© 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

Analisis Efisiensi *Boiler* (52-B-101F) Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan

SKRIPSI

Oleh:
Seto Hadi Nugroho
NIM. 2202421052

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026

© 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

Analisis Efisiensi *Boiler* (52-B-101F) Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan

SKRIPSI

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

Oleh:
Seto Hadi Nugroho
NIM. 2202421052

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026

"Skripsi ini saya persembahkan untuk ayah, ibu, 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 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

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

ANALISIS EFISIENSI *BOILER* (52-B-101F) MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PT PERTAMINA PATRA NIAGA RU VI BALONGAN

Oleh :
Seto Hadi Nugroho
NIM. 2202421052
Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T.
NIP. 199107212018032001	NIP. 199306062019032030

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T.
NIP. 196605191990031002

© 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

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS EFISIENSI BOILER (52-B-101F) MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PT PERTAMINA PATRA NIAGA RU VI BALONGAN

Oleh:

Seto Hadi Nugroho

NIM. 2202421052

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 20 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP. 199107212018032001	Ketua		29/07/26
2	Dr. Eng., Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M.Eng NIP. 198901312019031009	Penguji 1		28/7/26
3	Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T. NIP. 196108011989031001	Penguji 2		28/7/26

Depok, 20 Juli 2026
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si
NIP. 197602252000121002

© 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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Seto Hadi Nugroho
NIM	: 2202421052
Program Studi	: Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 30 Juni 2026

Seto Hadi Nugroho
NIM. 2202421052

© 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

Analisis Efisiensi *Boiler* (52-B-101F) Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan

Seto Hadi Nugroho[1], Arifia Ekayuliana[1]*, Isnanda Nuriskasari[1]
[1)]Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI Depok, 16424
Email: seto.hadi.nugroho.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Boiler 52-B-101F merupakan salah satu unit penting dalam penyediaan uap proses, sehingga penurunan efisiensi dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efisiensi *boiler* 52-B-101F di PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan serta menentukan konfigurasi bahan bakar yang lebih ekonomis. Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif komparatif menggunakan data operasional *boiler*, data karakteristik bahan bakar, dan hasil *ultimate analysis fuel gas* serta *fuel oil*. Efisiensi dihitung menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung dengan mengadopsi standar ASME PTC 4.1, dan BEE kemudian dibandingkan pada dua konfigurasi bahan bakar, yaitu 100% *fuel gas* dan *mixed fuel* 75% *fuel gas*–25% *fuel oil*. Analisis metode tidak langsung dilakukan melalui perhitungan komponen *heat loss* L1 hingga L7 untuk mengetahui sumber kerugian energi dominan. Hasil perhitungan menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu konfigurasi *mixed fuel* menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi *total fuel gas*. Penerapan *mixed fuel* meningkatkan efisiensi *boiler* menjadi 82,84%, lebih tinggi sebesar 0,76 poin persentase dibandingkan konfigurasi *total fuel gas* sebesar 82,08%. Konfigurasi ini menghasilkan penghematan energi sebesar 2.181.025,19 kJ/jam dan proyeksi penghematan biaya operasional sebesar Rp 1.036.569.360 per tahun.

Kata kunci: *Boiler, Efisiensi, Metode Tidak Langsung, Mixed fuel, Cost Saving*.

© 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

Analisis Efisiensi *Boiler* (52-B-101F) Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan

Seto Hadi Nugroho[1], Arifia Ekayuliana[1]*, Isnanda Nuriskasari[1]
[1)]Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI Depok, 16424
Email: seto.hadi.nugroho.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

Boiler 52-B-101F is one of the essential units for process steam supply; therefore, a decrease in its efficiency may increase fuel consumption and operational costs. This study aims to evaluate the efficiency of Boiler 52-B-101F at PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan and determine the more economical fuel configuration. The study was conducted using a comparative quantitative method based on boiler operational data, fuel characteristic data, and ultimate analysis results of fuel gas and fuel oil. Boiler efficiency was calculated using the direct and indirect methods adopted from ASME PTC 4.1, and BEE standard and the results were compared under two fuel configurations: 100% fuel gas and mixed fuel consisting of 75% fuel gas and 25% fuel oil. The indirect method analysis was carried out by calculating heat loss components from L1 to L7 to identify the dominant sources of energy loss. The direct and indirect calculation methods showed the same trend, in which the mixed-fuel configuration produced a higher thermal efficiency than the total fuel gas configuration. The application of mixed fuel increased the boiler efficiency to 82.84%, which was 0.76 percentage points higher than the 82.08% achieved with the total fuel gas configuration. This configuration resulted in energy savings of 2,181,025.19 kJ/h and a projected operational cost saving of Rp 1,036,569,360 per year.

Keywords: *Boiler, Efficiency, Indirect method, Mixed fuel, Cost Saving*

© 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

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, karena atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT PATRA NIAGA RU VI BALONGAN *Boiler* Unit F"

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan yang maha Esa, Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan.
2. Kedua orang tua serta keluarga yang telah memberikan dukungan dan semangat yang tiada henti.
3. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T., selaku ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Jakarta.
5. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. PT Patra Niaga RU VI yang telah memberikan kesempatan belajar dan pengambilan data dalam kegiatan penulisan skripsi ini.
8. Bapak Mahardhika Putra Kurnia, selaku Manager *Human Capital*.
9. Bapak Harun Al Rasyid, selaku Section Head *Utilities*.
10. Bapak Indra Prana, selaku Pembimbing Pengambilan data yang sudah memberikan waktunya untuk memberikan data dan arahan di lapangan.
11. Ibu Susi Susanti, Bapak Endri Pratama dan Bapak Juwandi selaku tim Diklat *Human Capital*.

© 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

12. Ibu Hj. Iah dan Bapak H. Masrukin selaku pemilik kos yang telah menyediakan tempat tinggal selama penulis melakukan praktik kerja lapangan dan pengambilan data skripsi.
13. Kepada teman-teman Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi angkatan tahun 2022 lainnya yang tidak dapat disebutkan semuanya yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi.
14. Tak lupa, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang namanya tidak dapat disebutkan namun telah banyak membantu penulis dalam melaksanakan kerja praktik maupun dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang mungkin ada pada laporan ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi rujukan bagi penulis di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pembangkitan dan konversi energi.

Depok, 30 Juni 2026

Seto Hadi Nugroho

© 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

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL ..... **i**

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **i**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**

ABSTRAK ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR TABEL ..... **xi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Pertanyaan Penelitian 4

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Tujuan Penelitian 6

1.6 Manfaat Penelitian 6

1.7 Metode Penulisan 6

1.8 Sistematika Penulisan 7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **8**

2.1 Landasan Teori 8

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap 8

2.1.2 Sistem PLTU 9

2.1.3 Siklus Rankine 13

© 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

2.1.4 Entalpi 14
2.1.5 Interpolasi Linear 15
2.1.6 Pembobotan Massa 15
2.1.7 Efisiensi *Boiler* 16
2.1.8 Proyeksi Penghematan Bahan Bakar dan *Operational Cost* 25
2.2 Kajian Literatur 26
BAB III METODE PENELITIAN 30
3.1 Jenis Penelitian 30
3.2 Objek Penelitian 30
3.2.1 Gambaran Umum 30
3.2.2 Spesifikasi *Boiler* 31
3.2.3 Spesifikasi Bahan Bakar 32
3.3 Metode Pengambilan Data 33
3.4 Jenis Dan Sumber Data Penelitian 33
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian 35
3.6 Metode Analisis Data 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Hasil Data *Boiler* 52-B-101F 39
4.1.1 Karakteristik Bahan Bakar 39
4.1.2 Data Operasi *Boiler* 41
4.2 Pembahasan 44
4.2.1 Analisis Pengaruh Konfigurasi Bahan Bakar terhadap Efisiensi *Boiler* 44
4.2.2 Proyeksi Penghematan Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Operasional 54

© 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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 57

5.1 Kesimpulan 57

5.2 Saran.....58

DAFTAR PUSTAKA.....59

LAMPIRAN.....66

© 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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Perhitungan *Direct method* 17
Tabel 3.1 Spesifikasi *Boiler* 52-B-101F 31
Tabel 3.2 Data yang dibutuhkan 33
Tabel 4.1 Hasil Uji Lab FG 39
Tabel 4.2 Hasil uji lab FO 40
Tabel 4.3 Data operasi *boiler* 52-B-101F 41
Tabel 4.4 Data operasi *boiler* 52-B-101F 43
Tabel 4.5 Hasil perhitungan metode langsung menggunakan *total fuel gas* 45
Tabel 4.6 Hasil perhitungan metode langsung menggunakan *mixed fuel* 48
Tabel 4.7 Hasil perhitungan metode tidak langsung *boiler* 52-B-101F 51
Tabel 4.8 Tabel Neraca Panas 53
Tabel 4.9 Neraca Panas *Boiler* 52-B-101F 54
Tabel 4.10 Ringkasan Analisis Keekonomisan *Boiler* 52-B-101F 56
Tabel L5.1 Validasi angka *molecular weight* 14,40 73
Tabel L5.2 Ekstraksi gas hidrogen (*mole*) 74
Tabel L5.3 Ekstraksi karbon (*mole*) 75
Tabel L7.1 Total *Loss Boiler* 52-B-101F Konfigurasi *Total FG* 85
Tabel L7.2 Total *Loss Boiler* 52-B-101F Konfigurasi *Mixed fuel* 89

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 konversi energi pada PLTU[21] 9
Gambar 2.2 *water tube boiler* [23].....9
Gambar 2.3 *fire tube boiler* [24] 10
Gambar 2.4 perbedaan *water tube* dan *fire tube boiler* [23] 11
Gambar 2.5 *demin plant* PT X 12
Gambar 2 6 *Cooling tower* PT X 13
Gambar 2 7 Deaerator PT X.....13
Gambar 2.8 Siklus Rankine Ideal [7].....14
Gambar 2.9 Interpolasi Linear[41].....15
Gambar 2.10 Skema *heat loss* [51] 19
Gambar 2.11 ABMA *Boiler Radiation Chart* (Babcock and Wilcox 23-7) [7] 24
Gambar 3.1 Unit Utilitas 31
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....35
Gambar 4.1 Grafik efisiensi termal metode langsung menggunakan kedua konfigurasi bahan bakar 50
Gambar 4.2 Perbandingan tingkat efisiensi kedua metode dan konfigurasi bahan bakar.....51
Gambar 4.3 Diagram Aliran Energi Distribusi Kerugian Panas *Boiler* 52-B-101F pada Konfigurasi *Mixed fuel* 52
Gambar L2.1 DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 1-7 Desember 2025.....66
Gambar L2.2 DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 7-13 Mei 2026 66
Gambar L5.1 Hasil uji laboratorium *fuel gas* yang digunakan *boiler unit* A-F 72
Gambar L6.1 Hasil uji laboratorium *fuel oil* yang digunakan *boiler unit* A&F 77
Gambar L8.1 Surat permohonan izin magang dari Politeknik Negeri Jakarta 90
Gambar L9.1 Balasan izin melakukan pengambilan data melalui Email 91

© 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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Operasi *Boiler* 66
Lampiran 2 Perhitungan Entalpi *Steam* dan *Feed Water* 66
Lampiran 3 Perhitungan Metode Langsung.....69
Lampiran 4 Perhitungan Karakteristik Bahan Bakar *Fuel gas* 72
Lampiran 5 Perhitungan Karakteristik Bahan Bakar *Fuel oil*.....77
Lampiran 6 Perhitungan Metode Tidak Langsung.....80
Lampiran 7 Permohonan Izin Pengambilan Data 90
Lampiran 8 Balasan Izin Permohonan Pengambilan Data.....91

© 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

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, industrialisasi, dan perkembangan sektor transportasi, sehingga menjadikan energi sebagai faktor penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan industri. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi energi nasional mencapai sekitar 1,2 miliar barel setara minyak (BOE) pada tahun 2023 dan didominasi oleh sektor industri serta transportasi . Selain itu, konsumsi listrik per kapita juga mengalami peningkatan menjadi 1.337 kWh pada tahun 2023, menunjukkan tren kebutuhan energi yang terus meningkat setiap tahunnya . Kondisi ini menuntut adanya pengelolaan energi yang lebih efisien untuk menjaga ketahanan energi nasional, terutama di tengah keterbatasan sumber daya energi domestik. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi energi menjadi langkah strategis dalam menekan konsumsi bahan bakar, biaya operasional, serta dampak lingkungan [1][2].

Boiler memiliki peran yang sangat penting dalam sistem energi, khususnya sebagai penghasil energi panas yang kemudian dikonversi menjadi bentuk energi lain yang lebih bermanfaat. Dalam sistem pembangkit listrik, *boiler* digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang berfungsi menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi listrik, sedangkan dalam sektor industri, uap yang dihasilkan dimanfaatkan untuk proses pemanasan, pengeringan, hingga penggerak peralatan produksi. Hal ini menunjukkan bahwa *boiler* merupakan komponen kunci dalam rantai konversi energi, karena mampu mengubah kandungan kimia dari bahan bakar menjadi energi termal dan selanjutnya menjadi energi mekanik atau listrik. Selain itu, pengoperasian yang optimal menjadi penting untuk menekan konsumsi bahan bakar dan emisi. Dengan demikian, keberadaan *boiler* tidak hanya mendukung kontinuitas proses industri, tetapi juga menentukan tingkat efisiensi dan keberlanjutan sistem energi secara keseluruhan [3][4][5][6].

Efisiensi *boiler* sangat penting guna menunjukkan kemampuan *boiler* dalam

© 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

mengubah energi kimia menjadi energi panas atau uap. Apabila efisiensi *boiler* rendah, maka akan terjadi pemborosan bahan bakar karena energi yang seharusnya dapat dimanfaatkan justru hilang sebagai *loss*, sehingga meningkatkan biaya operasional konsumsi energi secara signifikan. Oleh karena itu, efisiensi *boiler* menjadi aspek krusial dalam sistem energi industri, karena berhubungan langsung dengan kinerja ekonomi. Untuk menjaga performa tetap optimal, diperlukan kegiatan monitoring dan evaluasi kinerja *boiler* secara berkala, seperti pengawasan proses pembakaran dan analisis kehilangan panas, sehingga potensi penurunan efisiensi dapat segera diidentifikasi dan diperbaiki [7]. Dengan demikian, peningkatan dan pengendalian efisiensi *boiler* menjadi langkah penting dalam upaya penghematan energi dan peningkatan kinerja sistem energi secara keseluruhan [8][9].

Metode perhitungan efisiensi *boiler* umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*). Metode langsung merupakan cara yang sederhana, yaitu dengan membandingkan energi keluaran berupa uap dengan energi masukan dari bahan bakar, sehingga memberikan gambaran efisiensi secara keseluruhan dengan cepat [10]. Sementara itu, metode tidak langsung (*indirect method*) atau *heat loss method*, menghitung efisiensi dengan menjumlahkan seluruh kerugian panas yang terjadi di dalam *boiler* seperti kehilangan melalui gas buang, radiasi, dan pembakaran tidak sempurna kemudian mengurangkannya dari total energi masukan [11]. Oleh karena itu, pemilihan metode perhitungan menjadi penting dalam penelitian, terutama untuk menentukan pendekatan yang paling sesuai dalam mengevaluasi dan meningkatkan efisiensi *boiler* [12]. Dalam penelitian ini mengadopsi metode perhitungan pada standar *American Society of Mechanical Engineers* (ASME PTC 4.1) dan *Bureau of Energy Efficiency* (BEE) yang menyediakan metode perhitungan untuk mengetahui sumber *losses* panas yang terjadi sekaligus efisiensi *boiler* [13][14].

Penelitian terkait dengan evaluasi efisiensi *boiler* juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Ainun Zakina, mengevaluasi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT PLN Nusantara Power UPK Punagaya Unit 1 dengan

© 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

menggunakan metode tidak langsung dan *heat rate*, juga menjelaskan bahwa penurunan efisiensi *boiler* utamanya disebabkan oleh kehilangan panas dalam gas buang kering dan embun dalam bahan bakar (Zakina, 2023) [15]. Andhika Rifqi Putra Pratama dkk mengevaluasi efisiensi *boiler* tipe *coal fired drum* di PT PLN Nusantara Power UP Paiton Unit 9 menggunakan metode langsung dan tidak langsung dan menganalisis faktor kehilangan panas yang terjadi selama proses pembakaran (Pratama et al., 2026) [16]. Sandi Putra Wicaksana dkk mengevaluasi efisiensi *fire-tube boiler* di PT Petrocentral Gresik dengan menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung, juga menjelaskan bahwa selisih dari kedua metode ini dipengaruhi oleh perhitungan berbagai kemungkinan panas yang terbuang atau *heat losses* (Wicaksana et al., 2023) [17].

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah menekankan pentingnya penggunaan metode langsung dan tidak langsung dalam mengevaluasi kinerja *boiler*, sebagian besar penelitian yang ditinjau berhenti pada aspek teknis berupa nilai efisiensi termal dan identifikasi komponen kehilangan panas. Kajian yang menghubungkan perubahan efisiensi *boiler* dengan potensi penghematan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya menganalisis efisiensi *boiler* pada konfigurasi *total fuel gas* dan *mixed fuel*, tetapi juga menghitung potensi penghematan energi, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan.

Berdasarkan uraian di atas, penulis melakukan penelitian dengan judul **"Analisis Efisiensi *Boiler* 52-B-101F Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan"** Penelitian ini diharapkan akan menghasilkan perhitungan nilai efisiensi aktual dan memberikan gambaran mengenai kehilangan panas (*heat losses*) *boiler* yang dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait perawatan dan optimasi operasi lanjutan di industri.

© 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

1.2 Rumusan Masalah

1. Menganalisis pengaruh konfigurasi *total fuel gas* dan *mixed fuel* terhadap efisiensi termal serta distribusi kehilangan panas pada *Boiler* 52-B-101F.
2. Menentukan besaran penghematan bahan bakar dan penghematan biaya operasional (*cost saving*) yang dihasilkan dari jenis konfigurasi bahan bakar yang lebih optimal.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana pengaruh konfigurasi *total fuel gas* dan *mixed fuel* terhadap efisiensi termal serta distribusi kehilangan panas *Boiler* 52-B-101F?
2. Berapakah besaran penghematan bahan bakar dan penghematan biaya operasional (*cost saving*) yang dihasilkan dari jenis konfigurasi bahan bakar yang lebih optimal?

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terarah dan tidak melebar dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada *boiler* 52-B-101F di unit Utilitas PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan.
2. Perhitungan efisiensi hanya mencakup efisiensi termal bukan efisiensi keseluruhan (*Net Efficiency*).
3. Analisis difokuskan pada perhitungan efisiensi termal *boiler* menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung mengadopsi pendekatan ASME PTC 4.1 dan BEE *Standard*.
4. Konfigurasi bahan bakar yang dianalisis dibatasi pada dua kondisi operasi, yaitu 100% *fuel gas* dan *mixed fuel* dengan komposisi 75% *fuel gas* dan 25% *fuel oil*.
5. Data operasi *boiler* yang digunakan merupakan data historis dari DCS/BOC dan data pendukung dari hasil pengujian laboratorium bahan bakar. Data konfigurasi *total fuel gas* menggunakan periode 1–7 Desember 2025, sedangkan data *mixed fuel* menggunakan periode 7–13 Mei 2026.

© 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

6. Parameter yang digunakan dalam metode langsung meliputi laju aliran *steam*, laju aliran *feed water*, laju aliran bahan bakar, entalpi *steam*, entalpi *feed water*, dan nilai kalor atas (GCV/HHV) bahan bakar.
7. Perhitungan metode tidak langsung dibatasi pada komponen kehilangan panas yang relevan terhadap bahan bakar yang digunakan *boiler* 52-B-101F, yaitu:
   - kehilangan panas karena gas buang kering (L1);
   - kehilangan panas karena pembentukan air dari pembakaran hidrogen bahan bakar (L2);
   - kehilangan panas karena kelembaban bahan bakar (L3);
   - kehilangan panas karena kelembaban udara pembakaran (L4);
   - kehilangan panas karena pembakaran tidak sempurna (L5);
   - kehilangan panas karena radiasi dan konveksi (L6);
   - kehilangan panas karena *blowdown* (L7).
8. Kehilangan panas akibat *fly ash* dan *bottom ash* tidak dihitung karena bahan bakar yang digunakan pada *boiler* 52-B-101F adalah *fuel gas* dan *fuel oil*, bukan *solid fuel* seperti batubara.
9. Nilai kehilangan panas radiasi dan konveksi (L6) tidak diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, melainkan menggunakan pendekatan grafik standar ABMA karena keterbatasan alat ukur dan akses perizinan pengukuran secara manual pada area 52 (*boiler*).
10. Analisis keekonomian dibatasi pada estimasi penghematan energi, penghematan *fuel gas*, dan proyeksi penghematan biaya operasional berdasarkan harga *fuel gas* dan jam operasi efektif tahunan yang digunakan dalam penelitian.
11. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam aspek desain mekanik *boiler*, analisis kekuatan material, emisi gas buang, kontrol pembakaran, perpindahan panas detail pada masing-masing *tube*, serta evaluasi kerusakan atau umur pakai komponen *boiler*.

© 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

1.5 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh konfigurasi *total fuel gas* dan *mixed fuel* terhadap efisiensi termal serta komponen kehilangan panas L1 sampai dengan L7 pada *boiler* 52-B-101F.
2. Menghitung besaran penghematan bahan bakar dan penghematan biaya operasional yang dihasilkan dari jenis konfigurasi bahan bakar yang lebih optimal.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Bagi Perusahaan (PT Pertamina Patra Niaga RU VI Balongan):
   Memberikan informasi mengenai pengaruh konfigurasi *total fuel gas* dan *mixed fuel* terhadap efisiensi termal serta distribusi kehilangan panas *boiler* 52-B-101F sebagai pertimbangan teknis dalam menentukan konfigurasi bahan bakar yang lebih efisien.
2. Bagi Penelitian Selanjutnya:
   Memberikan informasi komprehensif mengenai perbandingan efektivitas metode langsung dan tidak langsung standar ASME PTC 4.1, serta dapat dimanfaatkan sebagai referensi literatur untuk penelitian lebih lanjut di bidang konversi energi.

1.7 Metode Penulisan

Metode penulisan skripsi ini dilakukan dengan mengumpulkan data referensi yang aktual dan valid sebagai *input* analisis. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan topik yang dikaji, serta pengambilan data operasional *boiler* (52-B-101F). Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis efisiensi *boiler* melalui perhitungan menggunakan metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*) mengadopsi pada standar ASME PTC 4.1 *Power Test Code for Steam Generating Units* [13], dan *Bureau of Energy Efficiency* (BEE) [14]. Selanjutnya, hasil evaluasi dari jenis konfigurasi bahan bakar yang optimal akan dianalisis lebih lanjut untuk menentukan besaran penghematan konsumsi bahan bakar beserta proyeksi penghematan biaya operasionalnya.

© 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

1.8 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam lima bab utama yang saling berkaitan dan runtut untuk menjawab rumusan masalah penelitian serta mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

HALAMAN SAMPUL

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

RINGKASAN

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab I ini berisikan latar belakang penulisan skripsi , tujuan penulisan, manfaat penulisan, metode penulisan, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II ini berisikan teori-teori yang menunjang untuk penyelesaian skripsi dimana sebagai dasar kajian terhadap suatu permsalahan yang menjadi topik penulisan skripsi.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada Bab III ini berisikan pemaparan mengenai metode yang digunakan dalam penyelesaian skripsi, berupa diagram alir pengerjaan skripsi dan metode untuk memecahkan masalah.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV ini berisi hasil dan pembahasan yang membahas tentang penyelesaian masalah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab V ini berisi Kesimpulan dari seluruh hasil pembahasan. Isi kesimpulan ini harus menjawab permasalahan dan tujuan yang ditetapkan dalam skripsi. Serta berisikan saran-saran yang berkaitan dengan skripsi.

© 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

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis efisiensi, perhitungan neraca panas, dan estimasi keekonomisan operasional pada *boiler* 52-B-101F, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kondisi operasi yang dianalisis, penggunaan konfigurasi *mixed fuel* menunjukkan efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi *total fuel gas*. Pada metode tidak langsung, efisiensi *boiler* meningkat dari 82,08% pada konfigurasi *total fuel gas* menjadi 82,84% pada konfigurasi *mixed fuel*, atau naik sebesar 0,76%. Komponen kehilangan panas terbesar pada kedua konfigurasi adalah kehilangan panas akibat pembentukan uap air dari pembakaran unsur hidrogen pada bahan bakar (L2). Nilai L2 pada *mixed fuel* sebesar 9,70%, angka tersebut lebih rendah dibandingkan *total fuel gas* sebesar 10,64%, sehingga terjadi penurunan sebesar 0,94%. Meskipun beberapa komponen kehilangan panas lainnya mengalami sedikit peningkatan, penurunan L2 lebih dominan sehingga total *heat loss* tetap menurun dari 17,92% menjadi 17,16%. Kondisi tersebut menyebabkan efisiensi konfigurasi *mixed fuel* tetap lebih tinggi sebesar 0,76%.
2. Konfigurasi bahan bakar yang optimal adalah *mixed fuel* (campuran 75% *fuel gas* dan 25% *fuel oil*), yang mampu meningkatkan efisiensi *boiler* menjadi 82,84% dan menurunkan kerugian panas L2 dari 10,64% menjadi 9,70%. Penerapan konfigurasi optimal ini menghasilkan besaran penghematan energi panas sebesar 2.181.025,19 kJ/jam, yang ekuivalen dengan penghematan konsumsi *fuel gas* sebanyak 43,69 kg/jam atau 375.414,03 kg/tahun. Berdasarkan waktu operasi efektif selama 8.592 jam/tahun, penghematan bahan bakar tersebut menghasilkan estimasi penghematan biaya operasional (*cost saving*) sebesar $57.795,89 USD atau setara dengan Rp 1.036.569.360 per tahun untuk satu unit *boiler* 52-B-101F.

© 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

5.2 Saran

Untuk melengkapi hasil kajian yang telah dilakukan, terdapat beberapa rekomendasi yang bisa dipertimbangkan baik untuk evaluasi internal divisi Utilitas RU VI maupun untuk pengembangan riset selanjutnya.

1. Konfigurasi *mixed fuel* sebesar 75% FG dan 25% FO dapat dipertimbangkan untuk dipertahankan karena terbukti memberikan penghematan anggaran yang signifikan. Meski demikian, penggunaan minyak bakar (*fuel oil*) umumnya memiliki kecenderungan lebih tinggi untuk menghasilkan endapan kerak (*fouling*). Oleh karena itu, rutinitas pembersihan area pembakaran atau *sootblowing* harus dijaga kedisiplinannya agar laju perpindahan panas tetap optimal dan efisiensi tidak kembali merosot dalam jangka panjang.
2. Meskipun konfigurasi *mixed fuel* terbukti menguntungkan secara finansial, proporsi pencampuran *fuel oil* harus tetap dikontrol dan tidak terlalu berlebihan. Penggunaan *fuel oil* dalam jumlah yang terlalu dominan akan sangat berisiko memicu peningkatan pembentukan *soot* (jelaga), *fouling* (endapan kerak), hingga potensi *slagging* (kerak) pada area ruang bakar (*furnace*). Mempertimbangkan batas aman risiko operasional tersebut, penulis merekomendasikan 75% *Fuel gas* dan 25% *Fuel oil* sebagai konfigurasi operasional yang ideal untuk dipertahankan. Selain itu, guna mendukung keandalan konfigurasi campuran ini, rutinitas pembersihan area pembakaran melalui prosedur *sootblowing* juga harus senantiasa dijaga kedisiplinannya agar laju perpindahan panas selalu optimal dalam jangka panjang.

© 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

DAFTAR PUSTAKA

[1] ESDM, "ESDM Kebutuhan Energi Domestik," https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/outlook-energi-indonesia.

[2] "Kelangkaan-BBM-di-Kalsel-Warga-Banjarmasin-Keluhkan-Mahalnya-Solar-di-Eceran".

[3] Make*boiler*, "Peranan Penting *Boiler*," https://www.make*boiler*.com/id/the-role-of-industrial-*boiler*s-in-power-generation-and-manufacturing/.

[4] Powerhouse, "*Boiler* Efficiency," https://www.powerhouse.com/en/*boiler*-education/*boiler*-101/*boiler*-efficiency.

[5] DB Energy PL, "*Boiler* efficiency measurements," *https://www.dbenergy.pl/en/our-services/consulting/industrial-energy-measurements/boiler-performance-measurements*.

[6] Endress+Hauser, "Optimize *boiler* efficiency in *utilities*," https://www.endress.com/en/focus-topics/manage-energy-measurement-insights/industrial-energy-heavy/*boiler*-efficiency.

[7] The Babcock & Wilcox Company, *Steam, its generation and use*. Babcock & Wilcox, 2005.

[8] Reza Aryan Saputra, "Laporan Magang Industri (Reza Aryan Saputra KE-3B)," *PT Kilang Pertamina RU VI Balongan*, 2025.

[9] *Boiler*mart, "Pentingnya Efisiensi *Boiler*," https://www.*boiler*mart.co.id/post/maksimalkan-efisiensi-*boiler*-dengan-memahami-*boiler*-stack-losses.

[10] Linquip Team, "*Boiler* Efficiency: Definition, Formula Caculation," Sep. 2021. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: https://www.linquip.com/blog/*boiler*-efficiency/

© 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

[11] Power Plant Guruji, "Describe the *indirect method* of calculating the *boiler* efficiency," https://www.powerplantguruji.in/2022/03/*boiler*-efficiency-calculation-by-*indirect*-method.html?utm_source=.

[12] N. T. Sahda, J. M. Sentosa, and L. Andhani, "Analisis Efisiensi *Boiler* menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang," *Journal of Engineering Environtmental Energy and Science*, vol. 1, no. 1, pp. 39–48, Jan. 2022, doi: 10.31599/tgptae14.

[13] American Society of Mechanical Engineers (ASME), "*Steam* Generating Unit, ASME PTC 4.1- (1964, Reaffirmed 1991)," *https://www.scribd.com/doc/261221923/ASME-PTC-4-1-Steam-Generators*, 1999.

[14] Government of India, "Bureau of Energy Efficiency Ministry of Power, ENERGY CONSERVATION GUIDELINES FOR MSME SECTOR Ministry of Power Government of India."

[15] Ainun Zakina, "Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode Tidak Langsung dan Heat Rate pada PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana Pembangkitan Punagaya 2x100 MW Unit 1," 2023.

[16] A. R. P. Pratama, E. Naryono, and N. K. Yusuf, "ANALISIS EFISIENSI *BOILER* MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG PADA PT PLN NUSANTARA POWER UP UNIT 9 KAPASITAS 660 MW," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 12, no. 1, pp. 62–71, Mar. 2026, doi: 10.33795/distilat.v12i1.7522.

[17] S. P. Wicaksana, A. Rahmatulloh, and R. Subandi, "ANALISIS EFISIENSI *BOILER* FIRE-TUBE PADA PRODUKSI STPP DI PT PETROCENTRAL GRESIK MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, pp. 258–265, Sep. 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i3.3777.

© 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

[18] Muh Rais dkk, "Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja," *Yayasan Kita Menulis*, 2024.

[19] Andianto Pintoro and A. H. Siregar, "ANALISA PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK SIKLUS RANKINE ORGANIK SEDERHANA DENGAN SUMBER PANAS UAP GEOTHERMAL BERKUALITAS RENDAH," *Jurnal Sistem Teknik Industri*, vol. 21, no. 1, Jan. 2019, doi: 10.32734/jsti.v21i1.897.

[20] L. Studi Ekskursi and P. X. Studi Ilmu Pengetahuan Alam Kelas SMA Katolik St Louis, "PENERAPAN TERMODINAMIKA DALAM PEMBANGKIT LISTRIK PT PETROKIMIA GRESIK Disusun oleh : Kelompok Fisika XI MIPA 3."

[21] T. M. Rizki, M. Ismail Yusuf, A. Hiendro, K. Hie Kwee, and J. Elektro, "ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) KETAPANG 2×1O MW."

[22] Yosua Martua Purba, "23. H41160166_LAPORAN SKRIPSI LENGKAP," *Skripsi*, 2020, Accessed: Jun. 14, 2026. [Online]. Available: file:///C:/Users/user/Downloads/Referensi%20skripsi%20new/8%20tahun%20terakhir/23.%20H41160166_LAPORAN%20SKRIPSI%20LENGKAP.pdf

[23] "water tube *boiler*," *https://savree.com/en/encyclopedia/watertube-boiler*.

[24] Scott Lanier, "Application Of Fire Tube And Water Tube *Boiler*." Accessed: May 28, 2026. [Online]. Available: https://vamosarema.com/

[25] Turbine Logic, "*Steam* Turbine," https://www.turbinelogic.com/enc/cc-gt-units/*steam*-turbine.

[26] *Steam* Turbine, "How a *Steam* Turbine Works," https://www.turbinegenerator.org/*steam*/*steam*-turbine-works/.

© 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

[27] Gordon R. Slemon, "Electric Generator," https://www.britannica.com/technology/electric-generator.

[28] TME.EU, "Electric Generator," https://www.tme.eu/en/news/library-articles/glossary/page/68964/electric-generator-definition/.

[29] Jason Rowan, "Condenser Heat Exhanger," https://enggcyclopedia.com/2023/03/condenser-heat-exchanger/.

[30] J. M. Calm, "HEAT RECOVERY IN AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION," in *Energy Conservation Measures*, Elsevier, 1984, pp. 159–169. doi: 10.1016/B978-0-08-031141-8.50015-X.

[31] PT Watermert Perkasa, "Sistem Demineralisasi Air," https://water.co.id/applications/demineralizer.

[32] Aqua Company, "Demineralizers," https://www.aquasolutionsandequipments.com/Demineralizers.html.

[33] Alir *Utilities* and Dokumen Internal Materi Anak PKL, "KONFIGURASI *UTILITIES* - MATERI ANAK PKL," 2025. Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: Materi Anak PKL

[34] SpiraxSarco Corp, "Cooling Towers," https://www.spiraxsarco.com/learn-about-*steam*/cooling-towers/what-is-a-cooling-tower.

[35] US Department of Energy, "How Cooling Tower Works," https://www.energy.gov/energysaver/cooling-towers.

[36] R. Bobby, B. Bndric005, and W. Fuls, "Modelling of the deaerator system in Flownex," 2015.

[37] S. Wang, B. Wang, S. Ding, and Y. Yu, "Modeling and analysis of deaerator using constant pressure operation strategy for SMR," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 424, p. 113206, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.nucengdes.2024.113206.

© 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

[38] Thermal Engineering, "What is Rankine Cycle," https://www.thermal-engineering.org/what-is-rankine-cycle-thermal-engineering/.

[39] Y. A. . Cengel and M. A. . Boles, *Thermodynamics : an engineering approach*. McGraw-Hill Education, 2015.

[40] D. H. Kristoko, "IMPLEMENTASI METODE INTERPOLASI LINEAR UNTUK PEMBESARAN RESOLUSI CITRA," vol. 11, No.3.

[41] "Metode Numerik – Interpolasi | Fairuz el Said." Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: https://fairuzelsaid.wordpress.com/2013/12/16/metode-numerik-interpolasi/

[42] S. C. . Chapra and R. P. . Canale, *Numerical methods for engineers*. McGraw-Hill Education, 2015.

[43] Y. A. Çengel and M. A. Boles, "GAS MIXTURES Mehmet Kanoglu Thermodynamics: An Engineering Approach 8th Edition."

[44] I. W. Joniarta, R. R. Al Buhori, and Made Wijana, "ANALISIS EFISIENSI *BOILER* CFB UNIT 3 MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DI PT PLN INDONESIA POWER OMU JERANJANG," *Energy, Materials and Product Design*, vol. 3, no. 1, pp. 156–162, May 2024, doi: 10.29303/empd.v3i1.3800.

[45] L. Safitri and T. Sriana, "ANALISIS PERFORMA KINERJA *BOILER* A MENGGUNAKAN *DIRECT METHOD* DAN *INDIRECT METHOD* PADA AREA UTILITAS," 2024.

[46] Hendra Yudisaputro, "Perhitungan Efisiensi *Boiler* (*Direct method*)," https://berbagienergi.com/perhitungan-effisiensi-*boiler-direct*-method/.

[47] M. Habibuddin, M. Anshar, and F. Firman, "Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode *Direct* dan *Indirect* pada PLTU Jeneponto 2×135 MW," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 22, no. 1, pp. 132–142, Sep. 2024, doi: 10.31963/sinergi.v22i1.5002.

© 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

[48] A. Sugiharto, "PERHITUNGAN EFISIENSI *BOILER* DENGAN METODE SECARA LANGSUNG PADA *BOILER* PIPA API."

[49] G. Tirumala Srinivas, "Efficiency of a Coal Fired *Boiler* in a Typical Thermal Power Plant," *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 2, no. 1, p. 32, 2017, doi: 10.11648/j.ajmie.20170201.15.

[50] W. Mohd Fakhri Wan Zainus and N. Kamaruzaman, "*Boiler* Efficiency Analysis Using *Direct* and *Indirect method*," 2023, pp. 721–730. doi: 10.1007/978-981-19-1457-7_55.

[51] M. Alfarisyi, A. Dharmawan, and D. Yudi Miswar, "OPTIMASI KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN BATUBARA UNTUK MENINGKATKAN KINERJA *BOILER* PLTU TANJUNG AWAR-AWAR," 2022. [Online]. Available: www.gatrik.esdm.go.id

[52] Bureau of Energy Efficiency, "BEE Standard_Energy Performance Assessment of *Boiler*s Guidebook".

[53] Bureau of Energy Efficiency, "24th NATIONAL CERTIFICATION EXAMINATION FOR ENERGY MANAGERS AND ENERGY AUDITORS – SEPTEMBER, 2024," Sep. 2024.

[54] Bureau of Energy Efficiency, "*Boiler*s Guidebook."

[55] M. Alfarisyi, A. Dharmawan, and D. Y. Miswar, "OPTIMASI KEBUTUHAN UDARA PEMBAKARAN BATUBARA UNTUK MENINGKATKAN KINERJA *BOILER* PLTU TANJUNG AWAR AWAR," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, vol. 2, no. 1, pp. 702–708, Dec. 2022, doi: 10.53026/sntem.v2i1.660.

[56] N. Alifa *et al.*, "Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja *Boiler* dengan Metode Langsung dan Tidak Langsung".

[57] M. J. Moran and H. N. Shapiro, "Fundamentals of Engineering Thermodynamics," John Wiley & Sons, Inc, 2018.

© 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

[58] M. Rochim and R. Oktaviansyah, "Perhitungan Efisiensi *Boiler* TWA dengan Metode secara Tidak Langsung," *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, vol. 6, no. 2, pp. 85–92, Nov. 2024, doi: 10.37525/mz/2024-2/610.

[59] B. A. Gunawan, B. S. Wicaksana, E. Estrada, F. S. Rickza, S. Mayang, and D. Ridwan, "STRENGTH | Jurnal Penelitian Teknik Mesin Studi Efisiensi *Boiler* Terhadap Nilai Kalor Batubara Pada *Boiler* Jenis Pulverizer Coal".

[60] Prof. Dr. Sugiono, *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dan R & D*. 2024. Accessed: Apr. 25, 2026. [Online]. Available: https://www.scribd.com/document/878869113/PDF-Buku-Metode-Penelitian-Sugiyono

[61] ABDUL GANI JAMORA NASUTION, "METODOLOGI PENELITIAN: KUALITATIF DAN KUANTITATIF," 2020.

[62] P. G. Subhaktiyasa, "Menentukan Populasi dan Sampel: Pendekatan Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif," *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 4, pp. 2721–2731, Nov. 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i4.2657.

[63] S. T. , M. E. Dr. Eng. Rizqi Fitri Naryanto, *TEKNIK PEMBAKARAN*. 2021. Accessed: Jun. 30, 2026. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/4923/1/cover%20+%20TEKNIK%20PEMBAKARAN.pdf

[64] "commodity natural gas," *https://id.investing.com/commodities/natural-gas*, Jun. 2026.

[65] Wulan Permata Hati, "LAPORAN MAGANG PT. PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT VI UNIT RCC (RESIDUE CATALYTIC CRACKING)," 2023.

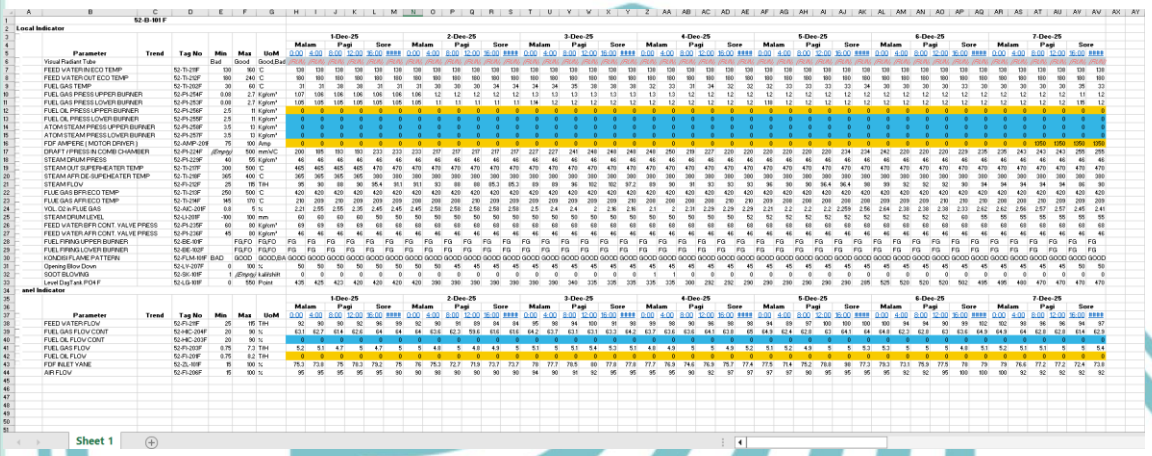
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Operasi *Boiler*

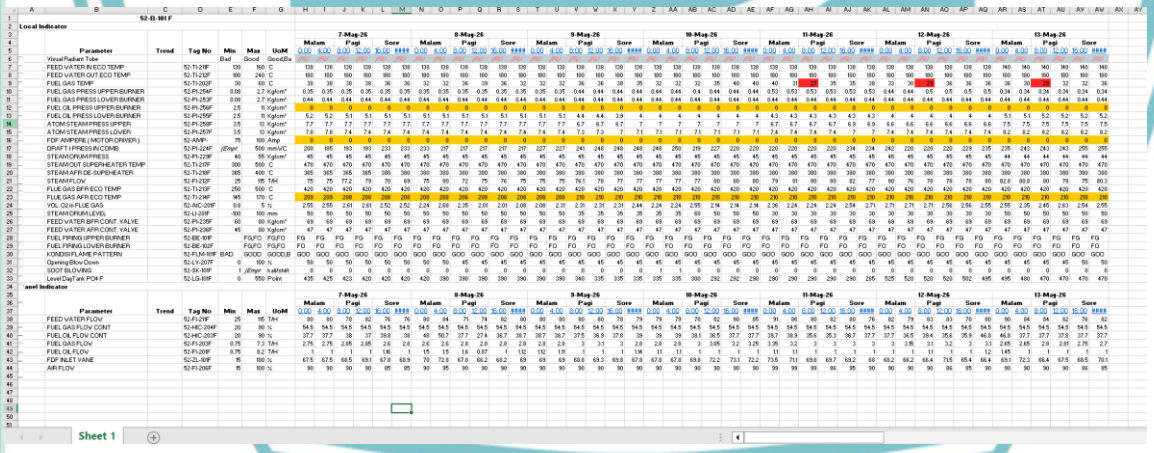
Data Operasi *Total fuel gas*



Gambar L2.1 DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 1-7 Desember 2025

Sumber: Data operasi DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 1-7 Desember 2025

Data Operasi *Mixed fuel*



Gambar L2.2 DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 7-13 Mei 2026

Sumber: Data operasi DCS/BOC *boiler* 52-B-101F periode 7-13 Mei 2026

Lampiran 2 Perhitungan Entalpi *Steam* dan *Feed Water*

a. *Enthalpy feed water total fuel gas*

T = 138 °C

P = 47 kg/cm² = 46,09 Bar

© 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

Data di atas tidak ada pada tabel A-3 *Properties of Saturated Water (Liquid Vapor)* pada buku *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS* (Michael J. Moran | Howard N. Shapiro) hal.737. Maka, kita akan melakukan interpolasi linear dengan data sebagai berikut:

P_low = 45 Bar

P_high = 50 Bar

h_low = 1121,9 kJ/kg

h_high = 1154,2 kJ/kg

$$h = h_{low} + \frac{(P - P_{low})}{(P_{high} - P_{low})}\left(h_{high} - h_{low}\right)$$

$$h = 1121{,}9 + \frac{(46{,}09 - 45)}{(50 - 45)}(1154{,}2 - 1121{,}9)$$

$$h = 1128{,}95$$

b. *Enthalpy steam total fuel gas*

T = 470 °C

P = 46 kg/cm² = 45,11 Bar

Data di atas tidak ada pada tabel A-4 *Properties of Superheated Water* pada buku *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS* (Michael J. Moran | Howard N. Shapiro) hal.739. Maka, kita akan melakukan interpolasi bilinear dengan data sebagai berikut:

- P_{low} = 40 Bar
- T_{low} = 440 °C
- T_{high} = 500 °C
- h_{low} = 3307,1 kJ/kg
- h_{high} = 3445,3 kJ/kg

- P_{high} = 60 Bar
- T_{low} = 440 °C
- T_{high} = 500 °C
- h_{low} = 3277,3 kJ/kg
- h_{high} = 3422,2 kJ/kg

$$h_{P=40} = h_{low} + \frac{T_a - T_{low}}{T_{high} - T_{low}}\left(h_{high} - h_{low}\right)$$

$$= 3307{,}1 + \frac{467 - 440}{500 - 440}(3445{,}3 - 3307{,}1)$$

$$= 3369{,}29\ kJ/kg$$

$$h_{P=60} = h_{low} + \frac{T_a - T_{low}}{T_{high} - T_{low}}\left(h_{high} - h_{low}\right)$$

© 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

$$= 3277{,}3 + \frac{467-440}{500-440}(3422{,}2 - 3277{,}3)$$

$$= 3342{,}51\ kJ/kg$$

$$h_a = h_{P=40} + \frac{P_a - P_{low}}{P_{high} - P_{low}}(h_{P=60} - h_{P=40})$$

$$= 3369{,}29{,}2 + \frac{45{,}11-40}{60-40}(3342{,}51 - 3369{,}29)$$

$$= 3362{,}45\ kJ/kg$$

c. *Enthalpy feed water mixed fuel*

T = 138 °C

P = 47 kg/cm² = 46,09 Bar

Data di atas tidak ada pada tabel A-3 *Properties of Saturated Water (Liquid Vapor)* pada buku *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS* (Michael J. Moran | Howard N. Shapiro) hal.737. Maka, kita akan melakukan interpolasi linear dengan data sebagai berikut:

P_low = 45 Bar

P_high = 50 Bar

h_low = 1121,9 kJ/kg

h_high = 1154,2 kJ/kg

$$h = h_{low} + \frac{(P - P_{low})}{(P_{high} - P_{low})}(h_{high} - h_{low})$$

$$h = 1121{,}9 + \frac{(46{,}09-45)}{(50-45)}(1154{,}2 - 1121{,}9)$$

$$h = 1128{,}95$$

d. *Enthalpy steam mixed fuel*

T = 470 °C

P = 45 kg/cm² = 44,13 Bar

Data di atas tidak ada pada tabel A-4 *Properties of Superheated Water* pada buku *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS* (Michael J. Moran | Howard N. Shapiro) hal.739. Maka, kita akan melakukan interpolasi bilinear dengan data sebagai berikut:

© 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

- P_{low} = 40 Bar
- T_{low} = 440 °C
- T_{high} = 500 °C
- h_{low} = 3307,1 kJ/kg
- h_{high} = 3445,3 kJ/kg

- P_{high} = 60 Bar
- T_{low} = 440 °C
- T_{high} = 500 °C
- h_{low} = 3277,3 kJ/kg
- h_{high} = 3422,2 kJ/kg

$$h_{P=40} = h_{low} + \frac{T_a - T_{low}}{T_{high} - T_{low}}\left(h_{high} - h_{low}\right)$$

$$= 3307{,}1 + \frac{470-440}{500-440}(3445{,}3 - 3307{,}1)$$

$$= 3376{,}2\ kJ/kg$$

$$h_{P=60} = h_{low} + \frac{T_a - T_{low}}{T_{high} - T_{low}}\left(h_{high} - h_{low}\right)$$

$$= 3277{,}3 + \frac{470-440}{500-440}(3422{,}2 - 3277{,}3)$$

$$= 3349{,}75\ kJ/kg$$

$$h_a = h_{P=40} + \frac{P_a - P_{low}}{P_{high} - P_{low}}\left(h_{P=60} - h_{P=40}\right)$$

$$= 3376{,}2 + \frac{44{,}13-40}{60-40}(3349{,}75 - 3376{,}2)$$

$$= 3370{,}74\ kJ/kg$$

Lampiran 3 Perhitungan Metode Langsung

a. Perhitungan Metode Langsung *Total fuel gas*

- **Laju aliran massa**

• $\dot{M}_{steam}$	= 91,6 T/h	= 91.600 kg/h
• $\dot{M}_{feedwater}$	= 93,167 T/h	= 93.167 kg/h
• $\dot{M}_{fuel\ gas}$	= 4,95 T/h	= 4.950 kg/h

- ***High Heating Value* (HHV) *fuel gas***

Gross Heating Value (GHV) = (HHV) = 984 btu/cuft

$$\rho fuel\ gas = \frac{Molecular\ Weight\ (\text{gr/mole})}{V\ spesifik\ gas\ ideal\ (\text{cuft})} = \frac{17{,}40}{379{,}48} = 0{,}045852\ \text{lb/cuft}$$

$$btu/cuft\ to\ btu/lb = \frac{HHV\ (\text{btu/cuft})}{\rho fuel\ gas\ (\text{lb/cuft})} = \frac{984}{0{,}045852} = 21.460{,}25\ \text{btu/lb}$$

© 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

HHV FG = 21.460,25 btu/lb x 2.326 kJ/kg = 49.916,54 kJ/kg

- **Kalor pembentukan *steam***

  $Q_{steam} = Q_{steam} - Q_{fw}$

  $= (\dot{M}_{steam} \text{ x } h_s) - (\dot{M}_{feed\ water} \text{ x } h_{fw})$

  = (91.600 x 3.362,45) – (93.167 x 1.128,95)

  = 202.819.535 kJ/h

- **Kalor *fuel gas***

  $Q_{FG} = (\dot{M}_{fuel\ gas} \text{ x } HHV_{fuel\ gas})$

  = (4.950 x 49.916,54)

  = 247.086.873 kJ/h

- **Efisiensi**

  $\eta = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel\ as}} \times 100\%$

  $= \frac{202.819.535 \text{ kJ/h}}{247.086.873 \text{ kJ/h}} \times 100\%$

  = 82,08%

b. Perhitungan Metode Langsung *Mixed fuel*

- **Laju aliran massa**
  - $\dot{M}_{steam}$ = 74,2 T/h = 74.200 kg/h
  - $\dot{M}_{feed\ water}$ = 78,667 T/h = 78.667 kg/h
  - $\dot{M}_{fuel\ gas}$ = 2,767 T/h = 2.767 kg/h
  - $\dot{M}_{fuel\ oil}$ = 1,027 T/h = 1.027 kg/h

- ***High Heating Value* (HHV) *fuel gas***

  High Heating Value (HHV) = 984 btu/cuft

  $\rho\ fuel\ gas = \frac{Molecular\ Weight\ (\text{gr/mole})}{V\ spesifik\ gas\ ideal\ (\text{cuft})} = \frac{17,40}{379,48}$ = 0,045852 lb/cuft

  $btu/cuft\ to\ btu/lb = \frac{HHV\ (\text{btu/cuft})}{\rho fuel\ gas\ (\text{lb/cuft})} = \frac{984}{0,045852}$ = 21.460,25 btu/lb

  HHV FG = 21.460,25 btu/lb x 2.326 kJ/kg = 49.916,54 kJ/kg

- ***High Heating Value* (HHV) *fuel oil***

  High Heating Value (HHV) = 19557 btu/lb

  1 btu/lb = 2,326 kJ/kg

  E kJ/kg = 19557 btu/lb x 2,326 kJ/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

= 45.489,58 kJ/kg

- **Kalor pembentukan *steam***

$Q_{steam} = Q_{steam} - Q_{fw}$

$= (\dot{M}_{steam} \text{ x } h_s) - (\dot{M}_{feed\ water} \text{ x } h_{fw})$

= (74.200 x 3370,74) – (78.667 x 1.128,95)

= 161.297.798 kJ/h

- **Kalor *fuel***

$Q_{fuel} = (\dot{M}_{fuel\ gas} \text{ x } HHV_{fuel\ gas}) + (\dot{M}_{fuel\ oil} \text{ x } HHV_{fuel\ oil})$

= (2.767 x 49.916,54) + (1.027 x 45.489,58)

= 184.836.865 kJ/h

- **Efisiensi**

$$\eta = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel\ as}} \times 100\%$$

$$= \frac{161.297.798 \text{ kJ/h}}{184.836.865 \text{ kJ/h}} \times 100\%$$

= 87,26%

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

Lampiran 4 Perhitungan Karakteristik Bahan Bakar *Fuel gas*

Berdasarkan hasil uji laboratorium, data komposisi *Fuel gas* (FG) diperoleh dalam bentuk persentase mol (% mol). Untuk keperluan perhitungan efisiensi *boiler* metode tidak langsung mengadopsi standar ASME PTC 4.1 yang perhitungannya menggunakan basis massa (kg/kg), tahap pertama yang harus dilakukan adalah membuktikan dan menghitung total berat molekul (BM) dari gas terlampir.

Data komposisi awal dibagi dengan 100 untuk mendapatkan nilai fraksi mol dalam bentuk desimal. Selanjutnya, fraksi mol dikalikan dengan berat molekul (BM) dari masing-masing senyawa penyusunnya.

SUMMARY OF SAMPLE

PERTAMINA PATRA NIAGA

Sampled Date	: 5/11/2026 9:00:00AM	Reviewed By	: ARIS
Sample Number	: 7815390	Customer	:
Sampling Point	: 62_GAS_62_V_101	Process Unit	: HTU
Lab Section	: GAS_RU6	Plant	: HTU_GO
Received By	: WAHYU.ARDIANTO	Product	: HTU_GAS
Sample Name	:		

Analysis		Units	Limits	Methods	Results
Comp	Specific Gravity Calc.	-	Reported	UOP 539	0.6006
	Hydrogen.	% mol	Reported		36.30
	Oxygen/Argon.	% mol	Reported		0.00
	Nitrogen.	% mol	Reported		3.22
	Carbon Monoxide.	% mol	Reported		0.45
	Carbon Dioxide.	% mol	Reported		2.41
	Methane.	% mol	Reported		37.23
	Ethane.	% mol	Reported		6.13
	Ethylene.	% mol	Reported		4.65
	Propane.	% mol	Reported		3.01
	Propylene.	% mol	Reported		0.73
	Iso Butane.	% mol	Reported		1.17
	n-Butane.	% mol	Reported		2.43
	1-Butene.	% mol	Reported		0.00
	Iso Butene.	% mol	Reported		0.00
	Trans-2-Butene.	% mol	Reported		0.00
	Cis-2-Butene.	% mol	Reported		0.00
	1,3 Butadiene.	% mol	Reported		0.00
	Iso Pentane.	% mol	Reported		1.18
	n-Pentane.	% mol	Reported		0.45
	Hexane&heavier.	% mol	Reported		0.64
	Molecular Weight	gr/mole	Reported		17.40
	Net Heating Value	btu/cuft	Reported		891
	Gross Heating Value	btu/cuft	Reported		984
	Hydrogen Sulfide	% Vol	Reported		0.000
	Ammonia	% Vol	Reported		0.000
H2S		ppm	Reported	BY DRAGGER	10.0

Gambar L5.1 Hasil uji laboratorium *fuel gas* yang digunakan *boiler unit* A-F

© 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

a. Validasi Berat Molekul (*Molecular Weight*)

Tabel L5.1 Validasi angka *molecular weight* 14,40

Komponen Gas	Fraksi Mol	BM Presisi	Fraksi Mol x BM
Hydrogen (H2)	0,363	2,016	0,732
Nitrogen (N2)	0,0322	28,013	0,902
Carbon Monoxide (CO)	0,0045	28,01	0,126
Carbon Dioxide (CO2)	0,0241	44,01	1,061
Methane (CH4)	0,3723	16,043	5,973
Ethane (C2H6)	0,0613	30,07	1,843
Ethylene (C2H4)	0,0465	28,054	1,305
Propane (C3H8)	0,0301	44,097	1,327
Propylene (C3H6)	0,0073	42,081	0,307
iso Butane (C4H10)	0,0117	58,123	0,680
n-Butane (C4H10)	0,0243	58,123	1,412
iso Pentane (C5H12)	0,0118	72,15	0,851
n-Pentane (C5H12)	0,0045	72,15	0,325
Hexane & Heavier (C6H14+)	0,0064	86,177	0,552
Total	1		**17,396**

Berdasarkan hasil perhitungan pembuktian stoikiometri pada tabel di atas, diperoleh nilai total berat molekul sebesar 17,396 kg/kmol. Nilai ini memiliki toleransi pembulatan yang sangat kecil dan relevan dengan nilai *Molecular Weight* aktual yang dirilis pada laporan resmi laboratorium kilang, yaitu sebesar 17,40 kg/kmol. Oleh karena itu, nilai 17,40 kg/kmol digunakan sebagai acuan parameter pada perhitungan selanjutnya [63].

b. Perhtungan Total Mol Hidrogen

Langkah selanjutnya adalah menghitung total mol hidrogen, baik yang tercantum maupun yang terkandung di dalam senyawa hidrokarbon *fuel gas*. Hasil analisis ini digunakan untuk keperluan rumus L1 dan L2.

Untuk senyawa dengan rumus molekul yang sama (seperti *isoButane* dengan *n-Butane*, serta *isoPentane* dengan *n-Pentane*), nilai fraksi molnya dijumlahkan terlebih dahulu. Rincian perhitungan ekstraksi mol gas hidrogen [63] disajikan pada Tabel L5.2.

© 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

Tabel L5.2 Ekstraksi gas hidrogen (*mole*)

Komponen Gas	Fraksi Mol	Pengali	Mol H2 yang dihasilkan
Hydrogen (H2)	0,363	1	0,363
Methane (CH4)	0,3723	2	0,7446
Ethane (C2H6)	0,0613	3	0,1839
Ethylene (C2H4)	0,0465	2	0,093
Propane (C3H8)	0,0301	4	0,1204
Propylene (C3H6)	0,0073	3	0,0219
Butane Group (C4H10)	0,036	5	0,18
Pentane Group (C5H12)	0,0163	6	0,0978
Hexane & Heavier (C6H14+)	0,0064	7	0,0448
Total			**1,8494**

Berdasarkan Tabel L5.2, diperoleh total mol gas hidrogen yang bereaksi adalah sebesar 1,8494 mol H_2/mol fuel. Mengacu pada prinsip dasar stoikiometri reaksi pembakaran gas hidrogen pembentuk uap air ($H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$). Jumlah mol H2 haruslah sama dengan jumlah mol H_2O. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jumlah mol uap air (H_2O) yang dihasilkan dari pembakaran 1 mol hidrogen *Fuel gas* adalah ekuivalen, yaitu sebesar 1,8494 mol H_2O/mol fuel.

c. Konversi Massa Uap Air (M H_2O)

Perhitungan efisiensi *boiler* (*heat loss method*) dengan mengadopsi standar ASME PTC 4.1 mempersyaratkan seluruh variabel perhitungan untuk dikonversi ke dalam basis massa, yaitu dalam satuan kg/kg bahan bakar. Oleh karena itu, besaran rasio mol uap air yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya harus dikonversi menjadi berbasis massa. Konversi dilakukan dengan cara mengalikan total mol hidrogen dengan rasio antara berat molekul air (18) dan total berat *molecular weight* (MW) campuran gas hasil laboratorium (tabel L5.1). Persamaan matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Massa } H_2O = \text{Total Mol } H_2O \times \left(\frac{\text{MR } H_2O}{\text{MW Campuran Gas}}\right)$$

Melalui proses persamaan di atas, maka diperoleh massa uap air sisa pembakaran (kg H_2O/kg *fuel*) sebagai berikut:

© 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

Massa $H_2O = 1{,}8494 \times \left(\frac{18}{17{,}4}\right)$

= **1,9132 kg H_2O/kg *fuel***

d. Penetapan Massa H_2 per Kilogram Fuel

Untuk mengetahui fraksi massa hidrogen murni (H_2) sebelum dibakar berdasarkan massa uap air (M H_2O) hasil reaksi pembakaran, perhitungan didasarkan pada prinsip stoikiometri kimia. Secara kesetimbangan massa, pembakaran 1 kg hidrogen murni akan selalu bersenyawa dengan 8 kg oksigen dan menghasilkan tepat 9 kg uap air. Oleh karena itu, besarnya kandungan hidrogen mentah di dalam bahan bakar dapat dihitung secara *reverse engineering* dengan membagi total massa uap air dengan konstanta 9, sesuai dengan persamaan berikut:

$$H_2 = \frac{m_{H_2O}}{9}$$

$$= \frac{1{,}9132}{9}$$

= **0,21257 kg H_2/kg fuel**

e. Perhitungan Total Mol Karbon

Setelah menghitung total mol hidrogen, selanjutnya adalah menghitung total mol karbon yang terkandung pada data mentah *fuel gas*. Hasil analisis ini nantinya digunakan untuk keperluan rumus L5 (kehilangan panas akibat pembakaran tidak sempurna).

Berbeda dengan ekstraksi hidrogen yang hanya berfokus pada senyawa hidrokarbon, ekstraksi karbon juga harus melibatkan senyawa oksida karbon seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) yang terkandung di dalam data mentah hasil uji laboratorium [63].

Tabel L5.3 Ekstraksi karbon (*mole*)

Nama gas	Fraksi mol	jumlah atom C (Pengali)	Mol C yang dihasilkan
Carbon Monoxide (CO)	0,0045	1	0,0045
Carbon Dioxide (CO2)	0,0241	1	0,0241
Methane (CH4)	0,3723	1	0,3723
Ethane (C2H6)	0,0613	2	0,1226

© 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

Nama gas	Fraksi mol	jumlah atom C (Pengali)	Mol C yang dihasilkan
Ethylene (C2H4)	0,0465	2	0,093
Propane (C3H8)	0,0301	3	0,0903
Propylene (C3H6)	0,0073	3	0,0219
Butane Group (C4H10)	0,036	4	0,144
Pentane Group (C5H12)	0,0163	5	0,0815
Hexane & Heavier (C6H14+)	0,0064	6	0,0384
Total			**0,9926**

f. Konversi Massa Karbon (M C)

Agar hasil pada tabel L5.3 dapat diaplikasikan ke dalam rumus kehilangan panas metode tidak langsung (*heat loss method*) dengan mengadopsi standar ASME PTC 4.1, satuan basis mol harus dikonversi menjadi basis massa (kg karbon per kg bahan bakar). Konversi dilakukan dengan cara mengalikan total mol karbon dengan rasio antara berat atom karbon murni (12) dan total berat *molecular weight* (MW) campuran gas hasil laboratorium (tabel L5.1). persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Massa C} = \text{Total Mol C} \times \left(\frac{\text{MR C}}{\text{MW Campuran Gas}}\right)$$

Melalui proses persamaan di atas, maka diperoleh massa Karbon di dalam *fuel gas* (kg C/kg *fuel*) sebagai berikut:

$$\text{Massa C} = 0{,}9926 \times \left(\frac{12}{17{,}40}\right)$$

= **0,68455 kg C/kg *fuel***

g. Nilai Kalor (HHV) *Fuel gas*

High Heating Value (HHV) = 984 btu/cuft

$$\rho\ fuel\ gas = \frac{Molecular\ Weight\ (\text{gr}/mole)}{V\ spesifik\ gas\ ideal\ (\text{cuft})} = \frac{17{,}40}{379{,}48} = 0{,}045852\ \text{lb/cuft}$$

$$btu/cuft\ to\ btu/lb = \frac{HHV\ (\text{btu/cuft})}{\rho fuel\ gas\ (\text{lb/cuft})} = \frac{984}{0{,}045852} = 21.460{,}25\ \text{btu/lb}$$

$$HHV\ FG\ (kJ/kg) = 21.460{,}25\ \text{btu/lb} \times 2.326\ kJ/kg = \mathbf{49.916{,}54\ kJ/kg}$$

© 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 5 Perhitungan Karakteristik Bahan Bakar *Fuel oil*

Berbeda dengan *Fuel gas*, data komposisi bahan bakar cair (*Fuel oil*) dari hasil uji laboratorium telah disajikan secara langsung dalam basis massa (% berat). Untuk keperluan perhitungan efisiensi *boiler* standar ASME PTC 4.1 bagian 2 tentang metode *heat loss* ,data *ultimate analysis* tersebut dalam (%Wt) hanya perlu dibagi 100 untuk mendapatkan nilai dalam bentuk (kg/kg). Gambar L6.1 terlampir sebagai berikut:

PT. PERTAMINA PATRA NIAGA
REFINERY UNIT VI - LABORATORY
Jalan Raya Balongan KM.9 - Indramayu - Jawa Barat - 45217
Telp. (0234) 5256278 facs. (0234) 428183

TANK SHEET REPORT
Report No. : 03055/KPI49240/TS/2026- S2

Tank No. : 62T201B
Grade : FUEL OIL
Order : 0701/KPI49132/IPP/V/2026-S2
Level : 11245 mm

Analysis	Units	Comp	Upper	Middle	Lower	Bottom Tegak	Analyzed By
Date / Time		**2026-05-10 / 22:00**					
API Gravity at 60 °F	-	20.4					AIDIL.SIREGAR
Ash Content	%m/m	0.035					AIDIL.SIREGAR
Density at 15 °C	kg/m³	930.9					AIDIL.SIREGAR
High Heating Value	btu/lb	19557					AIDIL.SIREGAR
Kinematic Viscosity at 100 °C	mm²/s	25.05					AIDIL.SIREGAR
Kinematic Viscosity at 50 °C	mm²/s	175.1					AIDIL.SIREGAR
Low Heating Value	btu/lb	18303					AIDIL.SIREGAR
Specific Gravity at 60/60 °F	-	0.9314					AIDIL.SIREGAR
Sulfur Content	% Wt	0.3573					AIDIL.SIREGAR
Water Content	% v/v	0.30					AIDIL.SIREGAR
Hydrogen Content	% Wt	12.52					AIDIL.SIREGAR
Carbon Content	% Wt	87.0877					AIDIL.SIREGAR

Sampler	Sulintan
Supervisor Approval	Suyudi Wibowo
Batch Number	-
Remark	Sample Fuel Oil
Shift	B / S2

Sample Volume : 1 Gallon
Sampling Method : ASTM D-4057

Sampling & Safety Tools :
- [V] PPE (APD)
- [V] Weighted Bottle (Gayung)
- [V] Sample Can (Kaleng/Cylinder Gas)
- [V] Label
- [V] Patchwork (Majun)
- [V] Stationary (Alat Tulis)

Weather Conditions :
- [ ] Sunny
- [ ] Rainy
- [ ] Cloudy
- [ ] Drizzly
- [V] Bright
- [ ] Windy

Page 1 of 1
Printed By : UTL
Print Date : 2026-05-13

-- This document is valid without signature, printed from Laboratory Information Management System (LIMS) --

Created By : Suyudi Wibowo

Gambar L6.1 Hasil uji laboratorium *fuel oil* yang digunakan *boiler unit* A&F

a. Konversi Massa Uap Air (H_2O)

Bahan bakar cair mengandung unsur hidrogen murni sebesar 12,52% berat. Berdasarkan prinsip kesetimbangan kimia, ketika hidrogen

© 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

terbakar sempurna dengan oksigen, reaksi akan membentuk senyawa uap air sesuai persamaan $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$

Secara rasio, basis massa (*mass balance*) menurut Hukum Lavoisier: "Massa zat sebelum reaksi sama dengan massa zat sesudah reaksi." Pembakaran 1 kg gas hidrogen akan bereaksi dengan 8 kg gas oksigen dari udara untuk menghasilkan total 9 kg uap air (H_2O). Oleh karena itu, konversi massa uap air sisa pembakaran diperoleh dengan mengalikan fraksi massa hidrogen awal dengan konstanta pembentukan uap air oleh pembakaran hidrogen (9), sesuai dengan persamaan berikut:

Massa H_2O = 9 x Massa H_2

= 9 x 0,152

= $\mathbf{1,1268\ kg\ H_2O/kg\ fuel}$

Tidak lupa, bahan bakar ini juga memiliki kandungan air bawaan (*water content*) sebesar 0,30% v/v. Karena parameter tersebut menggunakan basis volume (v/v), nilainya perlu dikonversi ke dalam basis massa (kg/kg) agar setara. Konversi dilakukan menggunakan pendekatan rasio massa jenis standar air (ρ_{air}= 1000 kg/m^3) terhadap massa jenis aktual bahan bakar (ρ_{fuel}= 930,9 kg/m^3), dengan persamaan:

$$\text{Massa Air Bawaan} = \frac{\text{Fraksi vol air} \times \rho_{air}}{\rho_{fuel}}$$

$$= \frac{0,003 \times 1000}{930,9}$$

$$= \mathbf{0,003223\ kg\ H_2O/kg\ \textit{fuel}}$$

Total uap air aktual diakumulasikan dari penjumlahan massa air reaksi dan massa air bawaan:

Total H_2O = 1,1268 + 0,003223 = 1,130023 kg H_2O/kg *fuel*

Tidak lupa, bahan bakar ini juga memiliki kandungan abu (*ash*) sebesar 0,00035 kg *ash*/kg *fuel*, maka untuk nilai pengurang M pada L1 diakumulasikan menjadi:

1,1268 + 0,003223 + 0,00035 = **1,130373 kg/kg fuel**

© 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 akumulasi sebesar 1,130373 kg/kg *fuel* ini ditetapkan sebagai parameter akhir pengurang untuk *dry flue gass*. Inilah yang akan diaplikasikan langsung pada perhitungan Bab 4 untuk mengkalkulasi persentase kehilangan panas sebagai faktor pengurang nilai M pada L1.

b. Penetapan Fraksi Massa Karbon (C)

Berbeda dengan bahan bakar gas yang memerlukan perhitungan ekuivalen massa dari masing-masing unsur hidrokarbon penyusunnya, nilai massa karbon (C) pada bahan bakar cair telah terukur secara spesifik dan langsung melalui uji laboratorium (basis fraksi massa).

Berdasarkan hasil *ultimate analysis* yang telah dikoreksi (penyesuaian terhadap *ash content*), kandungan karbon pada sampel *fuel oil* adalah sebesar 87,0877% berat. Untuk memenuhi standar satuan pada persamaan termodinamika *heat loss*, nilai persentase tersebut dikonversi menjadi fraksi massa murni (kg/kg) dengan cara membagi 100 nilai kandungan karbon tersebut.

$$C = \frac{87{,}0877}{100}$$

= **0,870877 kg C/kg *fuel***

Nilai fraksi karbon sebesar 0,870877 kg/kg fuel ini ditetapkan sebagai parameter konstan. Nilai ini akan diaplikasikan secara langsung pada perhitungan stoikiometri kebutuhan oksigen murni teoritis untuk karbon, serta digunakan sebagai variabel utama pada perhitungan persentase kehilangan panas akibat pembakaran yang tidak sempurna (*Unburned Combustible Loss*/L5).

c. HHV *Fuel oil*

High Heating Value (HHV) = 19557 btu/lb

1 btu/lb = 2,326 kJ/kg

E kJ/kg = 19557 btu/lb x 2,326 kJ/kg

= **45.489,58 kJ/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 6 Perhitungan Metode Tidak Langsung

a. Perhitungan *Heat loss Total fuel gas*

13. Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis

Dari komposisi massa *fuel gas*:

C = 0,684551724 kg/kg fuel = 68,4551724 %Wt

H = 0,212574713 kg/kg fuel = 21,2574713 %Wt

O = 0,048459770 kg/kg fuel = 4,8459770 %Wt

S = 0 kg/kg fuel = 0 %Wt

$$TA = \frac{(11{,}43\times C)+34{,}5\left(H-\frac{O}{8}\right)+(4{,}32\times S)}{100}$$

$$= \frac{(11{,}43\times 68{,}4551724)+34{,}5\left(21{,}2574713-\frac{4{,}8459770}{8}\right)+(4{,}32\times 0)}{100}$$

$$= \mathbf{14{,}94927\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

14. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{\%O_2}{21-\%O_2}\times 100\%$$

$$= \frac{2{,}55}{21-2{,}55}\times 100\%$$

$$= \mathbf{13{,}821138\%}$$

15. Perhitungan *Actual Air Supply*

$$AAS = \left(1+\frac{EA}{100}\right)\times TA$$

$$= \left(1+\frac{13{,}821138}{100}\right)\times 14{,}949271$$

$$= \mathbf{17{,}015430\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

16. Perhitungan Cp_f

a. Konversi nilai CO dari data gas buang (132,5 mg/Nm^2) ke (%)

MW CO = MW C + MW O

MW CO = 12,01 + 16

MW CO = 28,01 g/mol

$$1\text{ ppm CO} = \frac{MW\ CO}{22{,}4}$$

$$= \frac{28{,}01}{22{,}4}$$

1 ppm CO = 1,250446 mg/Nm^3

© 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

CO_{ppm} $= \frac{132,5}{1,250446}$

CO_{ppm} = 105,962156 ppm

% CO $= \frac{CO_{ppm}}{10.000}$

$= \frac{105,962156}{10.000}$

% CO = **0,0105962%**

b. Temperatur gas buang

T_f = 209°C + 273,15 = 482,15 K

c. Komposisi gas buang

$N_2 = 100 – (O_2+CO_2+CO)$

$= 100 – (7,6+7,5+0,0105962)$

N_2 = 84,889404%

d. Massa total

$M_{komponen} = y_i \times MW_i$

M O_2 = 7,6 x 32 = 243,2

M CO_2 = 7,5 x 44 = 330

M CO = 0,0105962 x 28,01 = 0,2968

M N_2 = 84,889404×28 = 2.376,903306

M_{total} = 243,2+330+0,2968+2.376,903306

M_{total} = 2.95+0,400106

e. Fraksi massa komponen

Fraksi $M_{komponen} = \frac{M_i}{M_{total}}$

Fraksi O_2 $= \frac{243,2}{2.940,400106}$ = 0,0824295

Fraksi CO_2 $= \frac{330}{2.940,400106}$ = 0,1118492

Fraksi CO $= \frac{0,2968}{2.940,400106}$ = 0,0001006

Fraksi N_2 $= \frac{2.376,903306}{2.940,400106}$ = 0,8056207

f. Interpolasi nilai Cp

$C_p = C_{p,low} + \frac{T_{aktual}-T_{low}}{T_{high}-T_{low}} \; x \; (C_{p,high} - C_{p,low})$

© 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

Keterangan:

- C_p = Nilai kalor spesifik aktual yang dicari
- $C_{p,low}$ = Nilai kalor spesifik pada batas suhu bawah tabel
- $C_{p,high}$ = Nilai kalor spesifik pada batas suhu atas tabel
- T_{aktual} = Temperatur aktual yang terukur di lapangan (482,15 K)
- T_{low} = Temperaturbatas bawah berdasarkan tabel (450 K)
- T_{high} = Temperatur batas atas berdasarkan tabel (500 K)

Hasil interpolasi pada temperatur 482,15 K

C_pO_2 = 0,969501 kJ/kg K

C_pCO_2 = 1,001148 kJ/kg K

C_pCO = 1,059787 kJ/kg K

C_pN_2 = 1,053501 kJ/kg K

g. Kalor spesifik gas buang

$C_{pf} = \sum Fraksi_i C_{p,i}$

Cp_f = (0,0824295 x 0,969501) + (0,1118492 x 1,001148) + (0,0001006 x 1,059787) + (0,8056207 x 1,053501)

Cp_f = **1,04072 kJ/kg K**

17. Perhitungan Massa Gas Buang Kering (M L1)

Massa air hasil pembakaran hidrogen *fuel gas*:

M H_2O = **1,91317 kg H2O/kg fuel** (Lampiran 5)

Karena *fuel gas* tidak mengandung air bawaan dan abu, sehingga:

Moist = 0, ash = 0

$$M = 1 + AAS - (M_{9H} + M_{H2Ofuel} + M_{ash})$$

$$= 1 + AAS - (1{,}91317 + 0 + 0)$$

M = **16,10226 kg/kg fuel**

18. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Gas Buang Kering (L1)

$$L_1 = \frac{M \, x \, C_{pf} (T_f - T_a)}{HHV_{FG}} \times 100\%$$

$$L_1 = \frac{16{,}10226 \times 1{,}04072 \times (209-32)}{49.916{,}54} \times 100\%$$

© 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

L1 = 5,94224%

19. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Pembakaran Hidrogen (L2)

a. Konversi kalor spesifik *steam*

Cp_s = 0,45 x 4,184 = 1,8828 kJ/kg°C

b. Konversi panas laten penguapan

h_{vap} = 584 x 4,184 = 2.443,456 kJ/kg

c. Perhitungan L2

$$L_2 = \frac{m_{9H}\,[h_{vap}+C_{ps}(T_f-T_a)]}{HHV_{FG}} \times 100\%$$

$$L_2 = \frac{1{,}91317\,[2.443{,}456+1{,}8828(209-32)]}{49.916{,}54} \times 100\%$$

L2 = 10,64242%

20. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Kelembaban Bahan Bakar (L3)

Karena *fuel gas* tidak memiliki kelembaban , $M_{H2O,FG}$ = 0

$$L_3 = \frac{M_{H_2O,FG}\,[h_{vap}+C_{ps}(T_f-T_a)]}{HHV_{FG}} \times 100\%$$

$$L_3 = \frac{0[2.443{,}456+1{,}8828(209-32)]}{49.916{,}54} \times 100\%$$

L3 = 0%

21. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Kelembaban di Udara (L4)

- *Humidity ratio* berdasarkan keterangan pembimbing industri dan divalidasi oleh penelitian Wulan Permata Hati (2023) [65] rasio kelembaban rata-rata di Kilang RU VI Balongan Indramayu adalah 0,024 kg air/kg udara

$$L_4 = \frac{AAS \times Humidity \times C_{ps}\,(T_f-T_a)}{HHV_{FG}} \times 100\%$$

$$L_4 = \frac{17{,}015430 \times 0{,}024 \times 1{,}8828 \times (209-32)}{49.916{,}54} \times 100\%$$

L4 = 0,272639%

22. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Pembakaran Tidak Sempurna (L5)

a. C_{FG} = 0,684551724 kg C/kg *fuel* (Lampiran 5)

b. Konversi selisih entalpi pembakaran karbon:

Δh_c : 5.744 kCal/kg = 5.744 × 4,184 = 24.032,896 kJ/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

c. $L_5 = \frac{\%CO \times C \times \Delta hc}{(\%CO + \%CO_2) \times HHV_{FG}} \times 100\%$

$L_5 = \frac{0{,}0105962 \times 0{,}684551724 \times 24.032{,}89}{(0{,}0105962 + 7{,}5) \times 49.916{,}54} \times 100\%$

$\mathbf{L5 = 0{,}04650\%}$

23. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Radiasi dan Konveksi (L6)

- Kapasitas $\dot{m}_{steam,spec}$ = 115 T/h
- Kondisi $\dot{m}_{steam,actual}$ = 75 T/h

a. Untuk membaca tabel ABMA (American *Boiler* Manufacturers Association) diperlukan *heat output* dalam satuan MMBtu/h, maka supaya didapat satuan MMBtu/h dilakukan konversi satuan:

$\text{Heat Output (Million Btu/h)} = \frac{Steam\ \text{rate (kg/h)}(h_g - h_f)}{1.055.056}$

$\dot{Q}_{\text{desain}} = \frac{115.000(3.362{,}45 - 1.128{,}95)}{1{,}055056 \times 1.000.000} = 243{,}449\ \text{MMBtu/h}$

$\dot{Q}_{\text{aktual}} = \frac{75.000(3.362{,}45 - 1.128{,}95)}{1{,}055056 \times 1.000.000} = 158{,}771\ \text{MMBtu/h}$

Berdasarkan pembacaan grafik ABMA yang terdapat pada Gambar 2.9, penulis berasumsi kehilangan panas akibat radiasi dan konveksi adalah:

$\mathbf{L6 = 0{,}530\%}$

Angka ini linear dengan pernyataan pada dokumen internal yang berjudul "Materi Anak PKL" [33].

24. Perhitungan Kehilangan Panas Karena *Blowdown* (L7)

$\dot{m}_{bd} = 0{,}0315 \times 80.000\ kg/h = 2.520\ \text{kg/jam}$

$L_7 = \frac{2.520\ (1.121{,}57 - 763{,}188)}{3.750 \times 49.916{,}54} \times 100\% = \mathbf{0{,}48247\%}$

25. Perhitungan Total Kehilangan Panas

Nilai efisiensi termal *boiler* diperoleh dengan mengurangkan persentase input panas (100%) terhadap total kerugian panas yang telah dihitung, dengan persamaan sebagai berikut:

$\eta = 100\% - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7)$

© 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

Tabel L7.1 Total *Loss Boiler* 52-B-101F Konfigurasi *Total FG*

Perhitungan Total Kehilangan Panas *Total fuel gas*		
	Parameter Losses	% Loss
L1	Kerugian karena gas buang kering	5,94224%
L2	kerugian karena kadar hidrogen di bahan bakar	10,64242%
L3	Kerugian karena kadar air di bahan bakar	0%
L4	Kerugian karena kadar air di udara pembakaran	0,27264%
L5	Kerugian karena pembakaran tidak sempurna	0,04650%
L6	Kerugian karena radiasi dan konveksi	0,530%
L7	Kerugian karena blowdown	0,48247%
Ltotal		17,91627%
Efisiensi		82,08373%

b. Perhitungan *Heat loss Mixed fuel*

1. Laju Aliran Massa Bahan Bakar

   $\dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{FG} + \dot{m}_{FO}$

   $\dot{m}_{fuel} = 2750 + 1000 = 3750$ kg/h

2. *Higher Heating Value Mixed fuel*

$$HHV_{mix} = \frac{(\dot{m}_{FG} \times HHV_{FG}) + (\dot{m}_{FO} \times HHV_{FO})}{\dot{m}_{FG} + \dot{m}_{FO}}$$

$$HHV_{mix} = \frac{(2.750 \times 49.916{,}54) + (1.000 \times 45.489{,}58)}{2.750 + 1.000}$$

$$= \mathbf{48.736{,}02\ kJ/kg}$$

3. Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis *Fuel gas*

   Dari komposisi massa *fuel gas*:

   C = 0,684551724 kg/kg fuel = 68,4551724 %Wt

   H = 0,212574713 kg/kg fuel = 21,2574713 %Wt

   O = 0,048459770 kg/kg fuel = 4,8459770 %Wt

   S = 0 kg/kg fuel = 0 %Wt

$$TA_{FG} = \frac{(11{,}43 \times C) + 34{,}5\left(H - \frac{O}{8}\right) + (4{,}32 \times S)}{100}$$

$$= \frac{(11{,}43 \times 68{,}4551724) + 34{,}5\left(21{,}2574713 - \frac{4{,}8459770}{8}\right) + (4{,}32 \times 0)}{100}$$

$$= \mathbf{14{,}94927\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

© 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

4. Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis *Fuel oil*

   Dari komposisi massa *fuel oil*:

   C = 0,870877 kg/kg fuel = 87,0877 %Wt

   H = 0,1252 kg/kg fuel = 12,52 %Wt

   O = 0 kg/kg fuel = 0 %Wt

   S = 0,003573 kg/kg fuel = 0,3573 %Wt

$$TA = \frac{(11{,}43\times C)+34{,}5\left(H-\frac{O}{8}\right)+(4{,}32\times S)}{100}$$

$$TA_{FO} = \frac{(11{,}43\times 87{,}0877)+34{,}5\left(12{,}52-\frac{0}{8}\right)+(4{,}32\times 0{,}3573)}{100}$$

$$= \mathbf{14,288959\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

5. Perhitungan Kebutuhan Udara Teoritis *Mixed fuel*

$$TA_{mix} = \frac{(\dot{m}_{FG}\times TA_{FG})+(\dot{m}_{FO}\times TA_{FO})}{\dot{m}_{FG}+\dot{m}_{FO}}$$

$$TA_{mix} = \frac{(2.750\times 14{,}949271)+(1.000\times 14{,}288959)}{2.750+1.000}$$

$$= \mathbf{14,773188\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

6. Perhitungan *Excess Air*

$$EA = \frac{\%O_2}{21-\%O_2}\times 100\%$$

$$= \frac{2{,}55}{21-2{,}55}\times 100\%$$

$$= \mathbf{13,821138\%}$$

7. Perhitungan *Actual Air Supply Mixed fuel*

$$AAS = \left(1+\frac{EA}{100}\right)\times TA$$

$$= \left(1+\frac{13{,}821138}{100}\right)\times 14{,}773188$$

$$= \mathbf{16,815011\ kg\ udara/kg\ fuel}$$

8. Perhitungan Massa Gas Buang Kering *Mixed fuel* (M L1)

   d. Massa air hasil pembakaran hidrogen *mixed fuel*:

$$m_{9H,mix} = \frac{(2.750\times 1{,}913172414)+(1.000\times 1{,}1268)}{3.750}$$

$$= 1{,}703473103\ \text{kg}\ H_2O/\text{kg fuel}$$

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

e. Massa air dari *moist mixed fuel*

$$M_{\text{moist,mix}} = \frac{(2.750\times0)+(1.000\times0{,}003222688)}{3.750}$$

$$= 0{,}000859383 \text{ kg } H_2O/\text{kg fuel}$$

f. Kandungan abu pada *mixed fuel*

$$M_{\text{ash,mix}} = \frac{(2.750\times0)+(1.000\times0{,}00035)}{3.750}$$

$$= 0{,}000093333 \text{ kg ash/kg fuel}$$

g. Massa gas buang kering *mixed fuel*

$$M = 1 + AAS - (M_{9H} + M_{H2Ofuel} + M_{ash})$$

$$= 1 + 16{,}815011 - (1{,}703473103 + 0{,}000859383 + 0{,}00009333)$$

$$= 1 + 16{,}815011 - 1{,}70442582$$

M = **16,1105852 kg/kg fuel**

9. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Gas Buang Kering (L1)

$$L_1 = \frac{M\ x\ C_{pf}\,(T_f - T_a)}{HHV_{\text{mix}}} \times 100\%$$

$$L_1 = \frac{16{,}1105852 \times 1{,}04072 \times (209-32)}{48.736{,}02} \times 100\%$$

$$\mathbf{L1 = 6{,}089326\%}$$

10. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Pembakaran Hidrogen (L2)

a. Konversi kalor spesifik *steam*

Cp_s = 0,45 x 4,184 = 1,8828 kJ/kg°C

b. Konversi panas laten penguapan

h_{vap} = 584 x 4,184 = 2.443,456 kJ/kg

c. Perhitungan L2

$$L_2 = \frac{m_{9H}\,[h_{\text{vap}} + C_{ps}(T_f - T_a)]}{HHV_{mix}} \times 100\%$$

$$L_2 = \frac{1{,}703473103\,[2.443{,}456 + 1{,}8828(209-32)]}{48.736{,}02} \times 100\%$$

$$\mathbf{L2 = 9{,}705458\%}$$

11. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Kelembaban Bahan Bakar (L3)

$$L_3 = \frac{M_{H_2O,\text{mix}}\,[h_{\text{vap}} + C_{ps}(T_f - T_a)]}{HHV_{mix}} \times 100\%$$

© 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

$$L_3 = \frac{0{,}000859383\ [2.443{,}456 + 1{,}8828(209-32)]}{48.736{,}02} \times 100\%$$

$$\mathbf{L3 = 0{,}004896\%}$$

12. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Kelembaban di Udara (L4)

- *Humidity ratio* berdasarkan keterangan pembimbing industri dan divalidasi oleh penelitian Wulan Permata Hati (2023) [65] rasio kelembaban rata-rata di Kilang RU VI Balongan Indramayu adalah 0,024 kg air/kg udara

$$L_4 = \frac{\text{AAS} \times \text{Humidity} \times C_{ps}\,(T_f - T_a)}{HHV_{mix}} \times 100\%$$

$$L_4 = \frac{16{,}815011 \times 0{,}024 \times 1{,}8828 \times (209-32)}{48.736{,}02} \times 100\%$$

$$\mathbf{L4 = 0{,}275953\%}$$

13. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Pembakaran Tidak Sempurna (L5)

a. C_{FG} = 0,684551724 kg C/kg *fuel* (Lampiran 5)

b. C_{FO} = 0,870877 kg C/kg *fuel* (Lampiran 6)

c. $C_{mix} = \frac{(2.750 \times 0{,}684551724) + (1.000 \times 0{,}870877)}{2.750 + 1.000}$

$= 0{,}734238464$ kg C/kg fuel

d. Konversi selisih entalpi pembakaran karbon

Δh_c : 5.744 kCal/kg = 5.744 × 4,184

= 24.032,896 kJ/kg

e. $L_5 = \frac{\%CO \times C_{mix} \times \Delta hc}{(\%CO + \%CO_2) \times HHV_{mix}} \times 100\%$

$= \frac{0{,}0105962 \times 0{,}734238464 \times 24.032{,}896}{(0{,}0105962 + 7{,}5) \times 48.736{,}02} \times 100\%$

$$\mathbf{L5 = 0{,}051082\%}$$

14. Perhitungan Kehilangan Panas Karena Radiasi dan Konveksi (L6)

- Kapasitas $\dot{m}_{steam,spec}$ = 115 T/h
- Kondisi $\dot{m}_{steam,actual}$ = 75 T/h

a. Untuk membaca tabel ABMA (American *Boiler* Manufacturers Association) diperlukan *heat output* dalam satuan MMBtu/h, maka supaya didapat satuan MMBtu/h dilakukan konversi satuan:

© 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

$$\text{Heat Output (Million Btu/h)} = \frac{\textit{Steam}\text{ rate (kg/h)}(h_g - h_f)}{1.055.056}$$

$$\dot{Q}_{\text{desain}} = \frac{115.000(3.370{,}74 - 1.128{,}95)}{1{,}055056 \times 1.000.000} = 243{,}449 \text{ MMBtu/h}$$

$$\dot{Q}_{\text{aktual}} = \frac{75.000(3.370{,}74 - 1.128{,}95)}{1{,}055056 \times 1.000.000} = 158{,}771 \text{ MMBtu/h}$$

Berdasarkan pembacaan grafik ABMA yang terdapat pada Gambar 2.9, penulis berasumsi kehilangan panas akibat radiasi dan konveksi adalah:

$$\mathbf{L6 = 0{,}536\%}$$

Angka ini linear dengan pernyataan pada dokumen internal yang berjudul "Materi Anak PKL" [33].

15. Perhitungan Kehilangan Panas Karena *Blowdown* (L7)

$$\dot{m}_{bd} = 0{,}0315 \times 80.000\ kg/h = 2.520 \text{ kg/h}$$

$$L_7 = \frac{2.520\ (1.121{,}57 - 763{,}188)}{3.750 \times 48.736{,}02} \times 100\% = \mathbf{0{,}49416\%}$$

16. Perhitungan Total Kehilangan Panas

Nilai efisiensi termal *boiler* diperoleh dengan mengurangkan persentase input panas (100%) terhadap total kerugian panas yang telah dihitung, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = 100\% - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7)$$

Tabel L7.2 Total *Loss Boiler* 52-B-101F Konfigurasi *Mixed fuel*

Perhitungan Total Kehilangan Panas *Mixed fuel*		
	Parameter Losses	% Loss
L1	Kerugian karena gas buang kering	6,08933%
L2	kerugian karena kadar hidrogen di bahan bakar	9,70546%
L3	Kerugian karena kadar air di bahan bakar	0,0049%
L4	Kerugian karena kadar air di udara pembakaran	0,27595%
L5	Kerugian karena pembakaran tidak sempurna	0,05108%
L6	Kerugian karena radiasi dan konveksi	0,536%
L7	Kerugian karena blowdown	0,49416%
Ltotal		17,15688%
Efisiensi		82,84312%

© 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 Permohonan Izin Pengambilan Data

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
Jalan Prof.DR.G.A.Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
Telepon (021) 7270036, Hunting, Fax (021) 7270034
Laman: http://www.pnj.ac.id, Posel: humas@pnj.ac.id

Nomor : 875/DST/PL3.7/B/PK.04.11/2026 28 April 2026
Hal : Permohonan izin pengambilan data skripsi

Yth. **Human Capital**
PT Pertamina Patra Niaga
Jl. Raya Balongan Km 9, Sukareja
Kecamatan Balongan, Kabupaten Indramayu,
Jawa Barat 45217

Dalam rangka penyelesaian penyusunan Skripsi bagi mahasiswa tingkat akhir semester 8 (delapan) pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta. Bersama ini kami bermaksud untuk mengajukan izin melakukan penelitian dan pengambilan data di PT Pertamina Patra Niaga pada tanggal **27 April sd 27 Mei 2026.**

Berikut nama-nama yang akan melakukan penelitian dan pengambilan data :

Nama Mahasiswa & NIM	Penelitian dan Data yang Diperlukan
Muhammad Fahri Maulana Nim. 2202421013	- Data O2 Analyzer - Data Gas Buang
Seto Hadi Nugroho Nim. 2202421052	- Data Bahan Bakar Nilai Kalor Bahan Bakar Analisis Ultimate Bahan Bakar - Data Udara Pembakaran Temperatur Udara Pembakaran Komposisi Gas Buang - Data gas Buang Temperatur Gas Buang Temperatur Udara Ambien - Data Kelembapan Kadar Air Dalam Bahan Bakar Kelembapan Udara Bahan Bakar - Data Air Dan Uap Temperatur Tekanan Flow Rate -Blowdown -Spesifikasi boiler existing UTL

Segala ketentuan dan peraturan yang berlaku di **PT Pertamina Patra Niaga** akan ditaati dan dipenuhi oleh mahasiswa yang bersangkutan.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Fuad Zainuri
NIP. 197602252000121002

Tembusan :
- Direktur;
- Wakil Direktur Bidang Akademik;
- Kabag. Keuangan dan Umum;

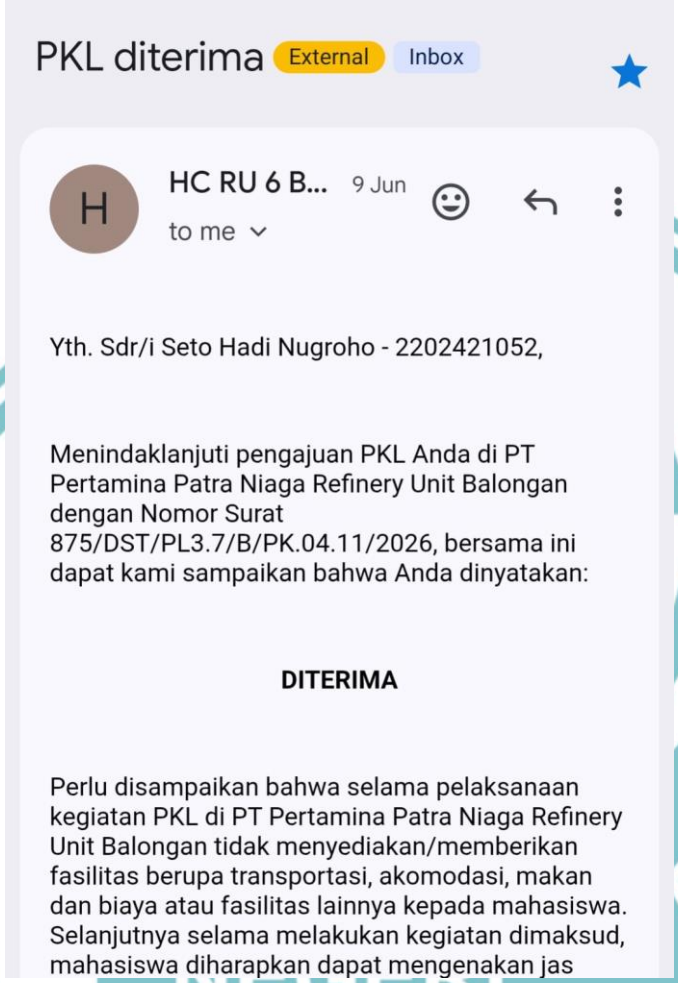
Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN).

Gambar L8.1 Surat permohonan izin magang dari 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

Lampiran 8 Balasan Izin Permohonan Pengambilan Data



Gambar L9.1 Balasan izin melakukan pengambilan data melalui Email