komposisi (% mol)	Mr Molekul (g/mol)
N <sub>2</sub>	0,791	28
O <sub>2</sub>	0,209	32

Data	Nilai
Temperature	86 °C
Tekanan	1,0332 $\frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature, critical pressure, acentric factor, standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298 K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity dari ideal gas* (Cp dalam J/mol.K) diperoleh dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).

Data	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Tc (K)	126	154
Pc (Pa)	3394000	5043000
$\omega$	0,04	0,022
A	3,115E+01	2,8110E+01
B	-1,357E-02	-3,6800E-06
C	2,680E-05	1,7460E-05
D	-1,168E-08	-1,0650E-08
$Hf^o$ (J/mol)	0	0


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$

$$b_i = \frac{0,0778 R T_c}{P_c} \quad (31)$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

Hasil perhitungan untuk masing-masing komponen, yaitu:

Data	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
$a_c$	0,1481	0,1498
$b_i$	2,4034E-05	1,9831E-05
$\kappa_i$	0,4359	0,4084
$\alpha_i$	0,7003	0,7859
$a_i$	7,2619E-02	9,2532E-02

Dengan menggunakan nilai  $b_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\kappa_i$ , *critical temperature*, *molecul relative*, dan fraksi mol ( $x_i$ ) masing-masing komponen, dapat dilakukan perhitungan nilai  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $T_c$  campuran, dan *molecule relative* campuran dengan rumus:

$$b = \sum_{i=1}^n x_i b_i \quad (32)$$

$$b = 0,791 \times 2,4034 \times 10^{-5} + 0,209 \times 1,9831 \times 10^{-5} = 2,32 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i$$

$$\alpha = 0,791 \times 0,7003 + 0,209 \times 0,7859 = 0,718$$

$$\kappa = \sum_{i=1}^n x_i \kappa_i$$

$$\kappa = 0,791 \times 0,4359 + 0,209 \times 0,4084 = 0,430$$

$$T_c = \sum_{i=1}^n x_i T_{ci}$$

$$T_c = 0,791 \times 126,1 + 0,209 \times 154,6 = 132 \text{ K}$$

$$Mr = \sum_{i=1}^n x_i Mr$$

$$Mr = 0,791 \times 28 + 0,209 \times 32 = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Data karakteristik *pure component* atau  $k_{ij}$  diperoleh dari buku *Introductory Chemical Engineering Thermodynamic 2<sup>nd</sup> edition* serta jurnal *Molecular Models for the Hydrogen age: Hydrogen, Nitrogen, Oxygen, Argon and Water*, 2018.

$k_{ij}$	1	2
1	0	-0,0115
2	-0,0115	0

Nilai karakteristik *pure component* digunakan untuk menghitung koefisien  $a_i a_j$ . Koefisien tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai koefisien campuran  $x_i x_j$ . Data hasil perhitungan  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , yaitu:

$a_i \downarrow / a_j \rightarrow$	0,0726	0,0925
0,0726	0,0726	0,0829
0,0925	0,0829	0,0925

$x_i \downarrow / x_j \rightarrow$	0,7910	0,2090
0,7910	0,0454	0,0137
0,2090	0,0137	0,0040



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien campuran  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , selanjutnya dilakukan perhitungan nilai  $a$  dengan rumus:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j (a_i a_j)^{0,5} (1 - k_{ij}) \quad (37)$$

$$a = 0,077$$

Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

$$B = \frac{2,3155 \times 10^{-5} \times 102436,3432}{8,3145 \times 359,15} = 7,94 \times 10^{-4}$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = \frac{0,0769 \times 102436,3432}{(8,3145 \times 359,15)^2} = 8,83 \times 10^{-4}$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (39)$$

$$Z = 0,999$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:

$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \right) \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{\alpha}} \right) \quad (41)$$

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 359 (0,999 - 1 - \ln \left( \frac{0,999 + (1 + \sqrt{2} \times 7,94 \times 10^{-4})}{0,999 + (1 - \sqrt{2} \times 7,94 \times 10^{-4})} \right)) \right. \\ \left. \times \frac{8,83 \times 10^{-4}}{7,94 \times 10^{-4} \sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,430 \sqrt{\frac{359}{132}}}{\sqrt{0,718}} \right) \right)$$

$$H - H^{ID} = -4,84 \frac{J}{mol}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

$$\begin{aligned} H^{ID} N_2 &= 31,15 (359 - 298) + \frac{-1,357 \times 10^{-2}}{2} (359^2 - 298^2) \\ &+ \frac{2,68 \times 10^{-5}}{3} (359^3 - 298^3) + \frac{-1,1680 \times 10^{-8}}{4} (359^4 - 298^4) \\ &= 178 \times 10^1 \frac{J}{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H^{ID} O_2 &= 28,11(359 - 298) + \frac{-3,68 \times 10^{-6}}{2} (359^2 - 298^2) \\ &+ \frac{1,746 \times 10^{-5}}{3} (359^3 - 298^3) + \frac{-1,065 \times 10^{-8}}{4} (359^4 - 298^4) \\ &= 181 \times 10^1 \frac{J}{mol} \end{aligned}$$

Keseluruhan nilai  $H^{ID}$  dan  $H_f^o$  untuk *air* dapat dihitung dengan:

$$H^{ID} air = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_{id}$$

$$H^{ID} air = \left(0,791 \times 178 \times 10^1 \frac{J}{mol}\right) + \left(0,209 \times 181 \times 10^1 \frac{J}{mol}\right) = 180 \times 10^1 \frac{J}{mol}$$

$$H_f^o air = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_f^o$$

$$H_f^o air = \left(0,791 \times 0 \frac{J}{mol}\right) + \left(0,209 \times 0 \frac{J}{mol}\right) = 0 \frac{J}{mol}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *air* dapat dihitung dengan:

$$H air = H_f^o air + H^{ID} air + H - H^{ID}$$

$$H air = 0 \frac{J}{mol} + 180 \times 10^1 \frac{J}{mol} + \left(-4,84 \frac{J}{mol}\right)$$

$$H_{\text{air}} = 180 \times 10^1 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$H_{\text{air}} = \frac{180 \times 10^1 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}}{28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = 62,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 7. Perhitungan *Enthalpy Boiler Feed Water*

Data aktual yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi, yaitu:

Data	Nilai
<i>Temperature</i>	108 °C
Tekanan	$66,5 \frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature, critical pressure, acentric factor, standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298 K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity dari ideal gas* ( $C_p$  dalam J/mol.K) diperoleh dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).

Data	H <sub>2</sub> O
T <sub>c</sub> (K)	674
P <sub>c</sub> (Pa)	22120000
$\omega$	0,344
A	32,24
B	1,9240E-03
C	1,0550E-05
D	-3,5960E-09
$H_f^o$ (J/mol)	-242000

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$

$$a_c = \frac{0,45724 (8,3145)^2 (674,3)^2}{22120000} = 0,650$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$b_i = \frac{0,0778 RT_c}{P_c} \quad (31)$$

$$b_i = \frac{0,0778 \times 8,3145 \times 674,3}{22120000} = 1,97 \times 10^{-5}$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \kappa_i &= 0,3746 + 1,5423(0,344) - 0,2699(0,344)^2 \\ &= 0,875 \end{aligned}$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + 0,875 \left( 1 - \left( \frac{381}{647} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\alpha = 1,48$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

$$a_i = 0,6497 \cdot 1,48 = 0,96$$

Karena *boiler feed water* hanya terdiri dari 1 senyawa, maka nilai  $a = a_i$  dan  $b = b_i$ . Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

$$B = \frac{1,9718 \times 10^{-5} \times 6521422}{8,3145 \times 381,15} = 0,041$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = \frac{0,9626 \times 6521422}{(8,3145 \times 381,15)^2} = 0,625$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (39)$$

$$Z = 0,048$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:



$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{\alpha}} \right) \right) \quad (41)$$

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 381 (0,048 - 1 - \ln \left( \frac{0,048 + (1 + \sqrt{2} \times 0,041)}{0,048 + (1 - \sqrt{2} \times 0,041)} \right)) \right. \\ \left. \times \frac{0,6250}{0,041\sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,8751\sqrt{\frac{381}{674}}}{\sqrt{1,48}} \right) \right)$$

$$H - H^{ID} = -443 \times 10^2 \frac{J}{mol}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298,15 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

$$H^{ID} H_2O = 32,24 (381 - 298) + \frac{1,9240 \times 10^{-3}}{2} (381^2 - 298^2) \\ + \frac{1,0550 \times 10^{-5}}{3} (381^3 - 298^3) \\ + \frac{-3,5960 \times 10^{-9}}{4} (381^4 - 298^4) = 282 \times 10^1 \frac{J}{mol}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *air* dapat dihitung dengan:

$$H_{BFW} = H_f^{air} + H^{ID}_{air} + H - H^{ID}$$

$$H_{BFW} = -242000 \frac{J}{mol} + 282 \times 10^1 \frac{J}{mol} + \left( -443 \times 10^2 \frac{J}{mol} \right)$$

$$H_{BFW} = -284 \times 10^3 \frac{J}{mol}$$

$$H_{BFW} = \frac{-284 \times 10^3 \frac{J}{mol} \times \frac{1 kJ}{1000 J}}{18 \frac{g}{mol} \times \frac{1 kg}{1000 g}} = -157 \times 10^2 \frac{kJ}{kg}$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 8. Perhitungan *Enthalpy Out Economizer*

Data aktual yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi, yaitu:

Data	Nilai
<i>Temperature</i>	200 °C
Tekanan	$66,4 \frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature, critical pressure, acentric factor, standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298 K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity dari ideal gas* ( $C_p$  dalam J/mol.K) diperoleh dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).

Data	H <sub>2</sub> O
T <sub>c</sub> (K)	674,3
P <sub>c</sub> (Pa)	22120000
$\omega$	0,344
A	32,24
B	1,9240E-03
C	1,0550E-05
D	-3,5960E-09
$H_f^o$ (J/mol)	-242000

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$

$$a_c = \frac{0,45724 (8,3145)^2 (674,3)^2}{22120000} = 0,650$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$b_i = \frac{0,0778 RT_c}{P_c} \quad (31)$$

$$b_i = \frac{0,0778 \times 8,3145 \times 674,3}{22120000} = 1,972 \times 10^{-5} \quad (34)$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \kappa_i &= 0,3746 + 1,5423(0,344) - 0,2699(0,344)^2 \\ &= 0,875 \end{aligned}$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + 0,8751 \left( 1 - \left( \frac{473,15}{647,3} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\alpha = 1,304$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

$$a_i = 0,6497 \cdot 1,3043 = 0,847$$

Karena *boiler feed water* hanya terdiri dari 1 senyawa, maka nilai  $a = a_i$  dan  $b = b_i$ . Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

$$B = \frac{1,9718 \times 10^{-5} \times 6511616}{8,3145 \times 473,15} = 0,033$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = \frac{0,8474 \times 6511616}{(8,3145 \times 473,15)^2} = 0,357$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (39)$$

$$Z = 0,042$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:



$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{a}} \right) \right) \quad (41)$$

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 473 \left( 0,042 - 1 - \ln \left( \frac{0,042 + (1 + \sqrt{2} \times 0,033)}{0,042 + (1 - \sqrt{2} \times 0,033)} \right) \right) \right. \\ \left. \times \frac{0,357}{0,033\sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,875\sqrt{\frac{473}{674}}}{\sqrt{1,304}} \right) \right)$$

$$H - H^{ID} = -395 \times 10^2 \frac{J}{mol}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298,15 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

$$H^{ID} H_2O = 32,24 (473 - 298) + \frac{1,9240 \times 10^{-3}}{2} (473^2 - 298^2) \\ + \frac{1,0550 \times 10^{-5}}{3} (473^3 - 298^3) \\ + \frac{-3,5960 \times 10^{-9}}{4} (473^4 - 298^4) = 601 \times 10^1 \frac{J}{mol}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *air* dapat dihitung dengan:

$$H_{BFW} = H_f^{air} + H^{ID}_{air} + H - H^{ID}$$

$$H_{BFW} = -242000 \frac{J}{mol} + 601 \times 10^1 \frac{J}{mol} + \left( -395 \times 10^2 \frac{J}{mol} \right)$$

$$H_{BFW} = -395 \times 10^2 \frac{J}{mol}$$

$$H_{BFW} = \frac{-395 \times 10^2 \frac{J}{mol} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}}{18 \frac{g}{mol} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}} = -153 \times 10^2 \frac{kJ}{kg}$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 9. Perhitungan *Enthalpy High Pressure Steam*

Data aktual yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi, yaitu:

Data	Nilai
<i>Temperature</i>	160,9 °C
Tekanan	63,5 $\frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature, critical pressure, acentric factor, standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298 K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity dari ideal gas* ( $C_p$  dalam J/mol.K) diperoleh dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).

Data	H <sub>2</sub> O
T <sub>c</sub> (K)	674,3
P <sub>c</sub> (Pa)	22120000
$\omega$	0,344
A	32,24
B	1,9240E-03
C	1,0550E-05
D	-3,5960E-09
$H_f^o$ (J/mol)	-242000

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$

$$a_c = \frac{0,45724 (8,3145)^2 (674,3)^2}{22120000} = 0,650$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$b_i = \frac{0,0778 RT_c}{P_c} \quad (31)$$

$$b_i = \frac{0,0778 \times 8,3145 \times 674,3}{22120000} = 1,97 \times 10^{-5}$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \kappa_i &= 0,3746 + 1,5423(0,344) - 0,2699(0,344)^2 \\ &= 0,875 \end{aligned}$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + 0,8751 \left(1 - \left(\frac{723,15}{647,3}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

$$\alpha = 0,939$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

$$a_i = 0,6497 \cdot 0,9387 = 0,610$$

Karena *boiler feed water* hanya terdiri dari 1 senyawa, maka nilai  $a = a_i$  dan  $b = b_i$ . Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

$$B = \frac{1,9718 \times 10^{-5} \times 6227223}{8,3145 \times 723,15} = 0,020$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = \frac{0,6099 \times 6227223}{(8,3145 \times 723,15)^2} = 0,105$$

$$Z = 1 - \frac{0,3411}{T_r^{4,111}} \times \frac{Pr}{\left(1 - \frac{0,3411}{T_r^{4,111}} \times Pr\right)} \quad (39)$$

$$Z = 0,048$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:





$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \right) \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{\alpha}} \right) \quad (41)$$

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 723 \left( 0,048 - 1 - \ln \left( \frac{0,048 + (1 + \sqrt{2} \times 0,020)}{0,048 + (1 - \sqrt{2} \times 0,020)} \right) \right) \right. \\ \left. \times \frac{0,105}{0,020\sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,875\sqrt{\frac{723}{674}}}{\sqrt{0,939}} \right) \right)$$

$$H - H^{ID} = -199 \times 10^2 \frac{J}{mol}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298,15 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

$$H^{ID} H_2O = 32,24 (723 - 298) + \frac{1,9240 \times 10^{-3}}{2} (723^2 - 298^2) \\ + \frac{1,0550 \times 10^{-5}}{3} (723^3 - 298^3) \\ + \frac{-3,5960 \times 10^{-9}}{4} (723^4 - 298^4) = 151 \times 10^2 \frac{J}{mol}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *air* dapat dihitung dengan:

$$H_{BFW} = H_f^{air} + H^{ID}_{air} + H - H^{ID}$$

$$H_{BFW} = -242000 \frac{J}{mol} + 151 \times 10^2 \frac{J}{mol} + \left( -199 \times 10^2 \frac{J}{mol} \right)$$

$$H_{BFW} = -234 \times 10^3 \frac{J}{mol}$$

$$H_{BFW} = \frac{-234 \times 10^3 \frac{J}{mol} \times \frac{1 kJ}{1000 J}}{18 \frac{g}{mol} \times \frac{1 kg}{1000 g}} = -130 \times 10^2 \frac{kJ}{kg}$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 10. Perhitungan *Mass Balance Boiler 24 Load 46%*

Data aktual laju alir massa pada *Boiler 24 load 46%*, yaitu:

Data	Nilai	Unit
Fuel	14750,1036	$\frac{Nm^3}{hr}$
BFW	181059,6554	$\frac{kg}{h}$
Air	185700,0136	$\frac{Nm^3}{hr}$
High Pressure Steam	176471,3990	$\frac{kg}{h}$

Perhitungan *mass balance* dilakukan untuk menentukan besarnya laju alir *blowdown* dan *flue gas*. Rumus yang digunakan, yaitu:

$$\sum mR = \sum mP + \sum mW + \sum mS \quad (24)$$

$$\sum m_{input} = \sum m_{output}$$

Dalam kondisi aktual di lapangan, aliran antara *fuel*, *air* dan *boiler feed water* terpisah, di mana *boiler feed water* mengalir dalam sistem tertutup. Oleh karena itu, laju alir *blowdown* dapat dihitung dengan:

$$m_{BFW} = m_{HPS} + m_{blowdown}$$

$$181059 \frac{kg}{h} = 176471 \frac{kg}{h} + m_{blowdown}$$

$$m_{blowdown} = 4588,2 \frac{kg}{h}$$

$$m_{Fuel} + m_{BFW} + m_{air} = m_{HPS} + m_{blowdown} + m_{fluegas}$$

$$10854 \frac{kg}{h} + 181059 \frac{kg}{h} + 238991 \frac{kg}{h} = 176471 \frac{kg}{h} + 4588 \frac{kg}{h} + m_{fluegas}$$

$$m_{fluegas} = 2498 \times 10^2 \frac{kg}{h}$$


 Lampiran 11. Perhitungan *Fouling* pada *Superheater Boiler 24 Load 46%*

 1. Perhitungan *Temperature of Combustion Product*

$$t_c = \frac{LHV + A \times \alpha \times HHV \times C_{pa} \times \left( \frac{t_a - 80}{10^6} \right)}{\left( 1 - \% \frac{ash}{a00} + A \times \alpha \times \frac{HHV}{10^6} \right) \times C_{pg}} \quad (46)$$

Data yang digunakan dalam menghitung nilai *flue gas temperature* dalam *furnace*, yaitu:

Data	Nilai	Satuan	Keterangan	Sumber Data
LHV	21144	Btu/lb	<i>Lower calorific values of fuel</i>	Dihitung menggunakan Hysys
HHV	23293	Btu/lb	<i>High calorific values of fuel</i>	
A	730	-	<i>Theoretical air required per million Btu fired</i>	<i>Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations, 2022</i>
C <sub>pg</sub>	0,3480	Btu/lb.°F	<i>Specific heats of combustion product</i>	2022
C <sub>pa</sub>	0,2451	Btu/lb.°F	<i>Specific heats of air</i>	
t <sub>a</sub>	186,8	°F	<i>Temperature udara normal</i>	Data asumsi
<i>Excess Air</i>	27,53	%	Persen kelebihan udara	Data aktual

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$= \frac{21144 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} + 730 \times \left(1 + \left(\frac{27,5}{100}\right)\right) \times 23293 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 0,2451 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times \left(\frac{186,8^\circ\text{F} - 80^\circ\text{F}}{10^6}\right)}{\left(1 - 0 + 730 \times \left(1 + \left(\frac{27,5}{100}\right)\right) \times \frac{23444 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}}{10^6}\right) \times 0,3480 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}}$$

$$t_c = 2750^\circ\text{F} = 1510^\circ\text{C}$$

 2. Perhitungan *Actual Flame Temperature*

$$t_{ca} = t_c \times 0,95 \quad (47)$$

$$t_{ca} = 1510^\circ\text{C} \times 0,95$$

$$t_{ca} = 1435^\circ\text{C}$$

 3. Perhitungan *Flue Gas Temperature Inside Furnace*

$$t_g = t_{ca} + 300(^\circ\text{F}) \quad (48)$$

$$t_g = t_{ca} + 204(^\circ\text{C})$$

$$t_g = 1435^\circ\text{C} + 204(^\circ\text{C})$$

$$t_g = 1639^\circ\text{C}$$

 4. Perhitungan *Beam Length*

$$\text{Beam Length} = \frac{3,4 \times L \times W \times H}{2 \times (LW + LH + WH)} \quad (49)$$

Data panjang, lebar, dan tinggi dari *furnace*, yaitu:

Data	Nilai	Satuan	Sumber Data
<i>Furnace Width</i>	270	In	Data design
<i>Furnace Height</i>	864		
<i>Furnace Depth</i>	314		



Maka:

$$Beam\ Length = \frac{3,4 \times 270\ in \times 864\ in \times 314\ in}{2 \times (270\ in \times 864\ in + 270\ in \times 314\ in + 864\ in \times 314\ in)}$$

$$Beam\ Length = 211\ in$$

5. Perhitungan *Flue Gas* CO<sub>2</sub> Vapor Pressure dan *Flue Gas* Water Vapor Pressure

Dalam perhitungan *flue gas* CO<sub>2</sub> vapor pressure dan *flue gas* water vapor pressure, diperlukan data total *dry gas* yang dihasilkan berdasarkan komposisi *fuel gas*. Data perhitungan total *dry gas*, yaitu:

Komponen	Komposisi (% mol)	Mr Molekul	<i>Flue gas product</i> CO <sub>2</sub> (% wt)	<i>Flue gas product</i> H <sub>2</sub> O (% wt)	<i>Flue gas product</i> N <sub>2</sub> (% wt)
N <sub>2</sub>	0,0022	14	0,0000	0,0000	0,0022
CH <sub>4</sub>	0,9808	16	2,6972	1,7164	14,8481
CO <sub>2</sub>	0,0042	44	0,0042	0,0000	0,0000
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0074	30	0,0217	0,0104	0,1039
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0033	44	0,0099	0,0042	0,0451
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0005	58	0,0015	0,0006	0,0067
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0006	58	0,0018	0,0007	0,0081
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	0,0006	0,0002	0,0027
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	0,0006	0,0002	0,0027
C <sub>6+</sub>	0,0006	86	0,0018	0,0007	0,0080
Total	1,0000000	494	2,7394	1,7334	15,0275
Total <i>dry gas</i>				19,5004	kg/kg <i>dry air</i>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Sehingga, perhitungan *flue gas*  $CO_2$  *vapor pressure* dan *flue gas water vapor pressure*, adalah:

$$P_{vCO_2} = \frac{lb_{CO_2}}{lb_{flue\ gas}} \quad (50)$$

$$P_{vCO_2} = \frac{2,7394 \frac{kg}{kg\ dry\ air}}{19,5004 \frac{kg}{kg\ dry\ air}} = 0,0889$$

$$P_{vH_2O} = \frac{lb_{H_2O} + moisture\ in\ air}{lb_{flue\ gas}} \quad (51)$$

$$P_{vH_2O} = \frac{1,7334 \frac{kg}{kg\ dry\ air}}{19,5004 \frac{kg}{kg\ dry\ air}} = 0,1405$$

#### 6. Perhitungan *Gas Emissivity by Hottel's Method*

Rumus yang digunakan dalam menghitung *gas emissivity*, yaitu:

$$\varepsilon_g = 0,9 \times (1 - e^{-KL_{beam}}) \quad (52)$$

$$K = \frac{(0,8 + 1,6 \times P_{vH_2O}) \times 1 - \frac{0,38T_g}{1000}}{\sqrt{P_{vH_2O} + P_{vCO_2}} \times L_{beam}} \times (P_{vH_2O} + P_{vCO_2}) \quad (53)$$

Nilai  $e$  merupakan bilangan *euler* dengan nilai 2,71828 dan nilai  $T_g$  merupakan nilai *flue gas temperature inside furnace* dalam satuan Kelvin.

Perhitungan *gas emissivity* adalah:

$$K = \frac{(0,8 + 1,6 \times 0,1411) \times 1 - \frac{0,38 \times 1914,9185\ K}{1000}}{\sqrt{0,1411 + 0,0884} \times 211,1576\ in} \times (0,1405 + 0,0889)$$

$$K = 0,0007$$

$$\varepsilon_g = 0,9 \times (1 - 2,71828^{-(0,0007 \times 211,1576)})$$

$$\varepsilon_g = 0,1198$$

#### 7. Perhitungan *Combustion Nonluminous Heat Transfer Coefficient*

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dalam perhitungan *Combustion Nonluminous Heat Transfer Coefficient*, digunakan nilai *absolute temperature of tube surface* sesuai asumsi pada buku *Industrial Water Tube Boiler Design*, 2022. Nilai *absolute temperature of tube surface* yang digunakan adalah 350 °C. Nilai  $\sigma$  merupakan nilai konstanta *Stefan–Boltzmann*.

$$h_N = \frac{\sigma \varepsilon_g (T_g^4 - T_o^4)}{(T_g - T_o)} \quad (54)$$

$$h_N = \frac{5,6704 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot C^4} \times 0,1198 ((1639^\circ C)^4 - (350^\circ C)^4)}{(1639,0069^\circ C - 350^\circ C)}$$

$$h_N = 37,9 \frac{W}{m^2 C}$$

8. Perhitungan *Flue Gas Product Gas Mass Velocity*

$$G = \frac{\text{mass flue gas}}{\text{furnace heat transfer area}} \quad (55)$$

$$G = \frac{249845,6167 \frac{kg}{h}}{759,7 m^2} = 328,9 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$$

9. Perhitungan *Reynold Number* dan *Prandtl Number*

Dalam menghitung *Reynold Number* dan *Prandtl Number*, digunakan data berupa *specific heat*, *dynamic viscosity*, dan *thermal conductivity* dari gas buang. Data tersebut diperoleh dengan cara interpolasi menggunakan tabel pada buku *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations*, 2022.

$$T_{\text{average flue gas}} = \frac{T_g + T_{\text{exit}}}{2}$$

Nilai dari *flue gas temperature* keluar *furnace* adalah 1341°C, nilai tersebut didasarkan atas data *design flue gas temperature* pada *superheater*.

$$T_{\text{average flue gas}} = \frac{1639^\circ C + 1341^\circ C}{2} = 1490^\circ C = 2714^\circ F$$

Hasil interpolasi pada kondisi *flue gas temperature*, yaitu:


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Flue Gas Temperature</i> (°F)	$C_p$ ( $\frac{BTU}{lb.^\circ F}$ )	$\mu$ ( $\frac{lb}{ft.h}$ )	$k$ ( $\frac{BTU}{ft.h.^\circ F}$ )
2600	0,351	0,136	0,062
2714	0,355	0,140	0,064
2500	0,348	0,133	0,060

Maka, perhitungan *Reynold Number* dan *Prandtl Number* yaitu:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (57)$$

$$Pr = \frac{0,2076 \frac{kg}{m.h} \times 1484,4538 \frac{J}{kg.^\circ C}}{0,1113 \frac{W}{m^2.^\circ C}}$$

$$Pr = 0,7693$$

$$Re = \frac{G d_{tube}}{\mu} \quad (56)$$

$$Re = \frac{328,8551 \frac{kg}{m^2.h} \times 0,0635 m}{0,2076 \frac{kg}{m.h}} = 100,6$$

10. Perhitungan *Flue Gas Product Nusselt Number*

$$NU = 0,33 \times Re^{0,6} \times Pr^{0,33} \quad (58)$$

$$NU = 0,33 \times (100,6)^{0,6} \times (0,7693)^{0,33}$$

$$NU = 5,186$$

11. Perhitungan *Combustion Convection Heat Transfer Coefficient*

$$h_c = \frac{K \times NU}{d_{tube}} \quad (59)$$

$$h_c = \frac{0,1113 \frac{W}{m^2.^\circ C} \times 5,186}{0,0635 m} = 9,090 \frac{W}{m^2.^\circ C}$$

12. Perhitungan *Combustion Outside Heat Transfer Coefficient*




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$h_o = h_c + h_N \quad (60)$$

$$h_o = 9,090 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 37,9 \frac{W}{m^2 C} = 47,0 \frac{W}{m^2 C}$$

**13. Perhitungan Faktor C**

Berdasarkan buku *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations* (2022), digunakan nilai asumsi *specific heat flue gas* sebesar  $1,224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$  serta nilai  $9,680 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$  untuk *specific heat of saturated steam*. Oleh karena itu, perhitungan nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$ , yaitu:

$$C_{min} = \text{Mass of flue gas} \times \text{Specific heat flue gas} \quad (61)$$

$$C_{min} = 249845 \frac{kg}{h} \times 1,224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$C_{min} = 84,94 \frac{W}{^\circ C}$$

$$C_{max} = \text{Mass of saturated steam} \times \text{Specific heat saturated steam} \quad (62)$$

$$C_{max} = 176471 \frac{kg}{h} \times 9,680 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$C_{max} = 474,5 \frac{W}{^\circ C}$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (63)$$

$$C = \frac{84,94 \frac{W}{^\circ C}}{474,5 \frac{W}{^\circ C}} = 0,1790$$

**14. Perhitungan Tube Side Heat Transfer Coefficient**

$$h_i = 2,44 \times \frac{w^{0,8} C}{d_i^{1,8}} \quad (64)$$

Nilai  $w$  yang digunakan merupakan nilai *mass flow saturated steam* yang mengalir menuju *superheater*, yaitu sebesar  $176,471 \frac{ton}{h}$  atau sebesar



$389052 \frac{lb}{h}$ . Sedangkan nilai  $d_i$  merupakan inside diameter tube pada superheater, yakni 52,34 mm atau 2,0606 in.

$$h_i = 2,44 \times \frac{\left(389052 \frac{lb}{h}\right)^{0,8} \times 0,1790}{(2,0606 \text{ in})^{1,8}}$$

$$h_i = 3523 \frac{BTU}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F} = 2001 \times 10^1 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

#### 15. Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient

Berdasarkan buku *Kern's Process Heat Transfer*, 2019, nilai *fouling factors outside the tubes* untuk *natural gas flue gas* adalah  $0,0009 \left(\frac{^\circ C \cdot m^2}{W}\right)$  dan nilai *fouling factors inside the tubes* untuk *steam* adalah  $0,00009 \left(\frac{^\circ C \cdot m^2}{W}\right)$ . Sedangkan nilai  $K_m$  merupakan nilai *thermal conductivity* untuk *material tube* pada *superheater*. Nilai  $K_m$  berdasarkan ASME SA213 TP304 *Stainless Steel Tube* adalah  $21,5 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ .

$$\frac{I}{U} = \frac{d_o}{h_i d_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{d_o}{24K_m} \times \ln \frac{d_o}{d_i} + f f_i \times \frac{d_o}{d_i} + f f_o \quad (65)$$

$$\frac{I}{U} = \frac{0,0635 \text{ m}}{20011 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0,0523 \text{ m}} + \frac{1}{47 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{0,0635 \text{ m}}{21,5 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} \times \ln \frac{0,0635 \text{ m}}{0,0523 \text{ m}} + 0,00009 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W} \times \frac{0,0635 \text{ m}}{0,0523} + 0,0009 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W}$$

$$\frac{I}{U} = 0,1543 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W}$$

$$U = 6,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

#### 16. Perhitungan Number of Transfer Units

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (66)$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nilai A merupakan nilai *heating surface* pada *superheater*, berdasarkan data *design* nilai *heating surface superheater* adalah  $742 \text{ m}^2$ .

Superheater			
Type	<input type="checkbox"/> Drainable (Self Drain)	<input checked="" type="checkbox"/> Non Drainable	
	<input checked="" type="checkbox"/> Bare Tube	<input type="checkbox"/> Fin Tube	<input type="checkbox"/> By MFR
Others	N/A		
Tube Arrangement	Staggered		
Temperature Control (Type/Location)	Spray / Downstream S/H outlet header		
Safety Valve (Manufacturer / Type)	Consolidated/1757D		
Total Heat Transferred (Absorbed)	47.57	kcal/h at MCR	
Heating Surface	742	m <sup>2</sup>	
Flue Gas Temp. In / Out at MCR	1341	°C /	1083 °C
Calculated Outer Tube Wall/Fin Temp.	543	°C /	- °C (max)
Design Temperature.	at 73.84	kg/cm <sup>2</sup> G / 565 °C	
TP at MCR (Steam Side)	3.82	kg/cm <sup>2</sup> G	
Tube Outside Diameter	63.5/57.15	mm	
Tube Thickness	5.58/4.57/7.21	mm	
Tube Spacing (Longitudinal/Transverse)	76.2	mm /	82.5 mm
Tube Material	SA 213 T22 & SA 213 T2		
Header Material	SA 106 C		

Maka perhitungan *number of transfer unit*, adalah:

$$NTU = \frac{6,5 \frac{W}{m^2 C} \times 742 \text{ m}^2}{84,94 \frac{W}{C}} = 57$$

17. Perhitungan *Effectiveness*

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 - C))}{1 - C \exp(-NTU(1 - C))} \quad (67)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-57(1 - 0,1790))}{1 - 0,1790 \exp(-57(1 - 0,1790))}$$

$$\varepsilon = 0,9963$$

18. Perhitungan *Heat Loss due to Fouling*

*Heat loss due to fouling* dapat dihitung dengan mengalikan persen pengaruh *fouling* dan *heat flow saturated steam to superheater*.

$$\% \text{ Fouling} = 1 - \varepsilon$$

$$\% \text{ Fouling} = 100 - 99.63$$

$$\% \text{ Fouling} = 0,375$$

Maka:

*Heat loss due to fouling = % Fouling x Heat flow*

*Heat loss due to fouling*

$$= 0,375\% \times \left( 176533 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \left( -15293 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \left( -12980 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)$$

*Heat loss due to fouling = 0,375% x (-113465 kW)*

*Heat loss due to fouling = -425 kW*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 12. Perhitungan *Fouling* pada *Boiler Bank Tubes Boiler 24 Load 46%*

1. Perhitungan *Flue Gas Product Gas Mass Velocity*

$$G = \frac{\text{mass flue gas}}{\text{furnace heat transfer area}} \quad (55)$$

$$G = \frac{249845 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{760 \text{ m}^2} = 329 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

2. Perhitungan *Reynold Number* dan *Prandtl Number*

Dalam menghitung *Reynold Number* dan *Prandtl Number*, digunakan data berupa *specific heat*, *dynamic viscosity*, dan *thermal conductivity* dari gas buang. Data tersebut diperoleh dengan cara interpolasi menggunakan tabel pada buku *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations*, 2022.

Nilai dari *flue gas temperature* menuju *boiler bank tubes* adalah 1083°C, nilai tersebut didasarkan atas data *design*. Maka perhitungan interpolasi pada kondisi *flue gas temperature*, yaitu:

<i>Flue Gas Temperature</i> (°F)	$C_p$ ( $\frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$ )	$\mu$ ( $\frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{h}}$ )	$k$ ( $\frac{\text{BTU}}{\text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}}$ )
2200	0,33875	0,1236	0,0548
1981	0,3320	0,1168	0,0508
2300	0,341825	0,1267	0,0567

Maka, perhitungan *Reynold Number* dan *Prandtl Number* yaitu:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (57)$$

$$Pr = \frac{0,1739 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \times 1390 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{0,0878 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$Pr = 0,7642$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Re = \frac{Gd_{tube}}{\mu} \quad (56)$$

$$Re = \frac{329 \frac{kg}{m^2 \cdot h} \times 0,0635 m}{0,1736 \frac{kg}{m \cdot h}} = 120$$

3. Perhitungan *Flue Gas Product Nusselt Number*

$$NU = 0,33 \times Re^{0,6} \times Pr^{0,33} \quad (58)$$

$$NU = 0,33 \times (120)^{0,6} \times (0,7642)^{0,33}$$

$$NU = 5,4$$

4. Perhitungan *Combustion Convection Heat Transfer Coefficient*

$$h_c = \frac{KxNU}{d_{tube}} \quad (59)$$

$$h_c = \frac{0,0878 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 5,4}{0,0635 m} = 7,2 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

5. Perhitungan *Combustion Outside Heat Transfer Coefficient*

$$h_o = h_c + h_N \quad (60)$$

$$h_o = 7,2 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} + 0 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} = 7,2 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

6. Perhitungan Faktor C

Berdasarkan buku *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations* (2022), digunakan nilai asumsi *specific heat flue gas* sebesar  $1,224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$  serta nilai  $9,680 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$  untuk *specific heat of saturated steam*. Oleh karena itu, perhitungan nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$ , yaitu:

$$C_{min} = \text{Mass of flue gas} \times \text{Specific heat flue gas} \quad (61)$$

$$C_{min} = 249846 \frac{kg}{h} \times 1,224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$C_{min} = 84,94 \frac{W}{^\circ C}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$C_{max} = \text{Mass of saturated steam} \times \text{Specific heat saturated steam} \quad (62)$$

$$C_{max} = 181060 \frac{kg}{h} \times 9,680 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$C_{max} = 486,9 \frac{W}{^\circ C}$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (63)$$

$$C = \frac{84,94 \frac{W}{^\circ C}}{486,9 \frac{W}{^\circ C}} = 0,1745$$

7. Perhitungan Tube Side Heat Transfer Coefficient

$$h_i = 2,44 \times \frac{w^{0,8} C}{d_i^{1,8}} \quad (64)$$

Nilai  $w$  yang digunakan merupakan nilai *mass flow saturated steam* yang mengalir setelah keluar dari *economizer*, yaitu sebesar  $181,0597 \frac{ton}{h}$  atau sebesar  $399168 \frac{lb}{h}$ . Sedangkan nilai  $d_i$  merupakan inside diameter tube pada *boiler water bank*, yakni 55,12 mm atau 2,1701 in.

$$h_i = 2,44 \times \frac{\left(399168 \frac{lb}{h}\right)^{0,8} \times 0,1745}{(2,1701 \text{ in})^{1,8}}$$

$$h_i = 3194 \frac{BTU}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F} = 18138 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

8. Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient

Berdasarkan buku *Kern's Process Heat Transfer*, 2019, nilai *fouling factors outside the tubes* untuk *natural gas flue gas* adalah  $0,0009 \left(\frac{^\circ C \cdot m^2}{W}\right)$  dan nilai *fouling factors inside the tubes* untuk *steam* adalah  $0,00009 \left(\frac{^\circ C \cdot m^2}{W}\right)$ . Sedangkan nilai  $K_m$  merupakan nilai *thermal conductivity* untuk


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

material tube pada boiler bank tubes. Nilai  $K_m$  berdasarkan ASTM A210 Grade A-1 Medium-Carbon Steel adalah  $53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ .

$$\frac{1}{U} = \frac{d_o}{h_i d_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{d_o}{24K_m} \times \ln \frac{d_o}{d_i} + f f_i \times \frac{d_o}{d_i} + f f_o \quad (65)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{0,0635 \text{ m}}{18138 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0,0551 \text{ m}} + \frac{1}{7,2 \frac{W}{m^2 C}} + \frac{0,0635 \text{ m}}{53 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} \times \ln \frac{0,0635 \text{ m}}{0,05512 \text{ m}}$$

$$+ 0,00009 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W} \times \frac{0,0635 \text{ m}}{0,05512} + 0,0009 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W}$$

$$\frac{1}{U} = 0,38 \frac{^\circ C \cdot m^2}{W}$$

$$U = 2,6 \frac{W}{m^2 C}$$

 9. Perhitungan *Number of Transfer Units*

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (66)$$

Nilai A merupakan nilai *heating surface* pada boiler bank tubes, berdasarkan data *design* nilai *heating surface* boiler bank tubes adalah  $2616,43 \text{ m}^2$ .

Boiler Bank Tubes.			
Type of Tube	: x	Bare Tube	<input type="checkbox"/> Fin Tube
Tube Arrangement	: x	In line	<input type="checkbox"/> Staggered
Total Heat Transferred (Absorbed)	: 94.51	kcal/h at MCR	
Heating Surface	: 2616.43	m <sup>2</sup>	
Flue Gas Temp. In / Out at MCR	: 1083	°C /	459.4 °C
Design Temperature.	: at 73.84	kg/cm <sup>2</sup> G / °C	
Tube Outside Diameter	: 63.5/76.2	mm	

Maka perhitungan *number of transfer unit*, adalah:

$$NTU = \frac{2,6 \frac{W}{m^2 C} \times 2616,43 \text{ m}^2}{84,9385 \frac{W}{^\circ C}} = 81$$




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

 10. Perhitungan *Effectiveness*

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 - C))}{1 - C \exp(-NTU(1 - C))} \quad (67)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-81(1 - 0,1745))}{1 - 0,1745 \exp(-81(1 - 0,1745))}$$

$$\varepsilon = 0,9968$$

 11. Perhitungan *Heat Loss due to Fouling*

*Heat loss due to fouling* dapat dihitung dengan mengalikan persen pengaruh *fouling* dan *heat flow saturated steam out economizer*.

$$\% \text{ Fouling} = 1 - \varepsilon$$

$$\% \text{ Fouling} = 100 - 99,68$$

$$\% \text{ Fouling} = 0,324$$

Maka:

$$\text{Heat loss due to fouling} = \% \text{ Fouling} \times \text{Heat flow}$$

$$\begin{aligned} & \text{Heat loss due to fouling} \\ &= 0,324\% \times \left( 181060 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \left( -15294 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right. \right. \\ & \left. \left. - \left( -12980 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Heat loss due to fouling} = 0,324\% \times (-116374 \text{ kW})$$

$$\text{Heat loss due to fouling} = -377 \text{ kW}$$


 Lampiran 13. Perhitungan *Energy Balance Boiler 24 Load 46%*

Perhitungan *energy balance* dilakukan untuk menentukan besarnya *enthalpy* pada *flue gas*. *Enthalpy* tersebut dijadikan sebagai acuan dalam menentukan *flue gas temperature*. Rumus yang digunakan dalam *energy balance*, yaitu:

$$\sum ER = \sum EP + \sum EW + \sum EL \quad (25)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h \quad (26)$$

$$\sum E_{input} = \sum E_{output}$$

$$\dot{Q}_{fuel} + \dot{Q}_{BFW} + \dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{HPS} + \dot{Q}_{blowdown} + \dot{Q}_{flue\ gas} - \dot{Q}_{radiation} + \dot{Q}_{fouling}$$

$$\dot{Q}_{flue\ gas} = \dot{Q}_{fuel} + \dot{Q}_{BFW} + \dot{Q}_{air} - (\dot{Q}_{HPS} + \dot{Q}_{blowdown} - \dot{Q}_{radiation} + \dot{Q}_{fouling})$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{fuel} &= \dot{m}_{fuel} \times \Delta H_{fuel} = 10854 \frac{kg}{h} \times (-462 \times 10^1 \frac{kJ}{kg}) \times \frac{1h}{3600\ s} \\ &= -139 \times 10^2\ kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{BFW} &= \dot{m}_{BFW} \times \Delta H_{BFW} = 181060 \frac{kg}{h} \times (-157 \times 10^2 \frac{kJ}{kg}) \times \frac{1h}{3600\ s} \\ &= -791 \times 10^3\ kW \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air} \times \Delta H_{air} = 238992 \frac{kg}{h} \times (62 \frac{kJ}{kg}) \times \frac{1h}{3600\ s} = 414 \times 10^1\ kW$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{HPS} &= \dot{m}_{HPS} \times \Delta H_{HPS} = 176471 \frac{kg}{h} \times (-130 \times 10^3 \frac{kJ}{kg}) \times \frac{1h}{3600\ s} \\ &= -636 \times 10^3\ kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{blowdown} &= \dot{m}_{blowdown} \times \Delta H_{blowdown} \\ &= 4588 \frac{kg}{h} \times (-153 \times 10^2 \frac{kJ}{kg}) \times \frac{1h}{3600\ s} = -195 \times 10^2\ kW \end{aligned}$$

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



$$\dot{Q}_{radiation} = 0,4\% \times \sum E_{input} = 0,4\% \times (-139 \times 10^2 \text{ kW} + (-791 \times 10^3 \text{ kW}) + 414 \times 10^1 \text{ kW}) = -321 \times 10^1 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{fouling} = -425 \text{ kW} + (-377 \text{ kW}) = -802 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{flue\ gas} = -139 \times 10^2 \text{ kW} + (-791 \times 10^3 \text{ kW}) + 414 \times 10^1 \text{ kW} - ((-636 \times 10^3 \text{ kW}) + (-195 \times 10^2 \text{ kW}) - (-320 \times 10^1 \text{ kW})) + (-802 \text{ kW})$$

$$\dot{Q}_{flue\ gas} = -148 \times 10^3 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{flue\ gas} = \dot{m}_{flue\ gas} \times \Delta H_{flue\ gas}$$

$$\Delta H_{flue\ gas} = -148 \times 10^3 \text{ kW} \times \frac{1}{249846 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = -213 \times 10^1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 14. Perhitungan Komposisi *Flue Gas Boiler 24 Load 46%*

Perhitungan komposisi *flue gas* dipengaruhi oleh besarnya laju alir *fuel gas* serta laju alir *air supply*. Komposisi yang tertera pada data *fuel gas* serta *air* merupakan *mole fraction*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan *mass fraction* untuk menentukan besarnya laju alir tiap komponen. *Mass fraction* dapat dihitung dengan mengalikan nilai *molekul relative* dengan *mole fraction*, kemudian dibagi dengan keseluruhan nilai tersebut.

Komponen	<i>Mol Fraction Fuel</i>	Mr	<i>Mass Fuel</i>	<i>Mass Fraction Fuel</i>
N <sub>2</sub>	0,0022	14	3,0800	0,0019
CH <sub>4</sub>	0,9808	16	1.569,2800	0,9557
CO <sub>2</sub>	0,0042	44	18,4800	0,0113
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0074	30	22,2000	0,0135
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0033	44	14,5200	0,0088
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0005	58	2,9000	0,0018
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0006	58	3,4800	0,0021
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	1,4400	0,0009
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0002	72	1,4400	0,0009
C <sub>6+</sub>	0,0006	86	5,1600	0,0031
Total	1,0000	494	1.641,9800	1,0000

Komponen	<i>Mol Fraction Air</i>	Mr	<i>Mass Air</i>	<i>Mass Fraction Air</i>
N <sub>2</sub>	0,7910	28	2.214,8000	0,7681
O <sub>2</sub>	0,2090	32	668,8000	0,2319
Total	1,0000	60	2.883,6000	1,0000

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nilai *mass fraction* selanjutnya dapat digunakan sebagai basis penentuan besarnya laju alir untuk tiap komponen dalam *fuel* serta *air*. Perhitungan *mass fuel flow* dilakukan dengan mengalikan nilai *mass fraction* dengan besarnya laju alir *fuel* yaitu 10854,1460 kg/h serta perhitungan *mass air flow* dilakukan dengan mengalikan nilai *mass fraction* dengan laju alir *air*, yakni 238991,4707 kg/h. Nilai *mass fraction* juga digunakan untuk menentukan besarnya nilai *molar flow* tiap komponen yang dilakukan dengan membagi *mass flow* dengan nilai *molecule relative*.

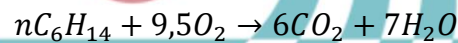
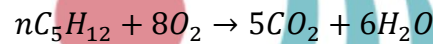
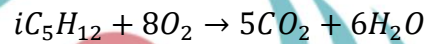
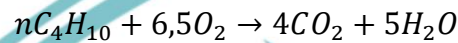
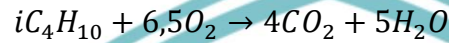
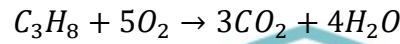
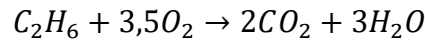
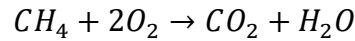
Komponen	<i>Mass Fuel Flow</i> (kg/h)	<i>Molar Fuel Flow</i> (kgmole/h)
N <sub>2</sub>	21,4933	1,5352
CH <sub>4</sub>	10950,9733	684,4358
CO <sub>2</sub>	128,9598	2,9309
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	154,9192	5,1640
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	101,3255	2,3029
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	20,2372	0,3489
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	24,2846	0,4187
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10,0488	0,1396
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	10,0488	0,1396
C <sub>6</sub> +	36,0082	0,4187
Total	11.458,2988	697,8342

Komponen	<i>Mass Air Flow</i> (kg/h)	<i>Molar Air Flow</i> (kgmole/h)
N <sub>2</sub>	183561,6276	6555,7724
O <sub>2</sub>	55429,8431	1732,1826
Total	238.991,4707	8.287,9550

Persamaan reaksi yang terjadi dalam pembakaran setiap komponen *fuel*, yaitu:


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Berdasarkan reaksi pembakaran di atas serta prinsip Hukum Avogadro yang menyatakan bahwa perbandingan mol sama dengan perbandingan koefisien, jumlah  $O_2$  yang dibutuhkan serta jumlah  $CO_2$  dan  $H_2O$  yang dihasilkan untuk reaksi pembakaran dapat dihitung dengan:

$$O_2 = (2 \times \text{Molar Flow } CH_4) + (3,5 \times \text{Molar Flow } C_2H_6) + (5 \times \text{Molar Flow } C_3H_8) \\ + (6,5 \times \text{Molar Flow } iC_4H_{10}) + (6,5 \times \text{Molar Flow } nC_4H_{10}) \\ + (8 \times \text{Molar Flow } iC_5H_{12}) + (8 \times \text{Molar Flow } nC_5H_{12}) \\ + (9,5 \times \text{Molar Flow } nC_6H_{14})$$

$$O_2 = \left(2 \times 684,4358 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(3,5 \times 5,1640 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(5 \times 2,3029 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\ + \left(6,5 \times 0,3489 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(6,5 \times 0,4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\ + \left(8 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(8 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\ + \left(9,5 \times 0,4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) = 1409,6601 \frac{\text{kgmole}}{h}$$

$$CO_2 = (1 \times \text{Molar Flow } CH_4) + (2 \times \text{Molar Flow } C_2H_6) + (3 \times \text{Molar Flow } C_3H_8) \\ + (4 \times \text{Molar Flow } iC_4H_{10}) + (4 \times \text{Molar Flow } nC_4H_{10}) \\ + (5 \times \text{Molar Flow } iC_5H_{12}) + (5 \times \text{Molar Flow } nC_5H_{12}) \\ + (6 \times \text{Molar Flow } nC_6H_{14}) + \text{Molar Flow } CO_2$$



$$\begin{aligned}
 CO_2 = & \left(1 \times 684,4358 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(2 \times 5,1640 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(3 \times 2,3029 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(4 \times 0,3489 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(4 \times 4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(5 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(5 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(6 \times 0,4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + 2,9309 \frac{\text{kgmole}}{h} = 711,5816 \frac{\text{kgmole}}{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_2O = & (2 \times \text{Molar Flow } CH_4) + (3 \times \text{Molar Flow } C_2H_6) + (4 \times \text{Molar Flow } C_3H_8) \\
 & + (5 \times \text{Molar Flow } iC_4H_{10}) + (5 \times \text{Molar Flow } nC_4H_{10}) \\
 & + (6 \times \text{Molar Flow } iC_5H_{12}) + (6 \times \text{Molar Flow } nC_5H_{12}) \\
 & + (7 \times \text{Molar Flow } nC_6H_{14})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_2O = & \left(2 \times 684,4358 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(3 \times 5,1640 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(4 \times 2,3029 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(5 \times 0,3489 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(5 \times 0,4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(6 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) + \left(6 \times 0,1396 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) \\
 & + \left(7 \times 0,4187 \frac{\text{kgmole}}{h}\right) = 402,0188 \frac{\text{kgmole}}{h}
 \end{aligned}$$

Jumlah oksigen yang tersisa dapat dihitung dengan:

$$\text{Excess } O_2 = \text{Molar Flow } O_2 \text{ supply} - O_2 \text{ untuk pembakaran}$$

$$\text{Excess } O_2 = 1732,1826 \frac{\text{kgmole}}{h} - 1409,6601 \frac{\text{kgmole}}{h} = 396,8486 \frac{\text{kgmole}}{h}$$

Molar flow dan total komposisi pada gas buang, yaitu:

Komponen	Mol Fraction Flue Gas	Molar Flow Flue Gas (kgmole/h)
O <sub>2</sub>	4,43	396,8486
CO <sub>2</sub>	7,53	674,0626
N <sub>2</sub>	73,21	6557,2267
H <sub>2</sub> O	14,83	1328,0956
Total	100,00	8.956,2335

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**Lampiran 15. Perhitungan *Flue Gas Temperature Boiler 24 Load 46%***

Perhitungan nilai *flue gas temperature* dilakukan dengan melakukan *trial* dan *error* nilai *temperature* berdasarkan komposisi *flue gas* dan tekanan *flue gas*. *Trial* dan *error* dilakukan hingga nilai *enthalpy* untuk *flue gas* sama dengan nilai *enthalpy* perhitungan.

Komposisi *flue gas* yang digunakan dalam perhitungan merupakan data komposisi hasil hitung pada Lampiran 14, yaitu:

Komponen	Komposisi (% mol)	Mr Molekul (g/mol)
O <sub>2</sub>	0,0443	32
CO <sub>2</sub>	0,7321	44
N <sub>2</sub>	0,0753	28
H <sub>2</sub> O	0,1483	18
Total	1,0000	122

Data kondisi yang digunakan dalam simulasi dan perhitungan, yaitu:

Data	Nilai
<i>Temperature</i>	161 °C
Tekanan	1,0400 $\frac{kg}{cm^2}$

Data *critical temperature*, *critical pressure*, *acentric factor*, *standard enthalpy of formation* untuk ideal gas pada kondisi 298 K, serta konstanta untuk menghitung *isobaric heat capacity* dari ideal gas (*C<sub>p</sub>* dalam J/mol.K) diperoleh dari buku *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 8<sup>th</sup> edition* (2017).





Data	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
T <sub>c</sub> (K)	126,1	154,6	304,2	647,3
P <sub>c</sub> (Pa)	3394000	5043000	7382000	22120000
ω	0,04	0,022	0,228	0,344
A	3,1150E+01	-1,3570E-02	2,6800E-05	-1,1680E-08
B	2,8110E+01	-3,6800E-06	1,7460E-05	-1,0650E-08
C	1,9800E+01	7,3440E-02	-5,6020E-05	1,7150E-08
D	3,2240E+01	1,9240E-03	1,0550E-05	-3,5960E-09
H <sub>f</sub> <sup>o</sup> (J/mol)	0	0	-393800	-228800

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai  $a_c$ ,  $a_i$ ,  $\kappa_i$ ,  $b_i$ , dan  $\alpha_i$ , yaitu:

$$a_c = \frac{0,45724 R^2 T_c^2}{P_c} \quad (30)$$

$$b_i = \frac{0,0778 R T_c}{P_c} \quad (31)$$

$$\kappa_i = 0,3746 + 1,5423\omega - 0,2699\omega^2 \quad (34)$$

$$\alpha_i^{\frac{1}{2}} = 1 + \kappa(1 - T_r^{\frac{1}{2}}) \quad (35)$$

$$a_i = a_c \cdot \alpha \quad (36)$$

Hasil perhitungan untuk masing-masing komponen, yaitu:

Data	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
$a_c$	0,1481	0,1498	0,3962	0,5987
$b_i$	2,4034E-05	1,9831E-05	2,6656E-05	1,8929E-05
$\kappa_i$	0,4359	0,4084	0,7122	0,8732
$\alpha_i$	0,6280	0,7248	0,8623	1,1589
$a_i$	0,0584	0,0787	0,2947	0,8042

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dengan menggunakan nilai  $b_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\kappa_i$ , *critical temperature*, *molecul relative*, dan fraksi mol ( $x_i$ ) masing-masing komponen, dapat dilakukan perhitungan nilai  $b$ ,  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $T_c$  campuran, dan *molecule relative* campuran dengan rumus:

$$b = \sum_{i=1}^n x_i b_i \quad (32)$$

$$b = 2,34 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i$$

$$\alpha = 0,729$$

$$\kappa = \sum_{i=1}^n x_i \kappa_i$$

$$\kappa = 0,520$$

$$T_c = \sum_{i=1}^n x_i T_{ci}$$

$$T_c = 218 \text{ K}$$

$$Mr = \sum_{i=1}^n x_i Mr_i$$

$$Mr = 27,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Data karakteristik *pure component* atau  $k_{ij}$  diperoleh dari buku *Introductory Chemical Engineering Thermodynamic 2<sup>nd</sup> edition* serta jurnal *Molecular Models for the Hydrogen age: Hydrogen, Nitrogen, Oxygen, Argon and Water*, 2018.

$k_{ij}$	1	2	3	4
1	0,00000	-0,01150	-0,02000	-0,0501
2	-0,01150	0,00000	0,11100	0,00000



3	-0,02000	0,11100	0,00000	0,00000
4	-0,0501	0	0	0,00000

Nilai karakteristik *pure component* digunakan untuk menghitung koefisien  $a_i a_j$ . Koefisien tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai koefisien campuran  $x_i x_j$ . Data hasil perhitungan  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , yaitu:

$a_i \downarrow / a_j \rightarrow$	5,8409E-02	7,8697E-02	2,9466E-01	8,0416E-01
5,8409E-02	5,8409E-02	6,8578E-02	1,3381E-01	2,2758E-01
7,8697E-02	6,8578E-02	7,8697E-02	1,3538E-01	2,5156E-01
2,9466E-01	1,3381E-01	1,3538E-01	2,9466E-01	4,8678E-01
8,0416E-01	2,2758E-01	2,5156E-01	4,8678E-01	8,0416E-01

$x_i \downarrow / x_j \rightarrow$	0,7321	0,0443	0,0753	0,1483
0,7321	0,0313	0,0022	0,0074	0,0247
0,0443	0,0022	0,0002	0,0005	0,0017
0,0753	0,0074	0,0005	0,0017	0,0054
0,1483	0,0247	0,0017	0,0054	0,0177

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien campuran  $a_i a_j$  dan  $x_i x_j$ , selanjutnya dilakukan perhitungan nilai  $a$  dengan rumus:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j (a_i a_j)^{0,5} (1 - k_{ij}) \quad (37)$$

$$a = 1,35 \times 10^{-1}$$

Dari nilai koefisien  $a$  dan  $b$ , selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien A, B, dan nilai *compressibility factor* dengan rumus:

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (33)$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$B = 6,59 \times 10^{-4}$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (38)$$

$$A = 1,06 \times 10^{-3}$$

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 3B^2 - 2B)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (39)$$

$$Z = 0,999$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung *enthalpy Peng-Robinson*, yaitu:

$$\frac{H - H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \ln \left( \frac{Z + (1 + \sqrt{2}B)}{Z + (1 - \sqrt{2}B)} \right) \frac{A}{B\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\kappa\sqrt{Tr}}{\sqrt{\alpha}} \right) \quad (41)$$

$$H - H^{ID} = \left( 8,3145 \times 434,0500 (0,9993 - 1 - \ln \left( \frac{0,9993 + (1 + \sqrt{2} \times 6,5932 \times 10^{-4})}{0,9993 + (1 - \sqrt{2} \times 6,5932 \times 10^{-4})} \right)) \right. \\ \left. \times \frac{1,0574 \times 10^{-3}}{6,5932 \times 10^{-4} \sqrt{8}} \times \left( 1 + \frac{0,5203 \sqrt{\frac{434,0500}{218,0542}}}{\sqrt{0,7287}} \right) \right)$$

$$H - H^{ID} = -9,64 \frac{J}{mol}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *isobaric heat capacity* dari ideal gas dengan nilai konstanta A, B, C, dan D pada kondisi 298,15 K.

$$H^{ID} = A(T - Tr) + \frac{B}{2}(T^2 - Tr^2) + \frac{C}{3}(T^3 - Tr^3) + \frac{D}{4}(T^4 - Tr^4)$$

Nilai  $H^{ID}$  untuk setiap komponen, yaitu:

$H^{ID} N_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} O_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} CO_2 \left( \frac{J}{mol} \right)$	$H^{ID} H_2O \left( \frac{J}{mol} \right)$
3945	4041	5393	4615



Keseluruhan nilai  $H^{ID}$  dan  $H_f^o$  untuk *flue gas* dapat dihitung dengan:

$$H^{ID} flue\ gas = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_{id}$$

$$H^{ID} flue\ gas = 4158 \frac{J}{mol}$$

$$H_f^o flue\ gas = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \Delta H_f^o$$

$$H_f^o flue\ gas = -63566 \frac{J}{mol}$$

Perhitungan *enthalpy* keseluruhan untuk *flue gas* dapat dihitung dengan:

$$H\ flue\ gas = H_f^o flue\ gas + H^{ID} flue\ gas + H - H^{ID}$$

$$H\ flue\ gas = -63566 \frac{J}{mol} + 4158 \frac{J}{mol} + \left( -9,641 \frac{J}{mol} \right)$$

$$H\ flue\ gas = -59418 \frac{J}{mol}$$

$$H\ flue\ gas = \frac{-59418 \frac{J}{mol} \times \frac{1\ kJ}{1000\ J}}{27,90 \frac{g}{mol} \times \frac{1\ kg}{1000\ g}} = -2130 \frac{kJ}{kg}$$

$$\% Error = \frac{\left( -2130 \frac{kJ}{kg} - \left( -2130 \frac{kJ}{kg} \right) \right)}{-2130 \frac{kJ}{kg}} \times 100\% = 4,54 \times 10^{-3}$$

Hasil perhitungan *enthalpy flue gas* pada *temperature* 161 °C mendekati nilai aktual *enthalpy flue gas*, yakni  $-2130 \frac{kJ}{kg}$  dengan nilai *error* sebesar  $4,54 \times 10^{-3}$ . Oleh karena itu nilai 161 °C merupakan nilai *flue gas temperature* pada *Boiler 24 load* 46%.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 16. Perhitungan *Air Flow* dan *Fuel Flow* pada Rentang Nilai *Excess Oxygen*

Perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow* pada setiap *boiler* didasarkan atas data aktual. Nilai acuan dalam penentuan *fuel flow* adalah nilai rasio *stoichiometric air* dan *fuel* yang tetap.

 1. *Boiler 24 Load 46%*

Data	Satuan	Load 46%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,51
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	185,70
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	14,75

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,51\% \times 100}{20,9\% - 4,51\%} = 27,5\% \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,53\% = \frac{\left(185,70 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 145,61 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{145,61 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{14,75 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,87$$

Perhitungan *air flow* dan *fuel flow* untuk *excess oxygen* 4,50% pada *Boiler 24 load 46%*, yaitu:

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Flow Air} = \frac{4,50}{4,51} \times 185,70 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 185,20 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,50\% \times 100}{20,9\% - 4,50\%} = 27,4\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,4\% = \frac{\left(185,20 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 145,33 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{145,33 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{9,87} = 14,72 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 24 load 46%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,50	20,1	143218	119234	12078	9,87
3,60	20,8	148161	122640	12423	9,87
3,70	21,5	152277	125319	12695	9,87
3,80	22,2	156392	127957	12962	9,87
3,90	22,9	160508	130557	13225	9,87
3,95	23,3	162566	131841	13355	9,87
4,00	23,7	164623	133117	13485	9,87
4,05	24,0	166681	134382	13613	9,87



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
4,10	24,4	168739	135637	13740	9,87
4,15	24,8	170797	136883	13866	9,87
4,20	25,1	172855	138118	13991	9,87
4,25	25,5	174912	139344	14115	9,87
4,30	25,9	176970	140560	14239	9,87
4,35	26,3	179028	141766	14361	9,87
4,40	26,7	181086	142962	14482	9,87
4,45	27,1	183144	144149	14602	9,87
4,50	27,4	185201	145325	14721	9,87

## 2. Boiler 24 Load 52%

Data	Satuan	Load 52%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,46
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	208,45
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	16,64

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,46\% \times 100}{20,9\% - 4,46\%} = 27,2\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$27,2\% = \frac{\left(208,45 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 163,94 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{163,94 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{16,64 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,85$$

Perhitungan *air flow* dan *fuel flow* untuk *excess oxygen* 4,50% pada *Boiler*

24 load 52%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{4,50}{4,46} \times 208,45 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 210,18 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,50\% \times 100}{20,9\% - 4,50\%} = 27,44\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,44\% = \frac{\left(210,18 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 164,93 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{164,93 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{9,85} = 16,74 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler* 24 load 52%, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:



<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,50	20,1	162536	135317	13735	9,85
3,60	20,8	168146	139183	14127	9,85
3,70	21,5	172817	142223	14436	9,85
3,80	22,2	177488	145217	14740	9,85
3,90	22,9	182159	148167	15039	9,85
3,95	23,3	184494	149626	15187	9,85
4,00	23,7	186829	151073	15334	9,85
4,05	24,0	189165	152508	15480	9,85
4,10	24,4	191500	153933	15624	9,85
4,15	24,8	193836	155347	15768	9,85
4,20	25,1	196171	156749	15910	9,85
4,25	25,5	198506	158140	16051	9,85
4,30	25,9	200842	159520	16192	9,85
4,35	26,3	203177	160889	16330	9,85
4,40	26,7	205512	162247	16468	9,85
4,45	27,1	207848	163593	16605	9,85
4,50	27,4	210183	164928	16740	9,85

## 3. Boiler 24 Load 61%

Data	Satuan	Load 61%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,48
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	242,50
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	19,30

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,48\% \times 100}{20,9\% - 4,48\%} = 27,3\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,3\% = \frac{\left(242,50 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 190,49 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{190,49 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{19,30 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,87$$

Perhitungan air flow dan fuel flow untuk excess oxygen 4,50% pada Boiler 24 load 61%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{4,50}{4,48} \times 242,50 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 243,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,50\% \times 100}{20,9\% - 4,50\%} = 27,44\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,44\% = \frac{\left(243,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 191,02 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$Flow\ Fuel = \frac{191,02 \frac{kNm^3}{h}}{9,87} = 19,10 \frac{kNm^3}{h}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 24 load 61%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,50	20,1	188254	156728	15879	9,87
3,60	20,8	194752	161206	16333	9,87
3,70	21,5	200161	164726	16690	9,87
3,80	22,2	205571	168195	17041	9,87
3,90	22,9	210981	171611	17387	9,87
3,95	23,3	213686	173300	17559	9,87
4,00	23,7	216391	174976	17728	9,87
4,05	24,0	219096	176639	17897	9,87
4,10	24,4	221800	178289	18064	9,87
4,15	24,8	224505	179927	18230	9,87
4,20	25,1	227210	181551	18394	9,87
4,25	25,5	229915	183162	18558	9,87
4,30	25,9	232620	184760	18720	9,87
4,35	26,3	235325	186346	18880	9,87
4,40	26,7	238030	187918	19040	9,87
4,45	27,1	240735	189478	19198	9,87
4,50	27,4	243440	191024	19354	9,87

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





## 4. Boiler 24 Load 82%

Data	Satuan	Load 82%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,52
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	326,10
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	25,90

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,52\% \times 100}{20,9\% - 4,52\%} = 27,6\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,6\% = \frac{\left(326,10 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 255,62 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{255,62 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{25,90 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,87$$

Perhitungan *air flow* dan *fuel flow* untuk *excess oxygen* 4,50% pada Boiler 24 load 82%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{4,50}{4,48} \times 326,10 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 324,86 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,50\% \times 100}{20,9\% - 4,50\%} = 27,4\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$27,4\% = \frac{\left(324,8573 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 254,91 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{254,91 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{9,87} = 25,8 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 24 load 82%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

Excess Oxygen (%)	Excess Air (%)	Air Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	Air Flow Stoichiometric (Nm <sup>3</sup> /h)	Fuel Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	AFR Stoichiometric
3,50	20,1	251215	209145	21191	9,87
3,60	20,8	259886	215121	21797	9,87
3,70	21,5	267105	219818	22273	9,87
3,80	22,2	274324	224447	22742	9,87
3,90	22,9	281543	229006	23204	9,87
3,95	23,3	285153	231260	23432	9,87
4,00	23,7	288762	233497	23659	9,87
4,05	24,0	292372	235716	23883	9,87
4,10	24,4	295981	237918	24107	9,87
4,15	24,8	299591	240103	24328	9,87
4,20	25,1	303200	242270	24547	9,87
4,25	25,5	306810	244420	24765	9,87

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
4,30	25,9	310419	246553	24981	9,87
4,35	26,3	314029	248669	25196	9,87
4,40	26,7	317638	250767	25408	9,87
4,45	27,1	321248	252848	25619	9,87
4,50	27,4	324857	254912	25828	9,87

## 5. Boiler 25 Load 49%

Data	Satuan	Load 49%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,81
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	187,20
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	15,37

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,81\% \times 100}{20,9\% - 3,81\%} = 22,31\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,31\% = \frac{\left(187,20 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 153,06 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$AFR \text{ stoichiometric} = \frac{153,06 \frac{kNm^3}{h}}{15,37 \frac{kNm^3}{h}} = 9,83$$

Perhitungan Air Flow dan fuel flow untuk excess oxygen 3,90% pada Boiler 25 load 49%, yaitu:

$$Flow \text{ Air} = \frac{3,90}{3,81} \times 187,20 \frac{kNm^3}{h} = 191,52 \frac{kNm^3}{h} \quad (22)$$

$$Excess \text{ Air} (\%) = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$Excess \text{ Air} (\%) = \frac{3,90\% \times 100}{20,9\% - 3,90\%} = 22,9\%$$

$$Excess \text{ Air} (\%) \quad (21)$$

$$= \frac{(Air \text{ Actually Supplied} - Theoretical \text{ Combustion Air})}{Theoretical \text{ Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,9\% = \frac{\left(191,52 \frac{kNm^3}{h} - Theoretical \text{ Combustion Air}\right)}{Theoretical \text{ Combustion Air}} \times 100\%$$

$$Theoretical \text{ Combustion Air} = 155,78 \frac{kNm^3}{h}$$

$$Flow \text{ Fuel} = \frac{155,78 \frac{kNm^3}{h}}{9,83} = 15,85 \frac{kNm^3}{h}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai excess oxygen lainnya dengan acuan nilai air to fuel stoichiometric yang tetap. Pada Boiler 25 load 49%, hasil perhitungan nilai air flow dan fuel flow, yaitu:

Excess Oxygen (%)	Excess Air (%)	Air Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	Air Flow Stoichiometric (Nm <sup>3</sup> /h)	Fuel Flow (Nm <sup>3</sup> /h)	AFR Stoichiometric
3,10	17,4	151806	129289	13153	9,83
3,15	17,8	154689	131375	13365	9,83
3,20	18,1	157144	133084	13539	9,83




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,25	18,4	159600	134782	13712	9,83
3,30	18,8	162055	136468	13883	9,83
3,35	19,1	164511	138142	14054	9,83
3,40	19,4	166966	139804	14223	9,83
3,45	19,8	169421	141455	14391	9,83
3,50	20,1	171877	143094	14557	9,83
3,55	20,5	174332	144721	14723	9,83
3,60	20,8	176788	146336	14887	9,83
3,65	21,2	179243	147940	15051	9,83
3,70	21,5	181698	149532	15212	9,83
3,75	21,9	184154	151112	15373	9,83
3,80	22,2	186609	152680	15533	9,83
3,85	22,6	189064	154237	15691	9,83
3,90	22,9	191520	155782	15848	9,83

 6. *Boiler 25 Load 52%*

Data	Satuan	Load 52%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,80
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	200,27
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	16,67

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$Excess Air (\%) = \frac{\% O_2 Excess \times 100}{20,9\% - \% O_2 Excess} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,80\% \times 100}{20,9\% - 3,80\%} = 22,2\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,2\% = \frac{\left(200,27 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 163,84 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{163,84 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{16,67 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,83$$

Perhitungan air flow dan fuel flow untuk excess oxygen 3,90% pada Boiler 25 load 52%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{3,90}{3,80} \times 200,27 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 205,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,90\% \times 100}{20,9\% - 3,90\%} = 22,94\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,94\% = \frac{\left(205,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 167,11 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{167,101 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{9,83} = 16,71 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 25 load 52%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,10	17,4	162843	138689	14111,8	9,83
3,15	17,7	165935	140926	14339,4	9,83
3,20	18,1	168569	142760	14526	9,83
3,25	18,4	171203	144581	14711,3	9,83
3,30	18,8	173837	146389	14895,3	9,83
3,35	19,1	176471	148185	15078,1	9,83
3,40	19,4	179105	149968	15259,5	9,83
3,45	19,8	181739	151739	15439,7	9,83
3,50	20,1	184373	153497	15618,6	9,83
3,55	20,5	187007	155242	15796,2	9,83
3,60	20,8	189641	156975	15972,5	9,83
3,65	21,2	192274	158695	16147,5	9,83
3,70	21,5	194908	160403	16321,3	9,83
3,75	21,9	197542	162098	16493,7	9,83
3,80	22,2	200176	163780	16664,9	9,83
3,85	22,6	202810	165450	16834,8	9,83
3,90	22,9	205444	167107	17003,5	9,83

#### 7. Boiler 25 Load 61%

Data	Satuan	Load 61%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,82
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	231,12
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	19,22

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan data aktual, nilai *stociometric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,82\% \times 100}{20,9\% - 3,82\%} = 22,3\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,3\% = \frac{\left(231,12 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 188,94 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{188,94 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{19,22 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,83$$

Perhitungan *air flow* dan *fuel flow* untuk *excess oxygen* 3,90% pada Boiler 25 load 61%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{3,90}{3,81} \times 231,12 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 236,29 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,90\% \times 100}{20,9\% - 3,90\%} = 22,94\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,94\% = \frac{\left(236,2908 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 192,20 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{192,20 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}}{9,83} = 19,55 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 25 load 61%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,10	17,4	187293	159513	16226,9	9,83
3,15	17,7	190850	162086	16488,6	9,83
3,20	18,1	193880	164195	16703,1	9,83
3,25	18,4	196909	166289	16916,2	9,83
3,30	18,8	199938	168369	17127,8	9,83
3,35	19,1	202968	170435	17337,9	9,83
3,40	19,4	205997	172486	17546,5	9,83
3,45	19,8	209026	174522	17753,7	9,83
3,50	20,1	212056	176544	17959,4	9,83
3,55	20,5	215085	178552	18163,6	9,83
3,60	20,8	218115	180545	18366,3	9,83
3,65	21,2	221144	182523	18567,6	9,83
3,70	21,5	224173	184487	18767,4	9,83
3,75	21,9	227203	186437	18965,7	9,83
3,80	22,2	230232	188372	19162,6	9,83
3,85	22,6	233261	190292	19357,9	9,83
3,90	22,9	236291	192198	19551,8	9,83



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## 8. Boiler 25 Load 82%

Data	Satuan	Load 82%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,82
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	312,81
<i>Fuel Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	26,02

Berdasarkan data aktual, nilai *stociomethric air* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *excess oxygen* dan *excess air*.

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,82\% \times 100}{20,9\% - 3,82\%} = 22,4\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,4\% = \frac{\left(312,81 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 255,61 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{AFR stoichiometric} = \frac{255,61 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{26,02 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}} = 9,83$$

Perhitungan *air flow* dan *fuel flow* untuk *excess oxygen* 3,90% pada Boiler 25 load 82%, yaitu:

$$\text{Flow Air} = \frac{3,90}{3,81} \times 312,81 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 319,24 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,90\% \times 100}{20,9\% - 3,90\%} = 22,9\%$$

$$\text{Excess Air (\%)} \quad (21)$$

$$= \frac{(\text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air})}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$22,9\% = \frac{\left(319,24 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - \text{Theoretical Combustion Air}\right)}{\text{Theoretical Combustion Air}} \times 100\%$$

$$\text{Theoretical Combustion Air} = 259,67 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Flow Fuel} = \frac{259,67 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}}{9,82} = 26,43 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

Perhitungan dilakukan dengan pola perhitungan yang sama pada nilai *excess oxygen* lainnya dengan acuan nilai *air to fuel stoichiometric* yang tetap. Pada *Boiler 25 load 82%*, hasil perhitungan nilai *air flow* dan *fuel flow*, yaitu:

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,10	17,4	253045	215512	21936	9,83
3,15	17,7	257851	218988	22290	9,82
3,20	18,1	261943	221837	22580	9,82
3,25	18,4	266036	224667	22868	9,82
3,30	18,8	270129	227477	23154	9,82
3,35	19,1	274222	230268	23438	9,82
3,40	19,4	278315	233039	23720	9,82
3,45	19,8	282408	235790	24000	9,82
3,50	20,1	286501	238522	24278	9,82
3,55	20,5	290593	241234	24554	9,82
3,60	20,8	294686	243927	24828	9,82
3,65	21,2	298779	246600	25100	9,82

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Excess Air (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Air Flow Stoichiometric (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>AFR Stoichiometric</i>
3,70	21,5	302872	249254	25370	9,82
3,75	21,9	306965	251887	25638	9,82
3,80	22,2	311058	254502	25904	9,82
3,85	22,6	315151	257097	26168	9,82
3,90	22,9	319243	259672	26431	9,82

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta






**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

 Lampiran 17. Perhitungan *Air Flow* pada Nilai *Fuel Flow* Tetap

Perhitungan nilai *air flow* pada setiap *boiler* didasarkan atas data simulasi *Hysys* pertama. Nilai acuan dalam penentuan *air flow* adalah nilai *air stoichiometric* yang tetap, penurunan nilai *excess oxygen* hanya berpengaruh terhadap penurunan *excess air*.

 1. *Boiler 24 Load 46%*

Data	Satuan	Load 46%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,40
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	181,09
<i>Air Flow Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	142,96

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air} \quad (21)$$

$$\text{Excess Air} = 181,09 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 142,96 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 38,12 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,40\% \times 100}{20,9\% - 4,40\%} = 26,7\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 4,00%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,00\% \times 100}{20,9\% - 4,00\%} = 23,7\%$$



$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{23,7\%}{26,7\%} \times 38,12 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 142,96 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 176,80 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	151671	142962
1,40	7,18	153226	142962
1,60	8,29	154814	142962
1,80	9,42	156435	142962
2,00	10,6	158091	142962
2,20	11,8	159782	142962
2,40	13,0	161509	142962
2,60	14,2	163274	142962
2,80	15,5	165078	142962
3,00	16,8	166923	142962
3,20	18,1	168809	142962
3,40	19,4	170738	142962
3,60	20,8	172712	142962
3,80	22,2	174732	142962
4,00	23,7	176800	142962
4,40	26,7	181086	142962

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## 2. Boiler 24 Load 52%

Data	Satuan	Load 52%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,40
<i>Air Flow</i>	$\text{kNm}^3/\text{h}$	205,51
<i>Air Flow Stoichiometric</i>	$\text{kNm}^3/\text{h}$	162,25

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} \quad (21)$$

$$- \text{Theoretical Combustion Air}$$

$$\text{Excess Air} = 205,51 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 162,25 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 43,27 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,40\% \times 100}{20,9\% - 4,40\%} = 26,7\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 4,00%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,00\% \times 100}{20,9\% - 4,00\%} = 23,7\%$$

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{23,7\%}{26,7\%} \times 43,27 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 162,23 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 200,65 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	172130	162247
1,40	7,18	173895	162247
1,60	8,29	175697	162247
1,80	9,42	177537	162247
2,00	10,6	179416	162247
2,20	11,8	181334	162247
2,40	13,0	183295	162247
2,60	14,2	185298	162247
2,80	15,5	187346	162247
3,00	16,8	189439	162247
3,20	18,1	191579	162247
3,40	19,4	193769	162247
3,60	20,8	196009	162247
3,80	22,2	198301	162247
4,00	23,7	200648	162247
4,40	26,7	205512	162247

3. *Boiler 24 Load 61%*

Data	Satuan	Load 61%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,40
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	238,03
<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	187,92

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} \quad (21)$$

– Theoretical Combustion Air

$$\text{Excess Air} = 238,03 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 187,92 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 50,11 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,40\% \times 100}{20,9\% - 4,40\%} = 26,7\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 4,00%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,00\% \times 100}{20,9\% - 4,00\%} = 23,7\%$$

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{23,7\%}{26,7\%} \times 50,11 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 187,92 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 232,40 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	199365	187918
1,40	7,18	201410	187918
1,60	8,29	203497	187918
1,80	9,42	205628	187918
2,00	10,6	207804	187918
2,20	11,8	210026	187918
2,40	13,0	212297	187918
2,60	14,2	214617	187918
2,80	15,5	216988	187918


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
3,00	16,8	219413	187918
3,20	18,1	221892	187918
3,40	19,4	224428	187918
3,60	20,8	227023	187918
3,80	22,2	229678	187918
4,00	23,7	232396	187918
4,40	26,7	238030	187918

 4. *Boiler 24 Load 82%*

Data	Satuan	Load 82%
<i>Excess Oxygen</i>	%	4,40
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	317,64
<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	250,77

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air} \quad (21)$$

$$\text{Excess Air} = 317,64 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 250,77 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 66,87 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,40\% \times 100}{20,9\% - 4,40\%} = 26,7\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 4,00%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{4,00\% \times 100}{20,9\% - 4,00\%} = 23,7\%$$

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{23,7\%}{26,7\%} \times 66,87 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 250,77 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 310,12 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	266042	250767
1,40	7,18	268771	250767
1,60	8,29	271556	250767
1,80	9,42	274400	250767
2,00	10,6	277303	250767
2,20	11,8	280269	250767
2,40	13,0	283299	250767
2,60	14,2	286395	250767
2,80	15,5	289560	250767
3,00	16,8	292795	250767
3,20	18,1	296103	250767
3,40	19,4	299488	250767
3,60	20,8	302950	250767
3,80	22,2	306493	250767
4,00	23,7	310120	250767
4,40	26,7	317638	250767



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## 5. Boiler 25 Load 49%

Data	Satuan	Load 49%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,75
<i>Air Flow</i>	$\text{kNm}^3/\text{h}$	184,15
<i>Air Flow Stoichiometric</i>	$\text{kNm}^3/\text{h}$	151,11

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} \quad (21)$$

$$- \text{Theoretical Combustion Air}$$

$$\text{Excess Air} = 184,15 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 151,11 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 33,04 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,75\% \times 100}{20,9\% - 3,75\%} = 21,87\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 3,60%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,60\% \times 100}{20,9\% - 3,60\%} = 20,81\%$$

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{20,81\%}{21,87\%} \times 33,04 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 151,11 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 182,56 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	160317	151112
1,40	7,18	161961	151112
1,60	8,29	163639	151112
1,80	9,42	165353	151112
2,00	10,6	167102	151112
2,20	11,8	168890	151112
2,40	13,0	170715	151112
2,60	14,2	172581	151112
2,80	15,5	174488	151112
3,00	16,8	176438	151112
3,20	18,1	178431	151112
3,40	19,4	180471	151112
3,60	20,8	182557	151112
3,75	21,9	184154	151112

 6. *Boiler 25 Load 52%*

Data	Satuan	Load 52%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,75
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	197,54
<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	162,10

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Excess Air} &= \text{Air Actually Supplied} \\
 &- \text{Theoretical Combustion Air}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Excess Air} &= 197,54 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 162,10 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 35,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\
 \text{Excess Air (\%)} &= \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \\
 \text{Excess Air (\%)} &= \frac{3,75\% \times 100}{20,9\% - 3,75\%} = 21,87\%
 \end{aligned} \tag{22}$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 3,60%, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Excess Air (\%)} &= \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \\
 \text{Excess Air (\%)} &= \frac{3,60\% \times 100}{20,9\% - 3,60\%} = 20,81\%
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{20,81\%}{21,87\%} \times 35,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 162,10 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\
 &= 195,83 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	171972	162098
1,40	7,18	173736	162098
1,60	8,29	175536	162098
1,80	9,42	177374	162098
2,00	10,6	179251	162098
2,20	11,8	181168	162098
2,40	13,0	183127	162098
2,60	14,2	185128	162098
2,80	15,5	187174	162098
3,00	16,8	189265	162098
3,20	18,1	191404	162098

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
3,40	19,4	193591	162098
3,60	20,8	195829	162098
3,75	21,9	197542	162098

## 7. Boiler 25 Load 61%

Data	Satuan	Load 61%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,75
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	227,20
<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	186,44

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air} \quad (21)$$

$$\text{Excess Air} = 227,20 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 186,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 40,77 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,75\% \times 100}{20,9\% - 3,75\%} = 21,87\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 3,60%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,60\% \times 100}{20,9\% - 3,60\%} = 20,81\%$$



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{20,81\%}{21,87\%} \times 40,77 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 186,44 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 225,23 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	197793	186437
1,40	7,18	199822	186437
1,60	8,29	201893	186437
1,80	9,42	204007	186437
2,00	10,6	206165	186437
2,20	11,8	208370	186437
2,40	13,0	210623	186437
2,60	14,2	212925	186437
2,80	15,5	215278	186437
3,00	16,8	217683	186437
3,20	18,1	220143	186437
3,40	19,4	222659	186437
3,60	20,8	225233	186437
3,75	21,9	227203	186437

#### 8. Boiler 25 Load 82%

Data	Satuan	Load 82%
<i>Excess Oxygen</i>	%	3,75
<i>Air Flow</i>	kNm <sup>3</sup> /h	306,97
<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i>	kNm <sup>3</sup> /h	251,89


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perhitungan nilai *air flow* pada *excess oxygen* tertentu dilakukan dengan menggunakan rumus *excess air*, yaitu:

$$\text{Excess Air} = \text{Air Actually Supplied} - \text{Theoretical Combustion Air} \quad (21)$$

$$\text{Excess Air} = 306,97 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} - 251,89 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} = 55,08 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,75\% \times 100}{20,9\% - 3,75\%} = 21,87\%$$

Nilai *air flow* pada *excess oxygen* 3,60%, yaitu:

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{\% O_2 \text{ Excess} \times 100}{20,9\% - \% O_2 \text{ Excess}} \quad (22)$$

$$\text{Excess Air (\%)} = \frac{3,60\% \times 100}{20,9\% - 3,60\%} = 20,81\%$$

$$\begin{aligned} \text{Air Actually Supplied} &= \left( \frac{20,81\%}{21,87\%} \times 55,10 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \right) + 251,89 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \\ &= 304,30 \frac{\text{kNm}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Perhitungan *air flow* pada rentang nilai *excess oxygen* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Nilai *air flow* pada setiap rentang *excess oxygen*, yaitu:

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
1,20	6,09	267231	251887
1,40	7,18	269972	251887
1,60	8,29	272769	251887
1,80	9,42	275626	251887
2,00	10,6	278542	251887
2,20	11,8	281521	251887
2,40	13,0	284565	251887

<i>Excess Oxygen</i> (%)	<i>Excess Air</i> (%)	<i>Air Flow</i> (Nm <sup>3</sup> /h)	<i>Air Flow</i> <i>Stoichiometric</i> (Nm <sup>3</sup> /h)
2,60	14,2	287675	251887
2,80	15,5	290853	251887
3,00	16,8	294103	251887
3,20	18,1	297426	251887
3,40	19,4	300826	251887
3,60	20,8	304303	251887
3,75	21,9	306965	251887



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 18. Hasil Simulasi Nilai *Excess Oxygen* terhadap *Fuel Flow* dan *Air Flow* Boiler 24

1. Hasil Simulasi Boiler 24 Load 46%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,90	160508	13225	<i>Temperature Cross</i>
3,95	162566	13355	<i>Temperature Cross</i>
4,00	164623	13485	<i>Temperature Cross</i>
4,05	166681	13613	<i>Temperature Cross</i>
4,10	168739	13740	<i>Temperature Cross</i>
4,15	170797	13866	<i>Temperature Cross</i>
4,20	172855	13991	<i>Temperature Cross</i>
4,25	174912	14115	<i>Temperature Cross</i>
4,30	176970	14239	97
4,35	179028	14361	113
4,40	181086	14482	129
4,45	183144	14602	144
4,50	185201	14721	159

2. Hasil Simulasi Boiler 24 Load 52%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,90	182159	15039	<i>Temperature Cross</i>
3,95	184494	15187	<i>Temperature Cross</i>
4,00	186829	15334	<i>Temperature Cross</i>
4,05	189165	15480	<i>Temperature Cross</i>
4,10	191500	15624	<i>Temperature Cross</i>
4,15	193836	15768	<i>Temperature Cross</i>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
4,20	196171	15910	<i>Temperature Cross</i>
4,25	198506	16051	<i>Temperature Cross</i>
4,30	200842	16192	101
4,35	203177	16330	117
4,40	205512	16468	133
4,45	207848	16605	148
4,50	210183	16740	163

3. Hasil Simulasi *Boiler 24 Load 61%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,90	210981	17387	<i>Temperature Cross</i>
3,95	213686	17559	<i>Temperature Cross</i>
4,00	216391	17728	<i>Temperature Cross</i>
4,05	219096	17897	<i>Temperature Cross</i>
4,10	221800	18064	<i>Temperature Cross</i>
4,15	224505	18230	<i>Temperature Cross</i>
4,20	227210	18394	<i>Temperature Cross</i>
4,25	229915	18558	<i>Temperature Cross</i>
4,30	232620	18720	101
4,35	235325	18880	118
4,40	238030	19040	133
4,45	240735	19198	149
4,50	243440	19354	163





4. Hasil Simulasi *Boiler 24 Load 82%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,90	281543	23204	<i>Temperature Cross</i>
3,95	285153	23432	<i>Temperature Cross</i>
4,00	288762	23659	<i>Temperature Cross</i>
4,05	292372	23883	<i>Temperature Cross</i>
4,10	295981	24107	<i>Temperature Cross</i>
4,15	299591	24328	<i>Temperature Cross</i>
4,20	303200	24547	<i>Temperature Cross</i>
4,25	306810	24765	<i>Temperature Cross</i>
4,30	310419	24981	99
4,35	314029	25196	116
4,40	317638	25408	131
4,45	321248	25619	147
4,50	324857	25828	161

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 19. Hasil Simulasi Nilai *Excess Oxygen* terhadap *Fuel Flow* dan *Air Flow* Boiler 25

## 1. Hasil Simulasi Boiler 25 Load 49%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,30	162055	13883	<i>Temperature Cross</i>
3,35	164511	14054	<i>Temperature Cross</i>
3,40	166966	14223	<i>Temperature Cross</i>
3,45	169421	14391	<i>Temperature Cross</i>
3,50	171877	14557	<i>Temperature Cross</i>
3,55	174332	14723	<i>Temperature Cross</i>
3,60	176788	14887	<i>Temperature Cross</i>
3,65	179243	15051	92
3,70	181698	15212	113
3,75	184154	15373	134
3,80	186609	15533	154
3,85	189064	15691	173
3,90	191520	15848	191

## 2. Hasil Simulasi Boiler 25 Load 52%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,30	173837	14895	<i>Temperature Cross</i>
3,35	176471	15078	<i>Temperature Cross</i>
3,40	179105	15260	<i>Temperature Cross</i>
3,45	181739	15440	<i>Temperature Cross</i>
3,50	184373	15619	<i>Temperature Cross</i>

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,55	187007	15796	<i>Temperature Cross</i>
3,60	189641	15972	<i>Temperature Cross</i>
3,65	192274	16148	94
3,70	194908	16321	115
3,75	197542	16494	136
3,80	200176	16665	156
3,85	202810	16835	174
3,90	205444	17003	193

3. Hasil Simulasi *Boiler 25 Load 61%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,30	199938	17128	<i>Temperature Cross</i>
3,35	202968	17338	<i>Temperature Cross</i>
3,40	205997	17547	<i>Temperature Cross</i>
3,45	209026	17754	<i>Temperature Cross</i>
3,50	212056	17959	<i>Temperature Cross</i>
3,55	215085	18164	<i>Temperature Cross</i>
3,60	218115	18366	<i>Temperature Cross</i>
3,65	221144	18568	<i>Temperature Cross</i>
3,70	224173	18767	112
3,75	227203	18966	132
3,80	230232	19163	152
3,85	233261	19358	171
3,90	236291	19552	189



4. Hasil Simulasi *Boiler 25 Load 82%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,30	270129	23154	<i>Temperature Cross</i>
3,35	274222	23438	<i>Temperature Cross</i>
3,40	278315	23720	<i>Temperature Cross</i>
3,45	282408	24000	<i>Temperature Cross</i>
3,50	286501	24278	<i>Temperature Cross</i>
3,55	290593	24554	<i>Temperature Cross</i>
3,60	294686	24828	<i>Temperature Cross</i>
3,65	298779	25100	<i>Temperature Cross</i>
3,70	302872	25370	111
3,75	306965	25638	131
3,80	311058	25904	151
3,85	315151	26168	170
3,90	319243	26431	189

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 20. Hasil Simulasi Nilai *Excess Oxygen* terhadap *Fuel Flow* Tetap *Boiler* 24

 1. Hasil Simulasi *Boiler* 24 Load 46%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	151671	14482	112
1,40	153226	14482	114
1,60	154814	14482	117
1,80	156435	14482	119
2,00	158091	14482	121
2,20	159782	14482	123
2,40	161509	14482	124
2,60	163274	14482	125
2,80	165078	14482	126
3,00	166923	14482	127
3,20	168809	14482	128
3,40	170738	14482	128
3,60	172712	14482	128
3,80	174732	14482	129
4,00	176800	14482	129
4,40	181086	14482	129

 2. Hasil Simulasi *Boiler* 24 Load 52%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	172130	16468	115
1,40	173895	16468	118

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,60	175697	16468	121
1,80	177537	16468	123
2,00	179416	16468	125
2,20	181334	16468	127
2,40	183295	16468	128
2,60	185298	16468	129
2,80	187346	16468	130
3,00	189439	16468	131
3,20	191579	16468	131
3,40	193769	16468	132
3,60	196009	16468	132
3,80	198301	16468	133
4,00	200648	16468	133
4,40	205512	16468	133

3. Hasil Simulasi *Boiler 24 Load 61%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	199365	19040	117
1,40	201410	19040	119
1,60	203497	19040	122
1,80	205628	19040	124
2,00	207804	19040	126
2,20	210026	19040	127
2,40	212297	19040	129



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
2,60	214617	19040	130
2,80	216988	19040	131
3,00	219413	19040	132
3,20	221892	19040	132
3,40	224428	19040	133
3,60	227023	19040	133
3,80	229678	19040	133
4,00	232396	19040	133
4,40	238030	19040	133

4. Hasil Simulasi *Boiler 24 Load 82%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	266042	25407	114
1,40	268771	25407	117
1,60	271556	25408	119
1,80	274400	25408	122
2,00	277303	25408	124
2,20	280269	25408	125
2,40	283299	25408	127
2,60	286395	25408	128
2,80	289560	25408	129
3,00	292795	25408	129
3,20	296103	25408	130
3,40	299488	25408	131

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,60	302950	25408	131
3,80	306493	25408	131
4,00	310120	25408	131
4,40	317638	25408	131



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta






 Lampiran 21. Hasil Simulasi Nilai *Excess Oxygen* terhadap *Fuel Flow* Tetap *Boiler* 25

 1. Hasil Simulasi *Boiler 25 Load 49%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	160317	15373	116
1,40	161961	15373	119
1,60	163639	15373	122
1,80	165353	15373	124
2,00	167102	15373	126
2,20	168890	15373	127
2,40	170715	15373	129
2,60	172581	15373	130
2,80	174488	15373	131
3,00	176438	15373	132
3,20	178431	15373	133
3,40	180471	15373	133
3,60	182557	15373	134
3,75	184154	15373	134

 2. Hasil Simulasi *Boiler 25 Load 52%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	171972	16494	118
1,40	173736	16494	121
1,60	175536	16494	124

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,80	177374	16494	126
2,00	179251	16494	128
2,20	181168	16494	129
2,40	183127	16494	131
2,60	185128	16494	132
2,80	187174	16494	133
3,00	189265	16494	134
3,20	191404	16494	135
3,40	193591	16494	135
3,60	195829	16494	136
3,75	197542	16494	136

3. Hasil Simulasi *Boiler 25 Load 61%*

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	197793	18966	114
1,40	199822	18966	118
1,60	201893	18966	120
1,80	204007	18966	122
2,00	206165	18966	124
2,20	208370	18966	126
2,40	210623	18966	128
2,60	212925	18966	129
2,80	215278	18966	130
3,00	217683	18966	131



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
3,20	220143	18966	131
3,40	222659	18966	132
3,60	225233	18966	132
3,75	227203	18966	132

4. Hasil Simulasi Boiler 25 Load 82%

<i>Excess Oxygen (%)</i>	<i>Air Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Fuel Flow (Nm<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Flue Gas Temperature (°C)</i>
1,20	267231	25624	115
1,40	269972	25638	116
1,60	272769	25638	119
1,80	275626	25638	121
2,00	278542	25638	123
2,20	281521	25638	125
2,40	284565	25638	127
2,60	287675	25638	128
2,80	290853	25638	129
3,00	294103	25638	130
3,20	297426	25638	130
3,40	300826	25638	131
3,60	304303	25638	131
3,75	306965	25638	131


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

 Lampiran 22. Perhitungan Efisiensi Boiler Setelah Optimalisasi *Excess Oxygen*

## 1. Perhitungan Efisiensi Boiler 24 Load 46%

 A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43 \times C) + \left( 34,5 \times \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32 \times S) \quad (7)$$

$$TA = (11,43 \times 0,7471) + \left( 34,5 \times \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32 \times 0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{2,00}{20,9 - 2,00}$$

$$EA = 0,106$$

 C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,106}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 D. Perhitungan Heat Loss *Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,106 \times 17,09\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,09\right)$$

$$m_{fg} = 16,68 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$L_{dfg}(\%) = \frac{16,68 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{dfg}(\%) = 3,6\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$L_{\text{H}_2}(\%) = \frac{9 \times \text{H}_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$L_{\text{H}_2}(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{H}_2}(\%) = 14,5\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$L_{ma}(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$L_{ma}(\%) = \frac{17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{ma}(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{rc}(\%) = 0,40\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 176,4714 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan data *design* Lbd adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler } (\eta) & \quad (16) \\ & = 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma \\ & \quad + Lco + Lrc) \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,6\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,40\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 76,8\%$$

2. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 24 Load 52%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,60}{20,9 - 1,60}$$

$$EA = 0,08$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,08}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**D. Perhitungan Heat Loss Dry Flue Gas**

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,08 \times 17,08\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,08\right)$$

$$m_{fg} = 16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,6\%$$

**E. Perhitungan Heat Loss karena H<sub>2</sub> dalam Fuel Gas**

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$

**F. Perhitungan Heat Loss karena Moisture dalam Udara**

$$Lma(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 2,2\%$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$\text{Lrc}(\%) = 0,32\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 200,8491 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design* Lbd adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler } (\eta) & \quad (16) \\ & = 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma \\ & \quad + Lco + Lrc) \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,6\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,32\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 76,9\%$$

3. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 24 Load 61%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,60}{20,9 - 1,60}$$

$$EA = 0,08$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,08}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**D. Perhitungan Heat Loss Dry Flue Gas**

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} x Cp x (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} x 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022x28) + \left(0,74716x\frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100}x0,08x17,08\right) + \left(\frac{79}{100}x17,08\right)$$

$$m_{fg} = 16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} x 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} x (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} x 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,7\%$$

**E. Perhitungan Heat Loss karena H<sub>2</sub> dalam Fuel Gas**

$$LH_2(\%) = \frac{9xH_2\{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} x 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 x 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} x 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$

**F. Perhitungan Heat Loss karena Moisture dalam Udara**


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$Lrc(\%) = 0,24\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 232,7379 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design* *Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,7\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,24\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 76,9\%$$

4. Perhitungan Efisiensi *Boiler* 24 Load 82%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43 \times C) + \left( 34,5 \times \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32 \times S) \quad (7)$$

$$TA = (11,43 \times 0,7471) + \left( 34,5 \times \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32 \times 0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,80}{20,9 - 1,80}$$

$$EA = 0,0942$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,09}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas*

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt \text{ N}_2 \text{ in fuel} + \%wt \text{ CO}_2 + \%wt \text{ O}_2 + \%wt \text{ N}_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,09 \times 17,09\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,09\right)$$

$$m_{fg} = 16,64 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,64 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,7\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$Lrc(\%) = 0,20\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata$$

$$\text{– rata produksi steam } 311,0340 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,7\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,20\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 76,9\%$$

5. Perhitungan Efisiensi *Boiler 25 Load* 49%

A. Perhitungan *Theoretical Air*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**B. Perhitungan *Excess Air***

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,60}{20,9 - 1,60}$$

$$EA = 0,08$$

**C. Perhitungan *Actual Air Supply***

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,08}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**D. Perhitungan *Heat Loss Dry Flue Gas***

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} x Cp x (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} x 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022x28) + \left( 0,74716x \frac{44}{12} \right) + \left( \frac{21}{100} x 0,08x17,08 \right)$$

$$+ \left( \frac{79}{100} x 17,08 \right)$$

$$m_{fg} = 16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$L_{dfg}(\%) = \frac{16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{dfg}(\%) = 3,7\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$L_{\text{H}_2}(\%) = \frac{9 \times \text{H}_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$L_{\text{H}_2}(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{ 584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{\text{H}_2}(\%) = 14,5\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$L_{ma}(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$L_{ma}(\%) = \frac{17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (122^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{ma}(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{rc}(\%) = 0,40\% \left( \text{Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 186,6939 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right)$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design*  $L_{bd}$  adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,7\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,40\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 76,7\%$$

## 6. Perhitungan Efisiensi Boiler 25 Load 52%

 A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,40}{20,9 - 1,40}$$

$$EA = 0,07$$

 C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,07}{100} x 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

 D. Perhitungan Heat Loss *Dry Flue Gas*


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt \text{ N}_2 \text{ in fuel} + \%wt \text{ CO}_2 + \%wt \text{ O}_2 + \%wt \text{ N}_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,07 \times 17,08\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,08\right)$$

$$m_{fg} = 16,55 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,55 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \text{ } ^\circ\text{C} \times (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,6\%$$

E. Perhitungan *Heat Loss* karena  $\text{H}_2$  dalam *Fuel Gas*

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$

F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$

$$Lma(\%) = \frac{17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Lma(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi



$$\text{Lrc}(\%) = 0,32\% \text{ (Berdasarkan } ABMA \text{ Chart pada nilai rata} \\ \text{– rata produksi steam } 200,8004 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (Ldfg + LH_2 + Lmf + Lma \\ + Lco + Lrc)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,6\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,32\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 79,4\%$$

7. Perhitungan Efisiensi *Boiler 25 Load* 61%

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43xC) + \left( 34,5x \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32xS) \quad (7)$$

$$TA = (11,43x0,7471) + \left( 34,5x \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32x0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,60}{20,9 - 1,60}$$

$$EA = 0,08$$

C. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} x TA \quad (9)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$AAS = \frac{1 + 0,08}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**D. Perhitungan Heat Loss Dry Flue Gas**

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt N_2 \text{ in fuel} + \%wt CO_2 + \%wt O_2 + \%wt N_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,083 \times 17,08\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,08\right)$$

$$m_{fg} = 16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,60 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (120^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,6\%$$

**E. Perhitungan Heat Loss karena H<sub>2</sub> dalam Fuel Gas**

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (120^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$

**F. Perhitungan Heat Loss karena Moisture dalam Udara**

$$Lma(\%) \quad (13)$$

$$= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100$$

$$\text{Humidity factor} = 0,3$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$L_{ma}(\%) = \frac{17,08 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (120^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{ma}(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{rc}(\%) = 0,24\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 232,0079 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design* *Lbd* adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) \quad (16)$$

$$= 100 - (L_{dfg} + L_{H_2} + L_{mf} + L_{ma} + L_{co} + L_{rc})$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - (3,6\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,24\% + 2,5\%)$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 77,0\%$$

8. Perhitungan Efisiensi *Boiler 25 Load 82%*

A. Perhitungan *Theoretical Air*

$$TA = (11,43 \times C) + \left( 34,5 \times \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,32 \times S) \quad (7)$$

$$TA = (11,43 \times 0,7471) + \left( 34,5 \times \left( 0,2476 - \frac{0,0031}{8} \right) \right) + (4,32 \times 0)$$

$$TA = 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

B. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \quad (8)$$

$$EA = \frac{1,80}{20,9 - 1,80}$$


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$EA = 0,09$$

**C. Perhitungan Actual Air Supply**

$$AAS = \frac{1 + EA}{100} \times TA \quad (9)$$

$$AAS = \frac{1 + 0,09}{100} \times 17,07 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$AAS = 17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

**D. Perhitungan Heat Loss Dry Flue Gas**

$$Ldfg(\%) = \frac{m_{fg} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (10)$$

$$m_{fg} = \%wt \text{ N}_2 \text{ in fuel} + \%wt \text{ CO}_2 + \%wt \text{ O}_2 + \%wt \text{ N}_2 \text{ in air}$$

$$m_{fg} = (0,0022 \times 28) + \left(0,74716 \times \frac{44}{12}\right) + \left(\frac{21}{100} \times 0,09 \times 17,09\right) + \left(\frac{79}{100} \times 17,09\right)$$

$$m_{fg} = 16,64 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

$$Ldfg(\%) = \frac{16,64 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \times 0,23 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \times (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$Ldfg(\%) = 3,6\%$$

**E. Perhitungan Heat Loss karena H<sub>2</sub> dalam Fuel Gas**

$$LH_2(\%) = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pw}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

$$LH_2(\%)$$

$$= \frac{9 \times 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{fuel}} \left\{584 + 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})\right\}}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$LH_2(\%) = 14,5\%$$



F. Perhitungan *Heat Loss* karena *Moisture* dalam Udara

$$L_{ma}(\%) = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100 \quad (13)$$

Humidity factor = 0,3

$$L_{ma}(\%) = \frac{17,09 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3 \text{ fuel}} \times 0,3 \times 0,45 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{9598,5764 \frac{\text{kCal}}{\text{Nm}^3}} \times 100$$

$$L_{ma}(\%) = 2,2\%$$

G. Perhitungan *Heat Loss* karena Radiasi dan Konveksi

$$L_{rc}(\%) = 0,20\% \text{ (Berdasarkan ABMA Chart pada nilai rata-rata produksi steam } 313,7592 \frac{\text{ton}}{\text{h}})$$

H. Perhitungan *Heat Loss* karena *Blowdown*

Berdasarkan data *design*  $L_{bd}$  adalah 2,5%

I. Perhitungan Total Efisiensi *Boiler*

$$E_{\text{Efisiensi Boiler}} (\eta) = 100 - (L_{dfg} + L_{H_2} + L_{mf} + L_{ma} + L_{co} + L_{rc}) \quad (16)$$

$$E_{\text{Efisiensi Boiler}} (\eta) = 100\% - (3,6\% + 14,5\% + 2,2\% + 0,20\% + 2,5\%)$$

$$E_{\text{Efisiensi Boiler}} (\eta) = 77,0\%$$

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 Lampiran 23. Perhitungan Konsumsi *Steam*

Perhitungan konsumsi *steam* didasarkan atas data *mass* dan *energy balance* pada *datasheet Process Engineering*. Untuk memompa udara sebesar  $5599,31 \frac{kNm^3}{day}$  diperlukan *steam* untuk menggerakkan *force draft fan* sebesar  $348 \frac{ton}{day}$ . Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan *steam* pada setiap nilai *air flow* dapat dihitung sebagai berikut.

Pada *Boiler 24* dengan *load* 46%, diketahui bahwa nilai *air flow* sebelum dilakukan optimalisasi adalah sebesar  $185700,01 \frac{Nm^3}{h}$ . Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan *steam* untuk menggerakkan *force draft fan* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Steam Consumption} &= \frac{(185700,01 \frac{Nm^3}{h} \times \frac{1 kNm^3}{1000 Nm^3} \times 24 \frac{h}{day})}{5599,31 \frac{kNm^3}{day}} \times 348 \frac{ton}{day} \\ &= 277 \frac{ton}{day} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai konsumsi *steam* untuk menggerakkan *force draft fan* pada rentang nilai *air flow* lainnya dilakukan dengan tahapan perhitungan yang sama. Berikut adalah data hasil perhitungan konsumsi *steam* pada *Boiler 24* dan *25*.

<i>Load Boiler 24</i>	Konsumsi <i>Steam</i> Sebelum Optimalisasi ( $\frac{ton}{day}$ )	Konsumsi <i>Steam</i> Setelah Optimalisasi ( $\frac{ton}{day}$ )	Selisih Kebutuhan <i>Steam</i> ( $\frac{ton}{day}$ )
46%	277	236	41
52%	311	262	49
61%	362	304	58
82%	486	409	77

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Load Boiler 25</i>	Konsumsi <i>Steam</i> Sebelum Optimalisasi ( $\frac{ton}{day}$ )	Konsumsi <i>Steam</i> Setelah Optimalisasi ( $\frac{ton}{day}$ )	Selisih Kebutuhan <i>Steam</i> ( $\frac{ton}{day}$ )
49%	279	244	35
52%	299	259	40
61%	345	301	44
82%	467	411	55



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





## Lampiran 24. Perhitungan Penghematan Biaya

Perhitungan biaya penghematan dari optimalisasi nilai *Excess Oxygen* memuat biaya penghematan *fuel gas* serta biaya penghematan *steam* sebagai penggerak *force draft fan* dalam memompa udara.

 1. Perhitungan Biaya *Steam*

Biaya perhitungan *steam* memuat beberapa aspek pembiayaan yang harus dihitung, antara lain:

 a) *Fuel Cost*

*Fuel cost* merupakan biaya bahan bakar atau *fuel gas* yang digunakan untuk memproduksi *steam*. Harga *fuel gas* yang digunakan mengacu pada harga LNG yaitu sebesar 13,0198 USD/MMBTU. Nilai konversi 1 SCF terhadap Nm<sup>3</sup> adalah sebesar 0,02679. Oleh karena itu, perhitungan harga *fuel gas*, yaitu:

$$\text{Fuel Cost} = \text{Fuel Consumption} \times \text{HHV} \times \text{Fuel Price}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel Cost} &= 2631099,13 \frac{\text{Nm}^3}{\text{day}} \times \\ &1020,0408 \frac{\text{BTU}}{\text{SCF}} \times \frac{1 \text{ SCF}}{0,02679 \text{ Nm}^3} \times 13,0198 \frac{\text{USD}}{\text{MMBTU}} \times \frac{1 \text{ MMBTU}}{1000000 \text{ BTU}} \\ \text{Fuel Cost} &= 1.304.326 \frac{\text{USD}}{\text{day}} \end{aligned}$$

 b) *Raw Water Supply Cost*

*Raw water supply cost* merupakan biaya kebutuhan air demin yang diperlukan sebagai bahan baku *steam* atau biasa disebut dengan *boiler feed water*. Nilai perolehan air (NPA) untuk setiap m<sup>3</sup> bagi PT Badak NGL adalah sebesar Rp 5.880,00. Oleh karena itu, harga air demin diasumsikan sebesar 1 USD/m<sup>3</sup> sesuai dengan buku *Natural Gas Conversion VI* Volume 136. Total harga *raw water supply*, yaitu:

$$\begin{aligned} &\text{Raw Water Supply Cost} \\ &= \text{BFW Consumption} \times \text{Demin Water Cost} \end{aligned}$$

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta




**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\begin{aligned} \text{Raw Water Supply Cost} &= 38698,13 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} \times \frac{1\text{USD}}{\text{m}^3} \\ &= 43.767 \frac{\text{USD}}{\text{day}} \end{aligned}$$

 c) *Boiler Feed Water Treatment Cost*

*Boiler feed water treatment cost* merupakan biaya yang diperlukan untuk pembelian bahan kimia untuk diinjeksikan ke dalam BFW. Bahan kimia tersebut meliputi *HTP-3001*, *Sulphuric Acid*, *Caustic Soda*, *Steamate NA-0240*, dan *Lime Hydrated*. Harga *boiler feed water treatment cost* didasarkan atas harga bahan kimia sesuai dengan *Monthly Report Utilities* April 2024. Perhitungan *boiler feed water treatment cost*, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Boiler feed water treatment cost} &= \frac{\text{Total chemical cost}}{\text{number of days}} \\ &= \frac{64.511 \text{ USD}}{365 \text{ days}} = 2150 \frac{\text{USD}}{\text{day}} \end{aligned}$$

 d) *Maintenance Cost*

*Maintenance cost* merupakan biaya perbaikan dan perawatan pada peralatan *boiler*. Besarnya nilai *maintenance cost* didasarkan atas buku *Multiprocess Wet Cleaning Cost and Performance Comparison of Conventional Dry Cleaning and an Alternative Process*, yaitu sebesar 150 USD/year untuk satu *boiler*. Maka, total *maintenance cost* untuk 6 buah *boiler*, yaitu:

$$\text{Maintenance Cost} = 150 \frac{\text{USD}}{\text{year}} \times 6 \times \frac{1\text{year}}{365 \text{ days}} = 2,47 \frac{\text{USD}}{\text{day}}$$

Berdasarkan perhitungan biaya di atas, maka didapatkan total biaya untuk produksi *steam*. Besarnya nilai *steam* yang diproduksi oleh 6 *boiler* setiap harinya adalah sebesar 31782 ton/day. Oleh karena itu, biaya untuk produksi setiap ton *steam*, yaitu:


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Fuel Cost</i>	\$ 1.304.327	USD/day
<i>Raw Water Supply Cost</i>	\$ 43.767	USD/day
<i>Boiler Feed Water Treatment Cost</i>	\$ 2.150	USD/day
<i>Maintenance Cost</i>	\$ 2,47	USD/day
<i>Total Cost</i>	\$ 1.350.247	USD/day
<i>Cost per 1 ton Steam</i>	\$ 42,48	USD/ton steam

 2. Biaya *Fuel Gas*

*Fuel cost* merupakan biaya bahan bakar atau *fuel gas* yang digunakan untuk memproduksi *steam*. Harga *fuel gas* yang digunakan mengacu pada harga LNG yaitu sebesar 13,0198 USD/MMBTU. Nilai konversi 1 SCF terhadap  $\text{Nm}^3$  adalah sebesar 0,02679. Oleh karena itu, besarnya harga *fuel gas* tiap  $\text{Nm}^3$  adalah:

$$\text{Fuel Cost} = \text{Fuel Consumption} \times \text{HHV} \times \text{Fuel Price}$$

$$\text{Fuel Cost per Nm}^3 = 1\text{Nm}^3 \times$$

$$1020,0408 \frac{\text{BTU}}{\text{SCF}} \times \frac{1 \text{ SCF}}{0,02679 \text{ Nm}^3} \times 13,0198 \frac{\text{USD}}{\text{MMBTU}} \times \frac{1 \text{ MMBTU}}{1000000 \text{ BTU}}$$

$$\text{Fuel Cost per Nm}^3 = 0,50 \text{ USD}$$



Lampiran 25. Biodata Mahasiswa

**BIODATA MAHASISWA**

1. Nama : Feby Valentina
2. NIM : 2002322008
3. Tempat, Tanggal Lahir : Batam, 14 Februari 2002
4. Jenis Kelamin : Perempuan
5. Alamat : PC 6C Nomor 01B, Kompleks Perumahan  
PT Badak NGL, Satimpo, Bontang Selatan,  
Bontang, Kalimantan Timur, Indonesia
6. E-mail : febyvalentinaa@gmail.com
7. Pendidikan
  - SD (2008–2013) : SD Negeri Sidakaya 01
  - SMP (2013–2017) : SMP Negeri 1 Cilacap
  - SMA (2017–2020) : SMA Negeri 1 Cilacap
8. Program Studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi
9. Bidang Peminatan : Teknik Pengolahan Gas
10. Topik Tugas Akhir : Optimalisasi Nilai *Excess Oxygen* pada  
Unit *Water Tube Boiler* 24 dan 25 guna  
Mendukung Peningkatan Efisiensi dan  
Penghematan *Fuel* di PT Badak NGL

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta