



© 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



OPTIMASI EFISIENSI EKSERGI HRSG TIPE SUPPELEMENTARY FIRED DI PLTGU

SKRIPSI

Oleh:

Andry Trisaputra

NIM. 1802421024

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN PEMBANGKIT
TENAGA LISTRIK**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

AGUSTUS, 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



OPTIMASI EFISIENSI EKSERGI HRSG TIPE SUPPLEMENTARY FIRED DI PLTGU

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Andry Trisaputra
NIM. 1802421024

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN PEMBANGKIT
TENAGA LISTRIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

AGUSTUS, 2023



“Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga yang telah menuntun saya dalam belajar hingga sampai menyelesaikan pendidikan di perguruan tinggi”

© 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
LAPORAN SKRIPSI

**OPTIMASI EFISIENSI EKSERGI HRSG TIPE SUPPELEMENTARY
FIRED DI PLTGU**

Oleh:
Andry Trisaputra
NIM. 1802421024
Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik

Laporan Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng(Hons).
NIP. 196301161993031001



Rahmat Subarkah, S.T., M.T.
NIP. 197601202003121001

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Pembangkit Tenaga
Listrik






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

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

**OPTIMASI EFISIENSI EKSERGI HRSG TIPE SUPPLEMENTARY
FIRED DI PLTGU**

Oleh:
Andry Trisaputra
NIM. 1802421024
Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan dihadapan Dewan Penguji pada tanggal 22 Agustus 2023 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Pembangkit Tenaga Listrik Jurusan Teknik Mesin

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr., Belyamin, M.Sc.Eng, B.Eng(Hons). NIP. 196301161993031001	Ketua Sidang		30/08 ²³
2	Dr., Paulus Sukuno, S.T., M.T. NIP. 196108011989031001	Penguji I		30/08 ²³
3	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP. 199107212018032001	Penguji II		30/08 ²³

Depok, ... Agustus 2023

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andry Trisaputra

NIM : 1802421024

Program Studi : Sarjana Terapan Pembangkit Tenaga Listrik

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 21 Agustus 2023



Andry Trisaputra

NIM. 1802421024



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

OPTIMASI EFISIENSI EKSERGI HRSG TIPE SUPPLEMENTARY FIRED DI PLTGU

Andry Trisaputra¹⁾, Belyamin¹⁾, Rahmat Subarkah¹⁾

1) Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri

Jakarta, Kampus UI Depok 16424

Email: andry.trisaputra.tm18@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Berdasarkan laporan performance test PLTGU pada bulan Januari Tahun 2021 terjadi penurunan efisiensi eksergi HRSG sebesar 2,82% dari standar. Penurunan efisiensi eksergi ini berpengaruh terhadap jumlah produksi uap yang dihasilkan. Sehingga diperlukan upaya untuk mengembalikan efisiensi eksergi agar kinerjanya dapat optimal kembali. Tujuan penelitian ini adalah menentukan titik optimum set-point laju aliran massa bahan bakar burner HRSG dan merekomendasikan rentang set-point laju aliran massa bahan bakar burner HRSG. Dari iterasi persamaan regresi polinomial orde 2 didapatkan titik optimum operasi burner HRSG dengan kalor lepas burner sebesar 11.993 kW. Kemudian rekomendasi rentang set-point berkisar antara 773 kg/h – 838 kg/h.

Kata Kunci: eksergi, HRSG, burner HRSG, optimum, set-point

**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

SUPPLEMENTARY FIRED HRSG EXERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION IN CCPP

Andry Trisaputra¹⁾, Belyamin¹⁾, Rahmat Subarkah¹⁾

1) Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Kampus UI Depok 16424

Email: andry.trisaputra.tml8@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

Based on the Combined Cycle Power Plant (CCPP) performance test report in January 2021 there was a decrease in HRSG exergy efficiency of 2,82% from the standard. This decrease in exergy efficiency affects the amount of steam produced. So that efforts are needed to restore exergy efficiency so that its performance can be optimal again. The purpose of this study was to determine the optimum mass flow rate of the HRSG burner fuel and to recommend the set-point range for HRSG burner fuel mass flow rate. From the iteration of the 2nd order polynomial regression equation, it is obtained that the optimum operating point of the HRSG burner heat release is 11.993 kW. Then the recommended set-point range ranges from 773 kg/h – 838 kg/h.

Keyword: exergy, HRSG, HRSG burner, optimum, set-point

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Efisiensi Eksergi HRSG Tipe *Supplementary Fired* Di PLTGU”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

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

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Cecep Slamet Abdi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Belyamin, M.Sc.Eng., B.Eng(hons). selaku Dosen Pembimbing I yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Rahmat Subarkah S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang sudah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Drs. Jusafwar, M.T. dan Bapak Rahmat Subarkah, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik.
6. Bapak Ristiyan Hadiwibowo selaku Performance Engineer PLTGU PT Bekasi Power.
7. Bapak Edi Patoni selaku Supervisor Operator PLTGU PT Bekasi Power.
8. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan moril dan material selama penelitian.
9. Kedua kakak saya Ahmad Saipul dan Suherman yang telah memberikan dukungan moril berupa motivasi selama penelitian.
10. Saudara Dede Muhamad Ilyas dan Faisal Azizi Devitra yang telah memberi dukungan moril dan masukan selama penulisan skripsi.
11. Teman-teman Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik angkatan tahun 2018 yang memberi dukungan berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi.

12. Serta seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu tetapi tanpa mengurangi rasa hormat dan terima kasih saya atas dukungan yang diberikan.

Penulis berharap semoga dengan adanya skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama pada bidang pembangkit tenaga listrik tenaga gas dan uap.

Depok, 18 Agustus 2023



Andry Trisaputra

NIM. 1802421024



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan Skripsi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Landasan Teori.....	4
2.1.1 <i>Heat Recovery Steam Generator (HRSG)</i>	4
2.1.2 <i>Supplementary Firing</i>	5
2.1.3 <i>Desuperheater</i>	6
2.1.4 Spesifikasi Unit HRSG PLTGU PT XYZ.....	7
2.1.5 Efisiensi eksergi HRSG	7
2.1.6 ASME PTC 4.4	9



Hak Cipta :

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

2.1.7 Perangkat Lunak ASPEN HYSYS.....	12
2.2 Kajian Literatur	12
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 Jenis Penelitian.....	17
3.2 Objek Penelitian	17
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	17
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian	17
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian	18
3.6 Metode Analisis Data.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil.....	20
4.2 Pembahasan.....	37
4.2.1 Kondisi Operasi Optimum <i>Burner</i> HRSG	37
4.2.2 Rentang <i>Set-point</i> Laju Aliran Massa Bahan Bakar <i>Burner</i> HRSG	39
4.2.3 Analisis Eksergi	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	48



Hak Cipta :

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	<i>Diagram proses</i> Unit HRSG PLTGU PT XYZ	6
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 4. 1	Algoritma Perhitungan Eksergi.....	20
Gambar 4. 2	Pemilihan <i>Fluid Package</i> Aspen HYSYS.....	24
Gambar 4. 3	<i>Reaction Set</i> Aspen HYSYS	25
Gambar 4. 4	Pemodelan Unit Turbin Gas	26
Gambar 4. 5	<i>Worksheet Stream</i> Udara Masuk Kompresor	27
Gambar 4. 6	<i>Worksheet</i> Bahan Bakar GT.....	27
Gambar 4. 8	<i>Worksheet Output</i> Simulasi GT PLTGU PT XYZ	28
Gambar 4. 9	<i>Worksheet</i> Simulasi Performa GT PLTGU PT XYZ.....	29
Gambar 4. 10	Pemodelan Simulasi <i>Burner</i> HRSG	30
Gambar 4. 11	<i>Worksheet</i> Parameter Input Simulasi <i>Burner</i> HRSG	31
Gambar 4. 12	Karakteristik Efisiensi Eksergi HRSG PLTGU PT XYZ	37
Gambar 4. 13	Karakteristik Operasi <i>Desuperheater</i> HRSG	40
Gambar 4. 14	Eksergi dan Efisiensi Eksergi Tiap Komponen HRSG.....	42

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi HRSG (Babcock, 2009).....	7
Tabel 2. 2 Referensi Konstanta Tiap Senyawa	8
Tabel 2. 3 Konstanta Tekanan Penguapan Air Pada Suhu Diatas 32°F.....	10
Tabel 4. 1 Parameter Input Simulasi Turbin Gas.....	23
Tabel 4. 2 Komposisi Gas Buang.....	32
Tabel 4. 3 Perhitungan LHV Bahan Bakar <i>Burner</i>	32
Tabel 4. 4 Perhitungan Kalor Lepas <i>Burner</i>	33
Tabel 4. 5 Data Parameter Perhitungan Eksergi	33
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Eksergi.....	36
Tabel 4. 7 Analisis Titik Optimum Operasi <i>Burner</i> HRSG.....	38
Tabel 4. 8 Iterasi <i>Set-point Burner</i> HRSG	40



Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) berfungsi untuk menangkap kembali energi panas dari aliran gas buang turbin gas PLTG (Gabbar, 2016). Jenis HRSG yang dipakai oleh PLTGU PT XYZ adalah tipe *Single Drum Supplementary Fired. Supplementary Firing* adalah penambahan panas pada gas buang menggunakan *duct burner* sebelum gas buang dialirkan melalui modul-modul pertukaran panas HRSG.

Berdasarkan laporan *performance test* PLTGU PT XYZ pada bulan Januari Tahun 2021 terjadi penurunan efisiensi eksergi HRSG sebesar 2,82% dari standar. Tidak dapat ditemukan standar efisiensi eksergi yang ditetapkan oleh badan penetap standar seperti ASME dan ISO. Sehingga standar efisiensi eksergi yang digunakan mengacu pada efisiensi eksergi *overhaul* HRSG tahun 2017 yaitu sebesar 80,21%. Penurunan efisiensi eksergi ini berpengaruh terhadap jumlah produksi uap yang dihasilkan. Sehingga diperlukan upaya untuk mengembalikan efisiensi eksergi agar kinerjanya dapat dioptimalkan kembali.

Pada penelitian sebelumnya terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengembalikan efisiensi eksergi HRSG. Penelitian Rahman menyebutkan bahwa efisiensi eksergi HRSG dapat dioptimasi dengan menentukan kondisi operasi optimum unit HRSG (Rahman, 2020). Penelitian Putri memodifikasi nilai *fin pitch* dengan kesimpulan semakin meningkat nilai *fin pitch* maka suhu *feedwater* semakin menurun dan mengakibatkan peningkatan efisiensi HRSG (Putri, 2017). Penelitian Putra memodifikasi geometri *fin tube* dengan kesimpulan tipe fin bergerigi (*serrated fins*) paling efektif dengan suhu *feedwater* sebesar 195,5 °C sehingga efisiensi HRSG meningkat (Putra, 2017).

Dari beberapa metode yang telah dijabarkan, optimasi efisiensi eksergi dengan mengoperasikan kondisi operasi optimum merupakan tindakan yang tidak



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

memerlukan biaya dan waktu yang tinggi. Penelitian terkait pengaruh parameter operasi terhadap efisiensi eksergi HRSG telah dilakukan. Penelitian Rahman menentukan kondisi operasi optimum unit HRSG PLTGU Muara Karang dengan variasi nilai suhu saturasi sistem tekanan tinggi dan suhu inlet gas buang (Rahman, 2020). Penelitian pada unit HRSG PLTGU Blok 1 Muara Karang mengungkap bahwa laju aliran massa gas buang dan suhu gas buang masuk HRSG dapat meningkatkan efisiensi eksergi HRSG (Yanti, 2020). Penelitian Param dan Jianu menyatakan bahwa dengan menaikkan laju aliran massa bahan bakar *supplementary firing* dapat meningkatkan efisiensi eksergi HRSG (Param dan Jianu, 2020).

Penelitian ini akan menganalisis eksergi dan menentukan kondisi optimum operasi unit HRSG PLTGU PT XYZ. Kemudian, analisis eksergi terperinci dilakukan dengan variasi laju bahan bakar *Supplementary Firing*. Pemodelan *burner* HRSG dibantu dengan perangkat lunak ASPEN HYSYS.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan latar belakang penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan kondisi operasi optimum unit HRSG PLTGU PT XYZ?
2. Berapa rekomendasi rentang *set-point* operasi *burner* HRSG?
3. Bagaimana mengidentifikasi komponen HRSG yang memiliki efisiensi eksergi terendah?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yang ingin diperoleh antara lain:

1. Menentukan kondisi operasi optimum unit HRSG PLTGU PT XYZ.
2. Menentukan rekomendasi rentang *set-point* operasi *burner* HRSG.
3. Mengidentifikasi komponen HRSG yang memiliki efisiensi eksergi terendah.



Hak Cipta :

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

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini diantaranya yaitu:

a. Perguruan Tinggi

Manfaat yang akan didapat oleh perguruan tinggi adalah menjadi sumber referensi tambahan mengenai metode untuk mengoptimalkan efisiensi eksergi HRSG.

b. Industri

Manfaat yang akan didapat oleh industri berupa rekomendasi *set-point* optimum *burner* HRSG.

1.5 Sistematika Penulisan Skripsi

1. BAB I

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian yang akan dilakukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

2. BAB II

Bab ini berisi tentang pemaparan dasar teori sesuai dengan topik yang diangkat. Dasar teori yang disajikan diambil dari jurnal, *manual book*, dan *textbook*.

3. BAB III

Bab ini menjelaskan tentang konsep pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan. Mulai dari jenis penelitian, objek penelitian, metode pengambilan sampel, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, dan metode analisis data.

4. BAB IV

Bab ini menjelaskan tentang hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan dan pembahasan yang sesuai dengan rencana penelitian.

5. BAB V

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang didapat setelah dilakukan penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya dengan topik terkait.



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 dan pembahasan penelitian ini, maka kesimpulan yang didapat antara lain:

1. Dapat ditentukan titik optimum operasi *burner* HRSG tipe *supplementary fired* dengan kalor lepas *burner* 11.993 kW.
2. Dapat ditentukan rentang *set-point* yang direkomendasikan untuk laju aliran massa bahan bakar *burner* HRSG *supplementary fired*. Rentang *set-point* tersebut berkisar antara 773 kg/h – 838 kg/h.
3. Dapat diidentifikasi komponen HRSG yang memiliki efisiensi eksergi terendah. Pada penelitian ini *economizer* 3 merupakan sumber utama kerugian eksergi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya agar menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan:

1. Penelitian dilakukan dengan sistem dinamik HRSG untuk menambah variabel independen agar memperoleh optimasi dengan multi-tujuan.
2. Menambah alat ukur tekanan pada sisi gas buang di tiap *inlet* dan *outlet* komponen HRSG yaitu dari modul *economizer* sampai dengan *secondary superheater*.



DAFTAR PUSTAKA

- Almutairi, A., Pilidis, P., & Al-Mutawa, N. (2015). Energetic and exergetic analysis of combined cycle power plant: Part-1 operation and performance. *Energies*, 8(12), 14118–14135. <https://doi.org/10.3390/en81212418>
- ASME Performance Test Code 4.4* (1981st ed.). (n.d.). American Society of Mechanical Engineers.
- Aspen Tech. (n.d.). *Aspen Hysys General Overview*. Retrieved August 16, 2023, from <https://www.aspentech.com/en/products/pages/aspen-hysysrt>
- Aspen Tech. (2004). *HYSYS® 2004.2 Operations Guide*. <http://www.aspentech.com>
- Babcock, T. (2009). *Operation & Maintenance Manual For 2 X 86 Tph Supplementary Fired HSRG For CCPP 1 X 130 MW Jababeka, Cikarang*.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). *Thermal Design and Optimization*-John Wiley & Sons (pp. 1–542).
- Chin, W. W. (1998). *The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling*. <https://www.researchgate.net/publication/311766005>
- Demirel, Y. (2002). *Nonequilibrium Thermodynamics*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50886-7.X5000-0>
- Dewantoro Herlambang, Y., Supriyo, T., Aji, W., Jurusan, T., Mesin, N., Semarang, J. H., & Soedarto, S. H. (2020). Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 16(3), 148–164.
- Dincer, I., & Ozturk, M. (2021). Energy, environment, and sustainable development. In *Geothermal Energy Systems*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820775-8.00005-2>

Hak Cipta :

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



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

Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Methods and Applications. *Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Methods and Applications*, 1–387. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-06800-4>

Eriksen, V. (2017). Heat Recovery Steam Generator Technology. In *Woodhead Publishing Series in Energy*.

Gabbar, H. A. (2016). Smart Energy Grid Engineering. In *Smart Energy Grid Engineering*. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-04708-6>

Holman, J. P. (2008). *Heat Transfer* (10th ed.).

International Standard Organization. (2016). *ISO 6976:2016, Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition*. www.iso.org/standard/6976.html

Kumalaningrum, D. (2019). *Analisis Pengaruh Variasi Beban Terhadap Energi dan Eksergi Pada HRSG di Blok 2 PLTGU Muara Karang*.

Liu, Z., & Karimi, I. A. (2019). Simulation of a combined cycle gas turbine power plant in Aspen HYSYS. *Energy Procedia*, 158, 3620–3625. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.901>

Loffredo, M., Viberti, D., & Filippo Panini, S. (2023). *Optimization of Peng-Robinson and Redlich-Kwong-Soave Equations of State parameters for H₂-CH₄ mixtures*.

Lugo-Leyte, R., Salazar-Pereyra, M., Bonilla-Blancas, A. E., Lugo-Mendez, H. D., Ruíz-Ramírez, O. A., & Toledo-Velázquez, M. (2016). Exergetic Analysis of Triple-Level Pressure Combined Power Plant with Supplementary Firing. *Journal of Energy Engineering*, 142(4), 05016001. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ey.1943-7897.0000348](https://doi.org/10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000348)

Param, H. K., & Jianu, O. A. (2020). Exergy analysis of heat recovery steam generator: Effects of supplementary firing and desuperheater. *Journal of*



Energy Resources Technology, Transactions of the ASME, 142(5).
<https://doi.org/10.1115/1.4046084>

Putra, R. A. (2017). *Fin Shape Analysis For Thermal Efficiency On High Pressure Economizer Heat Recovery Steam Generator PLTGU PT. PJB-UP Gresik.*

Putri, A. J. (2017). *Analisis Pengaruh Fin Pitch Terhadap Efisiensi Thermal High Pressure Economizer Heat Recovery Steam Generator PLTGU PT. PJB UP Gresik. 110265, 110493.*

Rachman, A. R. (2020). *Simulasi Pengaruh Variasi Pinch Dan Approach Point Terhadap Performa PLTGU 220 MW.*

Rahman, F. (2020). *Optimasi Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap Muara Karang.*

Rosen, M. A. (2005). Exergy. In *Canadian Consulting Engineer* (Vol. 46, Issue 2). <https://doi.org/10.1201/9780849338960.ch78>

Rosen, M. A., Dincer, I., & Kanoglu, M. (2008). Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact. *Energy Policy*, 36(1), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.006>

Sharma, M., & Singh, O. (2016). Exergy analysis of dual pressure HRSG for different dead states and varying steam generation states in gas/steam combined cycle power plant. *Applied Thermal Engineering*, 93, 614–622. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.012>

Shiozaki, S., Fujii, T., & Takenaga, K. (2021). Advances in Power Boilers. In M. Ozawa & H. Asano (Eds.), *Advances in Power Boilers*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04633-2>

Yanti, F. S. D. (2020). *Analisis Temperatur Dan Massa Gas/Udara Masuk Terhadap Efisiensi Energi Dan Eksergi HRSG Di PLTGU Blok 1 Muara Karang* (Issue 11150331000034).

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

**LAMPIRAN
BIODATA**



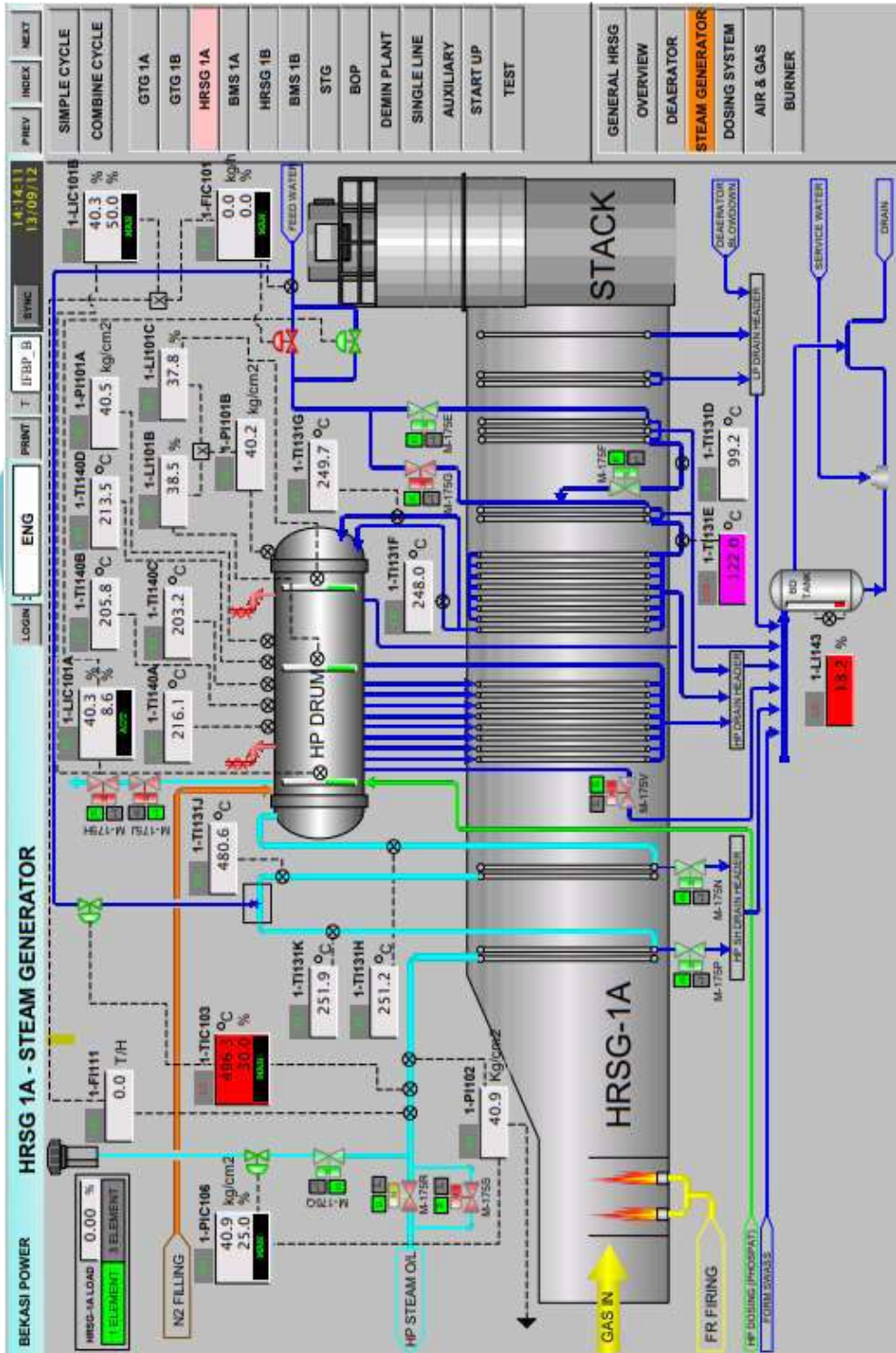
1. Nama Lengkap : Andry Trisaputra
2. NIM : 1802421024
3. Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 4 Juli 2000
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Alamat : Jalan Ikhlas III 32, Kebagusan, Pasar Minggu
6. Email : andrytrisaputra.at@gmail.com
7. Pendidikan :
 - i. SD : SD Negeri Lenteng Agung 09 Pagi
 - ii. SMP : SMP Negeri 239 Jakarta
 - iii. SMA/K : SMA Negeri 104 Jakarta
8. Jurusan : Teknik Mesin
9. Program Studi : D-IV Pembangkit Tenaga Listrik

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 1. *Human Interface HRSG*



Hak Cipta :

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



Lampiran 2. Data Komposisi Bahan Bakar Gas PGN

Last Snapshot Report ID:BPOW

PT PGN (Persero) Tbk
Bekasi Power
Snapshot Report

Print Time : 09:00:00 Date : 25/05/21

Orifice Diameter in. : 4.5909 in
Pipe Diameter in. : 8.0090 in
Base Pressure : 14.730 psia
Base Temperature : 60.00 Deg.F
Atmospheric Pressure : 14.696 psia
Base Density : .048633 Lb/Ft3

--METERING STREAM--
Standard Volume Flow Rate MSCF/hr 760.755
Energy Flow Rate MMBTU/hr 789.376
Pressure PSIG 158.394
Temperature Deg.F 80.140
Corrected Temperature Deg.F 81.948
DP in.H2O 105.670
Line Density Lb/Ft3 .560665
GHV BTU/SCF 1037.622

--PREVIOUS HOURLY TOTALIZER--
Hourly Cum. Standard Volume MSCF 773.326
Hourly Cum. Energy MMBTU 802.197
Hourly Avg Pressure PSIG 158.321
Hourly Avg Temperature Deg.F 80.065
Hourly Avg DP in.H2O 109.298
Hourly Avg Line Density Lb/Ft3 .560457
Hourly Avg GHV BTU/SCF 1037.333

--TODAY IN PROGRESS TOTALIZER--
Daily Standard Volume MSCF 4788.001
Daily Energy MMBTU 4961.963

--Maintenance Mode--
Standard Volume Flow Rate MSCF/hr .0000
Energy Flow Rate MMBTU/hr .0000

--CUMULATIVE IN PROGRESS TOTALIZER--
Cumulative Standard Volume MSCF 693846.520
Cumulative Energy MMBTU 213524.979

--CHROMATOGRAPH DATA--
Methane mol% 90.3403
Ethane mol% 3.5629
Propane mol% 1.0930
n-Butane mol% .2808
i-Butane mol% .2459
n-Pentane mol% .0717
i-Pentane mol% .1084
n-Hexane mol% .0677
n-Heptane mol% .0338
n-Octane mol% .0113
n-Nonane mol% .0000
n-Decane mol% .0000
Nitrogen mol% .3799
CO2 mol% 3.8044

Hak Cipta :

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





Lampiran 3. Penjabaran Algoritma Perhitungan Eksergi

a. Perhitungan Kondisi Lingkungan Berdasarkan ASME PTC 4.4

```
{T_wetbulb = 30 [F]}  
{RelativeHumidity = 80 [%]}  
{P_atm = 14.7 [psia]}
```

"T Over 32 [F], overwater"

```
C1_overwater = -10440.397  
C2_overwater = -11.29465  
C3_overwater = -0.027022355  
C4_overwater = 0.00001289036  
C5_overwater = -0.0000000024780681  
C6_overwater = 0  
C7_overwater = 6.5459673
```

T=T_wetbulb+459.67

```
P_vapor=EXP((C1_overwater/T)+(C2_overwater)+(C3_overwater*T)+(C4_overwater  
*T^2)+(C5_overwater*T^3)+(C6_overwater*T^4)+(C7_overwater*ln(T)))
```

```
P_H2O = (RelativeHumidity/100)*P_vapor  
FDA= (P_atm-P_H2O)/P_atm
```

```
N2_airmolefraction = 0.780840 * FDA  
O2_airmolefraction = 0.209476 * FDA  
CO2_airmolefraction = 0.000319 * FDA  
H2O_airmolefraction = 0.0163 * FDA
```

b. Perhitungan Eksergi Fuel

"Flue Gas Composition"

```
{N2_outlet_gasmassfraction = 0.7748}  
{O2_outlet_gasmassfraction = 0.2059}  
{CO2_outlet_gasmassfraction = 0.0003}  
{H2O_outlet_gasmassfraction = 0.019}
```

"Exergy Analysis"

"Ambient"

```
T_ambient = 303.15 [K]  
y2 = T_ambient/1000
```

```
N2_fraction = 0.7507  
O2_fraction = 0.1372  
CO2_fraction = 0.0314  
H2O_gas_fraction = 0.0297  
H2O_liquid_fraction = 0.051
```

```
h0_N2 = 10^3*((-9.982)+(30.418*y2)+(2.544/2)*y2^2-(-0.238)*y2^(-1)+(0/3)*y2^3)
```

Hak Cipta :

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



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

$$h0_O2 = 10^3*((-9.589)+(29.154*y2)+(6.477/2)*y2^2-(-0.184)*y2^(-1))+(-1.017/3)*y2^3$$

$$h0_CO2 = 10^3*((-413.836)+(51.128*y2)+(4.368/2)*y2^2-(-1.469)*y2^(-1)+(0/3)*y2^3)$$

$$h0_gasH2O = 10^3*((-253.836)+(34.376*y2)+(7.841/2)*y2^2-(-0.423)*y2^(-1)+(0/3)*y2^3)$$

$$h0_liquidH2O = 10^3*((-289.932)+(20.355*y2)+(109.198/2)*y2^2-(2.033)*y2^(-1)+(0/3)*y2^3)$$

$$s0_N2 = 16.203+30.418*ln(T_ambient)+2.544*y2-((-0.238/2)*y2^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$s0_O2 = 36.116+29.154*ln(T_ambient)+6.477*y2-((-0.184/2)*y2^(-2))+(-1.017/2)*y^2$$

$$s0_CO2 = -87.078+51.128*ln(T_ambient)+4.368*y2-((-0.469/2)*y2^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$s0_gasH2O = -11.75+34.376*ln(T_ambient)+7.841*y2-((-0.423/2)*y2^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$s0_liquidH2O = -67.147+20.355*ln(T_ambient)+109.198*y2-((2.033/2)*y2^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$sk_ambientN2 = s0_N2 - 8.314 * ln((N2_fraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_ambientO2 = s0_O2 - 8.314 * ln((O2_fraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_ambientCO2 = s0_CO2 - 8.314 * ln((CO2_fraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_ambientgasH2O = s0_gasH2O - 8.314 * ln((H2O_gas_fraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_ambientliquidH2O = s0_liquidH2O - 8.314 * ln((H2O_liquid_fraction*P_reference)/P_atm)$$

$$h_ambient=(N2_fraction*h0_N2)+(O2_fraction*h0_O2)+(CO2_fraction*h0_CO2)+(H2O_gas_fraction*h0_gasH2O)+(H2O_liquid_fraction*h0_liquidH2O)$$

$$s_ambient=(N2_fraction*sk_ambientN2)+(O2_fraction*sk_ambientO2)+(CO2_fraction*sk_ambientCO2)+(H2O_gas_fraction*sk_ambientgasH2O)+(H2O_liquid_fraction*sk_ambientliquidH2O)$$

"Exhaust Gas"

"Inlet"

$$\{T_fluegas = 903.95 [K]\}$$

$$y = T_fluegas/1000$$

$$P_reference= 1.018 [bar]$$

$$h_N2 = 10^3*((-9.982)+(30.418*y)+(2.544/2)*y^2-(-0.238)*y^(-1)+(0/3)*y^3)$$

$$h_O2 = 10^3*((-9.589)+(29.154*y)+(6.477/2)*y^2-(-0.184)*y^(-1))+(-1.017/3)*y^3$$

$$h_CO2 = 10^3*((-413.836)+(51.128*y)+(4.368/2)*y^2-(-1.469)*y^(-1)+(0/3)*y^3)$$

$$h_H2O = 10^3*((-253.836)+(34.376*y)+(7.841/2)*y^2-(-0.423)*y^(-1)+(0/3)*y^3)$$

$$s_N2 = 16.203+30.418*ln(T_fluegas)+2.544*y-((-0.238/2)*y^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$s_O2 = 36.116+29.154*ln(T_fluegas)+6.477*y-((-0.184/2)*y^(-2))+(-1.017/2)*y^2$$

$$s_CO2 = -87.078+51.128*ln(T_fluegas)+4.368*y-((-0.469/2)*y^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$s_H2O = -11.75+34.376*ln(T_fluegas)+7.841*y-((-0.423/2)*y^(-2))+(0/2)*y^2$$

$$sk_N2 = s_N2 - 8.314 * ln((N2_outlet_gasmassfraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_O2 = s_O2 - 8.314 * ln((O2_outlet_gasmassfraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_CO2 = s_CO2 - 8.314 * ln((CO2_outlet_gasmassfraction*P_reference)/P_atm)$$

$$sk_H2O = s_H2O - 8.314 * ln((H2O_outlet_gasmassfraction*P_reference)/P_atm)$$

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

$$h_{\text{fluegas_inlet}} = (N2_outlet_gasmassfraction * h_{N2}) + (O2_outlet_gasmassfraction * h_{O2}) + (CO2_outlet_gasmassfraction * h_{CO2}) + (H2O_outlet_gasmassfraction * h_{H2O})$$

$$s_{\text{fluegas_inlet}} = (N2_outlet_gasmassfraction * sk_{N2}) + (O2_outlet_gasmassfraction * sk_{O2}) + (CO2_outlet_gasmassfraction * sk_{CO2}) + (H2O_outlet_gasmassfraction * sk_{H2O})$$

"Outlet"

$$\{T_{\text{fluegas_outlet}} = 427.85 \text{ [K]}\}$$

$$y_{\text{outlet}} = T_{\text{fluegas_outlet}} / 1000$$

$$h_{\text{outletN2}} = 10^3 * ((-9.982) + (30.418 * y_{\text{outlet}}) + (2.544/2) * y_{\text{outlet}}^2 - (0.238) * y_{\text{outlet}}^3)$$

$$h_{\text{outletO2}} = 10^3 * ((-9.589) + (29.154 * y_{\text{outlet}}) + (6.477/2) * y_{\text{outlet}}^2 - (0.184) * y_{\text{outlet}}^3)$$

$$h_{\text{outletCO2}} = 10^3 * ((-413.836) + (51.128 * y_{\text{outlet}}) + (4.368/2) * y_{\text{outlet}}^2 - (1.469) * y_{\text{outlet}}^3)$$

$$h_{\text{outletH2O}} = 10^3 * ((-253.836) + (34.376 * y_{\text{outlet}}) + (7.841/2) * y_{\text{outlet}}^2 - (0.423) * y_{\text{outlet}}^3)$$

$$s_{\text{outletN2}} = 16.203 + 30.418 * \ln(T_{\text{fluegas_outlet}}) + 2.544 * y_{\text{outlet}} - ((0.238/2) * y_{\text{outlet}}^2) + (0/2) * y_{\text{outlet}}^3$$

$$s_{\text{outletO2}} = 36.116 + 29.154 * \ln(T_{\text{fluegas_outlet}}) + 6.477 * y_{\text{outlet}} - ((0.184/2) * y_{\text{outlet}}^2) + (-1.017/2) * y_{\text{outlet}}^3$$

$$s_{\text{outletCO2}} = -87.078 + 51.128 * \ln(T_{\text{fluegas_outlet}}) + 4.368 * y_{\text{outlet}} - ((0.469/2) * y_{\text{outlet}}^2) + (0/2) * y_{\text{outlet}}^3$$

$$s_{\text{outletH2O}} = -11.75 + 34.376 * \ln(T_{\text{fluegas_outlet}}) + 7.841 * y_{\text{outlet}} - ((0.423/2) * y_{\text{outlet}}^2) + (0/2) * y_{\text{outlet}}^3$$

$$sk_{\text{outletN2}} = s_{\text{outletN2}} - 8.314 * \ln((N2_outlet_gasmassfraction * P_{\text{reference}}) / P_{\text{atm}})$$

$$sk_{\text{outletO2}} = s_{\text{outletO2}} - 8.314 * \ln((O2_outlet_gasmassfraction * P_{\text{reference}}) / P_{\text{atm}})$$

$$sk_{\text{outletCO2}} = s_{\text{outletCO2}} - 8.314 * \ln((CO2_outlet_gasmassfraction * P_{\text{reference}}) / P_{\text{atm}})$$

$$sk_{\text{outletH2O}} = s_{\text{outletH2O}} - 8.314 * \ln((H2O_outlet_gasmassfraction * P_{\text{reference}}) / P_{\text{atm}})$$

$$h_{\text{fluegas_outlet}} = (N2_outlet_gasmassfraction * h_{\text{outletN2}}) + (O2_outlet_gasmassfraction * h_{\text{outletO2}}) + (CO2_outlet_gasmassfraction * h_{\text{outletCO2}}) + (H2O_outlet_gasmassfraction * h_{\text{outletH2O}})$$

$$s_{\text{fluegas_outlet}} = (N2_outlet_gasmassfraction * sk_{\text{outletN2}}) + (O2_outlet_gasmassfraction * sk_{\text{outletO2}}) + (CO2_outlet_gasmassfraction * sk_{\text{outletCO2}}) + (H2O_outlet_gasmassfraction * sk_{\text{outletH2O}})$$

$$N2_standard_eCH = 639$$

$$O2_standard_eCH = 3951$$

$$CO2_standard_eCH = 14176$$

$$H2O_standard_eCH = 8636$$

$$N2_fasegascampuran = 0.791$$

$$O2_fasegascampuran = 0.1446$$



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

$$\text{CO2_fasegascampuran} = 0.0331$$
$$\text{H2O_fasegascampuran} = 0.0313$$

$$\text{m_dot_exhgas} = 147.632828 \text{ [kg/s]}$$
$$\text{mr_fluegas} = 28.254$$

$$\text{eCH} = (\text{N2_fasegascampuran} * \text{N2_standard_eCH}) + (\text{O2_fasegascampuran} * \text{O2_standard_eCH}) + (\text{CO2_fasegascampuran} * \text{CO2_standard_eCH}) + (\text{H2O_fasegascampuran} * \text{H2O_standard_eCH}) + 8.314 * \text{T_ambient} * (\text{N2_fasegascampuran} * \ln(\text{N2_fasegascampuran}) + \text{O2_fasegascampuran} * \ln(\text{O2_fasegascampuran}) + \text{CO2_fasegascampuran} * \ln(\text{CO2_fasegascampuran}) + \text{H2O_fasegascampuran} * \ln(\text{H2O_fasegascampuran}))$$

"Exergy Physical"

$$\text{Ex_PHinlet} = (\text{m_dot_exhgas} * ((\text{h_fluegas_inlet} - \text{h_ambient}) - \text{T_ambient} * (\text{s_fluegas_inlet} - \text{s_ambient}))) / \text{mr_fluegas}$$
$$\text{Ex_PHoutlet} = (\text{m_dot_exhgas} * ((\text{h_fluegas_outlet} - \text{h_ambient}) - \text{T_ambient} * (\text{s_fluegas_outlet} - \text{s_ambient}))) / \text{mr_fluegas}$$

"Exergy Chemical"

$$\text{Ex_CH} = (\text{m_dot_exhgas} * \text{eCH}) / \text{mr_fluegas}$$

$$\text{Ex_fluegas} = (\text{Ex_PHinlet} - \text{Ex_PHoutlet}) + \text{Ex_CH}$$

c. Perhitungan Eksergi Produk

"Exergy Product"

$$\text{T_ambient_water} = 35.83 \text{ [C]}$$

$$\text{P_ambient_water} = 1.013 \text{ [bar]}$$

$$\text{h_ambient_water} = \text{Enthalpy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_ambient_water}, \text{P}=\text{P_ambient_water})$$

$$\text{s_ambient_water} = \text{Entropy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_ambient_water}, \text{P}=\text{P_ambient_water})$$

"Economizer 1"

$$\{\text{T_inlet_eco1} = 101.2738 \text{ [C]}\}$$

$$\{\text{T_outlet_eco1} = 185.6382 \text{ [C]}\}$$

$$\{\text{P_inlet_eco1} = 125.4244 * 0.980665 \text{ [bar]}\}$$

$$\{\text{P_outlet_eco1} = 0 \text{ [bar]}\}$$

$$\{\text{m_dot_eco1} = 19.68 \text{ [kg/s]}\}$$

$$\text{h_inlet_eco1} = \text{Enthalpy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_inlet_eco1}, \text{P}=\text{P_inlet_eco1})$$

$$\text{h_outlet_eco1} = \text{Enthalpy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_outlet_eco1}, \text{P}=\text{P_outlet_eco1})$$

$$\text{s_inlet_eco1} = \text{Entropy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_inlet_eco1}, \text{P}=\text{P_inlet_eco1})$$

$$\text{s_outlet_eco1} = \text{Entropy}(\text{Water}, \text{T}=\text{T_outlet_eco1}, \text{P}=\text{P_outlet_eco1})$$

$$\text{Ex_eco1_inlet} = \text{m_dot_eco1} * (\text{h_inlet_eco1} - \text{h_ambient_water}) - \text{T_ambient_water} * (\text{s_inlet_eco1} - \text{s_ambient_water})$$

$$\text{Ex_eco1_outlet} = \text{m_dot_eco1} * (\text{h_outlet_eco1} - \text{h_ambient_water}) - \text{T_ambient_water} * (\text{s_outlet_eco1} - \text{s_ambient_water})$$

$$\text{Ex_eco1} = \text{Ex_eco1_outlet} - \text{Ex_eco1_inlet}$$

"Economizer 2"

$$\{\text{T_inlet_eco2} = 184.6382 \text{ [C]}\}$$



Hak Cipta :

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

```
{T_outlet_eco2 = 307.5280 [C]}
{P_inlet_eco2 = 125.4344*0.980665 [bar]}
{P_outlet_eco2 = 0 [bar]}
{m_dot_eco2 = 19.68 [kg/s]}
```

```
h_inlet_eco2 = Enthalpy(Water,T=T_inlet_eco2,P=P_inlet_eco2)
h_outlet_eco2 = Enthalpy(Water,T=T_outlet_eco2,P=P_outlet_eco2)
```

```
s_inlet_eco2= Entropy(Water,T=T_inlet_eco2,P=P_inlet_eco2)
s_outlet_eco2= Entropy(Water,T=T_outlet_eco2,P=P_outlet_eco2)
```

```
Ex_eco2_inlet= m_dot_eco2*(h_inlet_eco2-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_inlet_eco2-s_ambient_water)
Ex_eco2_outlet = m_dot_eco2*(h_outlet_eco2-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_outlet_eco2-s_ambient_water)
```

```
Ex_eco2 = Ex_eco2_outlet-Ex_eco2_inlet
```

```
"Economizer 3"
{T_inlet_eco3 = 307.5280 [C]}
{T_outlet_eco3 = 308.0775 [C]}
{P_inlet_eco3 = 125.4344*0.980665 [bar]}
{P_outlet_eco3 = 0 [bar]}
{m_dot_eco3 = 78.1094*convert(ton/h,kg/s)}
```

```
h_inlet_eco3 = Enthalpy(Water,T=T_inlet_eco3,P=P_inlet_eco3)
h_outlet_eco3 = Enthalpy(Water,T=T_outlet_eco3,P=P_outlet_eco3)
```

```
s_inlet_eco3= Entropy(Water,T=T_inlet_eco3,P=P_inlet_eco3)
s_outlet_eco3= Entropy(Water,T=T_outlet_eco3,P=P_outlet_eco3)
```

```
Ex_eco3_inlet= m_dot_eco3*(h_inlet_eco3-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_inlet_eco3-s_ambient_water)
Ex_eco3_outlet = m_dot_eco3*(h_outlet_eco3-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_outlet_eco3-s_ambient_water)
```

```
Ex_eco3 = Ex_eco3_outlet-Ex_eco3_inlet
```

```
"Evaporator and Steam Drum (HP Bank)"
{T_inlet_hpbank =308.0775 [C]}
{T_outlet_hpbank = 310.5601 [C]}
{P_inlet_hpbank = 93.2649*0.980665 [bar]}
{P_outlet_hpbank = 0 [bar]}
{m_dot_hpbank = 78.1094*convert(ton/h,kg/s)}
```

```
h_inlet_hpbank = Enthalpy(Water,T=T_inlet_hpbank,P=P_inlet_hpbank)
h_outlet_hpbank = Enthalpy(Steam,T=T_outlet_hpbank,P=P_outlet_hpbank)
```

```
s_inlet_hpbank= Entropy(Water,T=T_inlet_hpbank,P=P_inlet_hpbank)
s_outlet_hpbank= Entropy(Steam,T=T_outlet_hpbank,P=P_outlet_hpbank)
```

```
Ex_hpbank_inlet = m_dot_hpbank*(h_inlet_hpbank-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_inlet_hpbank-s_ambient_water)
Ex_hpbank_outlet = m_dot_hpbank*(h_outlet_hpbank-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_outlet_hpbank-s_ambient_water)
```




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

Ex_hpbank= Ex_hpbank_outlet-Ex_hpbank_inlet

"Primary Superheater"

{T_inlet_psh =308.0775 [C]}
{T_outlet_psh = 490.5698 [C]}
{P_inlet_psh = 93.2649*0.980665 [bar]}
{P_outlet_psh = 0 [bar]}
{m_dot_psh = 19.68 [kg/s]}

h_inlet_psh = Enthalpy(Steam,T=T_inlet_psh,P=P_inlet_psh)
h_outlet_psh = Enthalpy(Steam,T=T_outlet_psh,P=P_outlet_psh)

s_inlet_psh= Entropy(Steam,T=T_inlet_psh,P=P_inlet_psh)
s_outlet_psh= Entropy(Steam,T=T_outlet_psh,P=P_outlet_psh)

Ex_psh_inlet = m_dot_psh*(h_inlet_psh-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_inlet_psh-s_ambient_water)
Ex_psh_outlet = m_dot_psh*(h_outlet_psh-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_outlet_psh-s_ambient_water)

Ex_psh = Ex_psh_outlet-Ex_psh_inlet

"Desuperheater"

{T_inlet_desh = 0 [C]}
{T_outlet_desh = 0 [C]}
{P_inlet_desh = 0 [bar]}
{P_outlet_desh = 0 [bar]}
{m_dot_desh = 0*convert(ton/h,kg/s)}

h_inlet_desh = Enthalpy(Steam,T=T_inlet_desh,P=P_inlet_desh)
h_outlet_desh = Enthalpy(Steam,T=T_outlet_desh,P=P_outlet_desh)

s_inlet_desh= Entropy(Steam,T=T_inlet_desh,P=P_inlet_desh)
s_outlet_desh= Entropy(Steam,T=T_outlet_desh,P=P_outlet_desh)

Ex_desh_inlet = m_dot_desh*(h_inlet_desh-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_inlet_desh-s_ambient_water)
Ex_desh_outlet = m_dot_desh*(h_outlet_desh-h_ambient_water) -
T_ambient_water*(s_outlet_desh-s_ambient_water)

Ex_desh = Ex_desh_outlet-Ex_desh_inlet

"Secondary Superheater"

{T_inlet_ssh =424.0801 [C]}
{T_outlet_ssh = 533.0357 [C]}
{P_inlet_ssh = 86.7813*0.980665 [bar]}
{P_outlet_ssh = 0 [bar]}
{m_dot_ssh = 79.5586*convert(ton/h,kg/s)}

h_inlet_ssh = Enthalpy(Steam,T=T_inlet_ssh,P=P_inlet_ssh)
h_outlet_ssh = Enthalpy(Steam,T=T_outlet_ssh,P=P_outlet_ssh)



Hak Cipta :

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

$$s_{inlet_ssh} = \text{Entropy}(\text{Steam}, T=T_{inlet_ssh}, P=P_{inlet_ssh})$$
$$s_{outlet_ssh} = \text{Entropy}(\text{Steam}, T=T_{outlet_ssh}, P=P_{outlet_ssh})$$

$$Ex_{ssh_inlet} = m_{dot_ssh} * (h_{inlet_ssh} - h_{ambient_water}) - T_{ambient_water} * (s_{inlet_ssh} - s_{ambient_water})$$
$$Ex_{ssh_outlet} = m_{dot_ssh} * (h_{outlet_ssh} - h_{ambient_water}) - T_{ambient_water} * (s_{outlet_ssh} - s_{ambient_water})$$

$$Ex_{ssh} = Ex_{ssh_outlet} - Ex_{ssh_inlet}$$

$$Ex_{product_inlet} = Ex_{eco1_inlet} + Ex_{eco2_inlet} + Ex_{eco3_inlet} + Ex_{hpbank_inlet} + Ex_{psh_inlet} + Ex_{ssh_inlet}$$
$$Ex_{product_outlet} = Ex_{eco1_outlet} + Ex_{eco2_outlet} + Ex_{eco3_outlet} + Ex_{hpbank_outlet} + Ex_{psh_outlet} + Ex_{ssh_outlet}$$

$$Ex_{product} = (Ex_{product_outlet} - Ex_{product_inlet}) + Ex_{desh}$$

d. Perhitungan Efisiensi Eksergi

$$Exergy_efficiency = (Ex_{product} / Ex_{fluegas}) * 100$$



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA