



Analisis Efisiensi High Pressure Heater Pada Back Pressure Type Turbine Unit 2 PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)

Tugas Akhir

**Oleh:
Rezki Fernanda (4232201020)**

**Teknik Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul: "*Analisis Efisiensi High Pressure Heater Pada Back Pressure Type Turbine Unit 2 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia*" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 13 Juli 2026

A handwritten signature in black ink is written over a 10,000 Rupiah banknote. The banknote is yellow and green, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'MERDEKA TEMPAT'. The serial number '40CE0A0X011004454' is visible at the bottom of the note.

Nama: Rezki Fernanda

NIM: 4232201020

Lembar Pengesahan Industri

Data Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan Akademik.

Disusun oleh: Rezki Fernanda (4232201020)

Program Studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi (TRPE)
Jurusan: Teknik Elektro (Politeknik Negeri Batam)

Judul Tugas Akhir: Analisis Efisiensi High Pressure Heater Pada Back Pressure Type Turbin Unit 2 PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI)

Perusahaan: PT. Bintan Alumina Indonesia

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing:



Nama: Dr. Didi Istardi S.T., M.Sc.
NIK: 102022

Pembimbing Industri:



Nama: Muhammad Ibnu Rusdi
NIK: 119040034

HRD/Manager



Nama: Japrianto
NIK: 12007003

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S. Tr. T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Rezki Fernanda (4232201020)

Tanggal Sidang: 06 Juli, 2026

Disetujui oleh:

Dosen Penguji I



Muhammad Syafei Gozali S.T., M.T.
NIK: 107050

Dosen Pembimbing



Dr. Didi Istardi S.T., M.Sc.
NIK: 102022

Dosen Penguji II



Afif Nuril Musthofa S.Tr.T., M.Tr.T.
NIK: 125340

Analisis Efisiensi *High Pressure Heater* Pada *Back Pressure Type Turbine* Unit 2 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI)

Abstrak

High Pressure Heater (HPH) atau Pemanas Tekanan Tinggi merupakan salah satu komponen vital dalam efisiensi siklus karena HPH adalah pemanas awal air umpan sebelum menuju ke boiler untuk meningkatkan efisiensi siklus. HPH merupakan salah satu *heat exchanger* atau penukar panas dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin untuk memanaskan air umpan. Suhu dan tekanan pada uap ekstraksi dan air umpan akan memengaruhi efisiensi HPH dan memengaruhi outlet air pada HPH sebelum menuju ke *boiler*. Jika suhu air umpan outlet HPH rendah, maka suhu pada inlet economizer akan turun, sehingga boiler bekerja lebih keras dalam memanaskan air. Hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dikarenakan peningkatan penggunaan bahan bakar pada boiler dan peningkatan biaya produksi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghitung efisiensi HPH pada PT. Bintan Alumina Indonesia unit 2, sehingga dapat mengetahui performa dari *high pressure heater*. Perhitungan efisiensi HPH unit 2 PT. BAI dilakukan dengan metode analisis termodinamika. Dari hasil perhitungan yang didapatkan, efisiensi HPH 1 tertinggi pada tanggal 01 Februari sebesar 62,20% dan HPH 2 sebesar 60,20%. Sedangkan efisiensi ideal HPH 1 yang didapatkan adalah 62,90% dan efisiensi HPH 2 sebesar 60,98%. Dengan itu dapat dinyatakan efisiensi HPH unit 2 PLTU PT. BAI masih dalam kondisi ideal dan berjalan dengan optimal.

Kata kunci: *high pressure heater*, penukar panas, efisiensi, tekanan, suhu

Analysis of High Pressure Heater Efficiency in Back Pressure Turbine Unit 2 of PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI) Steam Power Plant

Abstract

The High Pressure Heater (HPH) is a crucial component of cycle efficiency because it preheats the feedwater before it reaches the boiler, increasing cycle efficiency. The HPH is a heat exchanger that utilizes extracted steam from the turbine to heat the feedwater. The temperature and pressure of the extracted steam and feedwater affect the efficiency of the HPH and the water outlet at the HPH before it reaches the boiler. If the feedwater outlet temperature at the HPH is low, the temperature at the economizer inlet will decrease, forcing the boiler to work harder to heat the water. This can lead to a decrease in the efficiency of the Steam Power Plant (PLTU) due to increased fuel consumption in the boiler and increased production costs. This study aimed to calculate the efficiency of the HPH at PT. Bintan Alumina Indonesia Unit 2, thus determining the performance of the high pressure heater. The efficiency calculation of HPH unit 2 of PT. BAI was carried out using the thermodynamic analysis method. Based on the calculation results, the highest efficiency recorded on February 1st was 62.20% for HPH 1 and 60.20% for HPH 2. Meanwhile, the ideal efficiency values were 62.90% for HPH 1 and 60.98% for HPH 2. Consequently, it can be concluded that the efficiency of HPH Unit 2 at the PT. BAI power plant remains within the ideal range and is operating optimally.

Keywords: high pressure heater, heat exchanger, efficiency, pressure, temperature

Kata Pengantar

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisis Efisiensi *High Pressure Heater* Pada *Back Pressure Type Turbine* Unit 2 PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)”.

Tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan guna memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S. Tr. T) pada Jurusan Teknik Elektro Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Keterbatasan kemampuan dan pengetahuan Penulis menjadi penyebab adanya kekurangan, baik dalam metode penulisan maupun pembahasan materi. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Selama masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini, Penulis telah menerima banyak bantuan, baik secara moral maupun material, yang tak ternilai harganya. Melalui lembaran ini, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Jefri Chandra dan Ibu Teti Yusriana selaku orangtua yang sangat saya sayangi, yang telah banyak memberikan perhatian, pendidikan, nasehat, dukungan moral dan material serta semangat dan do’a untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Muhammad Syafei Gozali, S.T., M.T selaku dosen wali Program Studi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang telah memberi nasehat dan ilmu selama perkuliahan.
3. Bapak Dr. Didi Istardi S.T., M. Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, motivasi dan bantuan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini.
4. Segenap dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh perkuliahan.
5. Abang Muhammad Ibnu Rusdi wakil selaku pembimbing magang di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia yang meluangkan waktu dalam mengajarkan, membantu pengambilan data Tugas akhir, memberikan ilmu yang bermanfaat dalam dunia kerja serta motivasi dan semangat kepada penulis.
6. Seluruh Tim shift B Divisi Turbin yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian dan membantu penulis dalam belajar dan menimba ilmu ketika magang.
7. Rekan-rekan seangkatan dan seperjuangan Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang telah

banyak membantu dan memberikan dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Semua pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang sudah banyak membantu penulis sehingga terselesaikan tugas akhir ini.

Penulis telah berupaya optimal dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan menyampaikan apresiasi terdalam kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan. Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Batam, 30 Juni 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rezki F.', with a stylized flourish above it.

Rezki Fernanda

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan Industri	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Back Pressure Turbine Cycle	4
2.2. High Pressure Heater	5
2.2.1. Prinsip Kerja	6
2.2.2. Struktur High Pressure Heater	7
2.2.3. Zona High Pressure Heater	8
2.2.4. Spesifikasi High Pressure Heater	9
2.3. Perpindahan Panas	10
2.3.1. Konduksi	11
2.3.2. Konveksi	11
2.3.3. Radiasi	12
2.4. Heat Exchanger	13

2.4.1. <i>Heat Exchanger</i> berdasarkan mekanisme perpindahan panas...	13
2.4.2. <i>Heat Exchanger</i> berdasarkan tipe konstruksi	14
2.4.3. <i>Heat Exchanger</i> Berdasarkan arah aliran.....	16
2.5. Analisis Efisiensi pada <i>High Pressure Heater</i> (HPH)	17
2.5.1. Mencari nilai <i>enthalpy</i> spesifik sisi masuk <i>steam</i> (h_1).....	17
2.5.2. Mencari <i>enthalpy</i> spesifik sisi keluar <i>steam</i> (h_2).....	19
2.5.3. Mencari temperatur saturasi (T_{sat})	20
2.5.4. Mencari nilai <i>enthalpy</i> spesifik pada T_{sat}	21
2.5.5. Mencari nilai <i>enthalpy</i> spesifik sisi <i>feedwater in</i> (h_A).....	23
2.5.6. Mencari nilai <i>enthalpy</i> spesifik sisi <i>feedwater out</i> (h_D)	24
2.5.7. Menghitung laju aliran uap ($\dot{m}_s$).....	25
2.5.8. Mencari nilai $Q_{desuperheating\ zone}$	25
2.5.9. Mencari nilai $Q_{condensing\ zone}$	26
2.5.10. Mencari nilai $Q_{subcooling\ zone}$	26
2.5.11. Mencari laju perpindahan panas Q_{shell}	26
2.5.12. Mencari laju perpindahan panas Q_{tube}	27
2.5.13. Menghitung efisiensi <i>High Pressure Heater</i> (HPH)	28
Bab 3. Metodologi Penelitian	29
3.1. Perancangan.....	29
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	30
3.4. Metode Penelitian	31
3.5. Perhitungan	32
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan	34
4.1 Data Hasil Penelitian	34
4.2 Pembahasan HPH 1	35
4.2.1 Mencari <i>Enthalpy Spesific Sisi Steam</i>	35
4.2.2 Mencari <i>Enthalpy Specific Feedwater</i>	38
4.2.3 Menghitung Laju Aliran <i>Steam</i> ($\dot{m}_s$)	39

4.2.4 Menghitung <i>Subcooling Zone</i>	40
4.2.5 Menghitung <i>Desuperheating Zone</i>	40
4.2.6 Menghitung <i>Condensing Zone</i>	41
4.2.7 Menghitung Perpindahan Panas sisi <i>Shell (Qshell)</i>	41
4.2.8 Menghitung Laju Perpindahan Panas sisi <i>Tube (Qtube)</i>	41
4.2.9 Menghitung Efisiensi HPH 1	42
4.3 Hasil perhitungan efisiensi HPH 1 dan 2.....	43
4.4 Perbandingan Efisiensi Tertinggi dan Efisiensi Ideal HPH	45
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	48
5.1. Kesimpulan	48
5.2. Saran	48
Daftar Pustaka	49
Biodata	51
Lampiran	52

Daftar Gambar

Gambar 1. Siklus Turbin <i>Back Pressure</i> Unit 2 PT. BAI.....	4
Gambar 2. Struktur High Pressure Heater	7
Gambar 3. Zona <i>High Pressure Heater</i>	8
Gambar 4. <i>High Pressure Heater</i>	10
Gambar 5. Perpindahan Panas Konduksi	11
Gambar 6. Perpindahan Panas Konveksi	11
Gambar 7. Perpindahan Panas Radiasi	12
Gambar 8. <i>In-Direct Heating</i> dan <i>Direct Heating</i>	14
Gambar 9. <i>Heat Exchanger</i> Tipe <i>Shell and Tube</i>	14
Gambar 10. <i>Plate and Frame Heat Exchanger</i>	15
Gambar 11. <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	15
Gambar 12. <i>Spiral Heat Exchanger</i>	16
Gambar 13. <i>Parallel flow Heat Exchanger</i>	17
Gambar 14. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari h_1	18
Gambar 15. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari h_2	19
Gambar 16. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari T_{sat}	20
Gambar 17. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari $h_{sat, f}$	22
Gambar 18. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari $h_{sat, g}$	22
Gambar 19. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari h_A	24
Gambar 20. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari h_D	25
Gambar 21. Penggunaan <i>steamtab</i> dalam mencari $C_{p \text{ cold}}$	27
Gambar 22. Diagram alir perancangan.....	29
Gambar 23. Tempat Penelitian	30
Gambar 24. Penggunaan <i>steamtab superheated/subcooled</i>	32
Gambar 25. Penggunaan <i>steamtab saturated</i>	33
Gambar 26. Nilai spesifik entalpi sisi masuk <i>steam</i>	36
Gambar 27. Nilai spesifik entalpi sisi keluar <i>steam</i>	36
Gambar 28. Nilai temperatur pengembunan	37
Gambar 29. Nilai spesifik entalpi $h_{sat, f}$	37
Gambar 30. Nilai spesifik entalpi $h_{sat, g}$	38
Gambar 31. Nilai spesifik entalpi sisi masuk <i>feedwater</i> (h_A).....	38
Gambar 32. Nilai spesifik entalpi sisi keluar <i>feedwater</i> (h_D).....	39
Gambar 33. Nilai $C_{p \text{ Water}}/C_{p \text{ Cold}}$	42
Gambar 34. Grafik efisiensi HPH 1	44
Gambar 35. Grafik efisiensi HPH 2	44
Gambar 36. Grafik efisiensi HPH 1 dan HPH 2.....	45

Daftar Tabel

Tabel 1. Spesifikasi <i>High Pressure Heater</i>	9
Tabel 2. Parameter Penelitian	31
Tabel 3. Data Hasil Penelitian.....	34
Tabel 4. Data Penelitian Sebagai Contoh Perhitungan Efisiensi	35
Tabel 5. Data Hasil Efisiensi HPH Unit 2 tanggal 20 Januari 2026.....	43
Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Efisiensi HPH	43
Tabel 7. Data Spesifikasi HPH	45
Tabel 8. Efisiensi Ideal HPH	47

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Pembangkit listrik dibangun untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Pembangkit listrik yang sering digunakan saat ini adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik berbahan bakar utama batu bara yang memanfaatkan fluida kerja uap (*steam*) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dalam *boiler*. Uap panas yang bertekanan tersebut berasal dari hasil perubahan fase air yang dipanaskan didalam boiler. Efisiensi sebuah pembangkit harus dijaga agar maksimal dan efektif saat beroperasi serta menghemat penggunaan bahan bakar batu bara.[1]

PT BAI memiliki pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batu bara. Fase pertama dan kedua saat ini sedang beroperasi, memiliki enam unit turbin dengan 2 turbin tipe *condensor* (unit 1 dan 4) dan 4 tipe turbin *back pressure* (unit 2,3,5,6). Turbin unit 2 merupakan turbin tipe *back pressure* karena tidak memiliki kondensor dan uap dari hasil penggunaan turbin langsung dialirkan ke departemen alumina. Turbin *back pressure* memiliki sistem uap ekstraksi yang terdiri 3 bagian yaitu ekstraksi 1, ekstraksi 2, dan ekstraksi 3. Uap ekstraksi pada bagian 1 dan 2 digunakan untuk memanaskan air yang melewati *High Pressure Heater* (HPH) dan uap ekstraksi 3 digunakan sebagai suplai uap alumina. Turbin unit 2 PT BAI memiliki *load* maksimum sebesar 25MW.

Produksi energi listrik pada suatu pembangkit dipengaruhi oleh komponen-komponen utama dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) seperti, turbin uap, *boiler*, dan generator. Proses pembangkit listrik dimulai dari suplai air normal yang dipompa melewati *gland seal heater* dan menuju deaerator untuk dipanaskan. Kemudian air di pompa oleh *feed water pump* menuju *boiler* yang dimana sebelum itu melewati *high pressure heater* (HPH) untuk dipanaskan lagi terlebih dahulu. Kemudian air dipanaskan di boiler hingga mencapai suhu $>500^{\circ}\text{C}$ dimana air sudah berubah fasa menjadi uap kering atau *superheated steam*, lalu dialirkan ke turbin untuk menggerakkan blade-blade turbin yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.[2]

High Pressure Heater (HPH) merupakan salah satu *heat exchanger* atau penukar panas yang berfungsi memanaskan air umpan *boiler* dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin uap. HPH terdiri dari sejumlah selubung (*shell*) yang mengandung uap serta sejumlah tabung (*tube*) yang di bagian dalamnya berisi air umpan. Perbedaan suhu antara fluida di dalam tabung dan di dalam selubung menyebabkan terjadi nya transfer panas antara fluida di luar tabung dengan fluida di dalam tabung. HPH bisa meminimalisir beban kerja boiler karena air umpan dipanaskan terlebih dahulu di HPH sebelum masuk ke

economizer pada *boiler*. Dengan demikian suhu air umpan yang diterima *boiler* lebih tinggi, sehingga panas yang dibutuhkan *boiler* untuk memanaskan air hingga menjadi uap kering menjadi lebih sedikit.[3] Dengan itu bisa menaikkan efisiensi dari boiler dan pembangkit secara keseluruhan.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Adinda Dwi, dkk di PT POMI Unit 3 (2022) kerusakan pada HPH dapat mengurangi umur, efektifitas dan performa dari HPH serta suhu air pengisi boiler pada inlet *economizer* akan turun, sehingga butuh pemanasan yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan konsumsi bahan bakar pada boiler akan naik sehingga menyebabkan penurunan pada efisiensi siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan peningkatan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi HPH, sehingga dapat dilakukan perawatan (maintenance) yang baik secara berkala untuk menghemat biaya operasional harian pada alat tersebut.[4]

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ahmad Fauzan, di PT BAI unit 1 (2022), Pemanas tekanan tinggi (HPH) memanaskan feedwater sebelum masuk ke boiler. Kerusakan HPH dapat menurunkan performa, menurunkan suhu inlet *economizer*, meningkatkan kebutuhan panas boiler, serta menaikkan konsumsi bahan bakar dan menurunkan efisiensi siklus. Penelitian ini menghitung efisiensi HPH PT Bintan Alumina Indonesia (BAI) Unit 1 menggunakan analisis perpindahan panas. Hasilnya, efisiensi tertinggi tercatat pada 4 November 2022 sebesar 74,08%, dan efisiensi terendah pada 9 November 2022 sebesar 56,40%. Efisiensi ditentukan dari perbandingan panas uap (Q_{steam}) dan panas yang diterima air (Q_{water}), di mana suhu proses yang lebih tinggi menghasilkan efisiensi HPH yang lebih besar.[2]

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan menghitung efisiensi kinerja *high pressure heater* pada turbin unit 3 PLTU PT.BAI untuk mengetahui apakah *high pressure heater* masih dalam performa ideal. Jika menurun, dilakukan perawatan terhadap alat yang baik dan terjadwal sehingga mengurangi biaya operasional dan membantu meningkatkan efisiensi siklus.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada analisis efisiensi *High Pressure Heater* sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) Unit 2 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia?
2. Bagaimana menghitung efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) menggunakan data aktual pada DCS (*Distributed Control System*) dengan menggunakan *software steamtab*?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) kondisi ideal dengan kondisi aktual?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, diantaranya:

1. Menganalisis efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) Unit 2 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia dengan prinsip perpindahan panas dan termodinamika.
2. Menghitung efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) menggunakan *steamtab*
3. Membandingkan efisiensi tertinggi aktual dengan efisiensi kondisi ideal dengan melihat data hasil perhitungan menggunakan aplikasi *steamtab*.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian analisis efisiensi *High Pressure Heater* berikut ini:

1. Dapat menambah pengetahuan dan pengalaman penulis dalam menganalisis efisiensi *High Pressure Heater* (HPH) Unit 2 PT. Bintan Alumina Indonesia.
2. Dapat memahami prinsip kerja *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
3. Dapat mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi *High Pressure Heater* (HPH).
4. Diharapkan bisa menjadi bahan referensi untuk mengembangkan pengetahuan mahasiswa tentang *High Pressure Heater* (HPH).
5. Diharapkan dapat menaikkan setidaknya sedikit dari efisiensi siklus PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia.

1.5. Batasan

Batasan masalah pada analisis efisiensi *High Pressure Heater* ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada *High Pressure Heater* (HPH) unit 2 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia.
2. Perhitungan data HPH dilakukan hanya pada data aktual *Distributed Control System* (DCS) PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia.
3. Analisis berdasarkan data aktual *High Pressure heater* pada setiap jam 14.00 WIB.
4. Analisis korosi diabaikan.
5. Analisis material diabaikan.

ialah uap ekstraksi 3 dari turbin *back pressure*. Dari *deaerator*, air yang sudah dipanaskan kemudian di pompa oleh pompa air umpan atau *feed water pump* untuk menambah tekanan air. Air tersebut melewati pipa induk suhu rendah bertekanan tinggi lalu menuju *High Pressure Heater* (HPH) untuk pemanasan berlanjut.[2]

PLTU PT. BAI menggunakan dua buah HPH pada setiap turbin sehingga pemanasan air umpan bertekanan tinggi dilakukan secara bertahap. Proses selanjutnya air umpan menuju bagian awal dari boiler yaitu *economizer* untuk pemanasan berlanjut. *Economizer* memanfaatkan panas sisa pembakaran pada *furnace*. Air dari *economizer* di alirkan ke steam drum. *Steam drum* adalah bejana yang menampung air umpan boiler yang masih berfasa cair dan yang telah menjadi uap jenuh. Pada *steam drum*, alat yang disebut *separator* memisahkan antara air dan uap jenuh. Uap jenuh tersebut dialirkan ke *superheater* dan air akan disalurkan ke *downcomer*, disirkulasikan pada boiler yang disebut *water wall*. Pada *water wall* air akan menerima panas hasil pembakaran agar menjadi uap jenuh, kemudian disirkulasikan kembali menuju *steam drum*. Uap *superheater* keluaran dari boiler disalurkan ke pipa induk boiler dan menuju ke inlet dari turbin back pressure unit 2. Poros turbin dan generator disinkron sehingga rotor generator akan ikut berputar mengikuti putaran turbin. Gerak putar pada rotor yang mempunyai medan magnet menimbulkan arus listrik induksi pada bagian stator generator. Arus listrik yang dihasilkan kemudian dikirim ke jaringan. Kecepatan putaran turbin harus dipertahankan pada 3000 rpm agar generator tetap berada di frekuensi 50Hz dalam menghasilkan listrik. Pengaturan putaran turbin dilakukan dengan mengatur *flow steam* atau aliran uap yang masuk ke turbin. Laju aliran uap diatur oleh bukaan katup *governor*. [2] Uap pada turbin *back pressure* tidak di kondensasikan, tetapi disalurkan ke departemen alumina digunakan untuk proses produksi. Tetapi ada air balik alumina yang disalurkan ke *deaerator* untuk disirkulasikan kembali. Uap yang mengalir ke alumina itu melewati uap ekstraksi 3. Untuk ekstraksi 1 dan 2 dialirkan ke HPH 1 dan HPH 2 sebagai pemanas air umpan menggunakan prinsip *heat exchanger*. Begitulah siklus air dan uap yang terjadi di PLTU PT. BAI.

2.2. High Pressure Heater

High pressure heater (HPH) merupakan salah satu alat penukar kalor yang sering digunakan di industri pembangkit listrik yang berfungsi sebagai pemanas air umpan yang dipompa oleh *feed water pump* sebelum masuk ke *economizer* pada boiler. Media pemanas yang digunakan adalah uap panas hasil ekstraksi dari turbin. *High pressure heater* terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube (tube bundle)* di bagian dalam, dimana temperatur fluida di dalam *tube bundle* berbeda dengan di luar tube (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam tube dan diluar tube. Adapun

daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang luar dari *tube* disebut *shell side*. [5]

High Pressure Heater (HPH) dapat meminimalisir penggunaan bahan bakar pada boiler, karena suhu air pengisi yang di pompa dari *deaerator* oleh *feed pump* menuju *boiler* telah dipanaskan terlebih dahulu oleh *High Pressure Heater*. Suhu air pengisi sebelum menuju *economizer* pada *boiler* sudah tinggi sehingga *boiler* tidak membutuhkan pembakaran yang banyak untuk memanaskan air pengisi. Dengan demikian, penggunaan bahan bakar batu bara pada *boiler* berkurang sehingga meningkatkan efisiensi pembangkit secara menyeluruh dan berkurangnya biaya operasional harian PLTU. [3]

2.2.1. Prinsip Kerja

Proses perpindahan panas pada *High Pressure Heater* (HPH) diawali dengan air umpan bertekanan tinggi yang di pompa oleh *feed water pump* mengalir melewati HPH. Pada HPH air umpan (*feed water*) tersebut melewati tabung-tabung kecil (*tube*). Uap ekstraksi dari turbin di kirim ke steam *inlet* memasuki sisi luar HPH atau cangkang (*shell*) kemudian memanaskan tabung-tabung (*tube*) yang berisi air umpan. Suhu dari uap ekstraksi sangat tinggi sehingga terjadi perbedaan suhu antara sisi *tube* dan sisi *shell*. Dengan demikian terjadi tranfer panas antara sisi uap (*shell*) terhadap sisi air umpan yang berada di tabung-tabung (*tube*). Air umpan yang melewati akan terjadi peningkatan suhu, sedangkan uap pemanas dari ekstraksi turbin akan terjadi kondensasi di bagian bawah dari cangkang (*shell*) HPH. Air kondensat tersebut akan di alirkan kembali ke pemanas bertekanan rendah tipe campuran atau tipe *open feed water (deaerator)* untuk dipanaskan kembali.

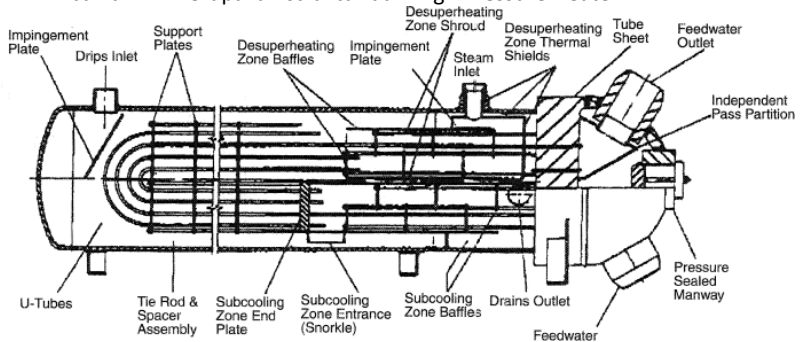
Pada *high pressure heater* juga terdapat *three ways valve* (katup tiga arah) yang berfungsi membantu mengalirkan air umpan menuju *boiler* saat HPH terjadi gangguan. Katup yang mengarah ke HPH akan tertutup dan katup yang langsung menuju ke *boiler* akan terbuka. Katup tiga arah ini hanya digunakan saat *emergency* karena penggunaan katup ini dapat mengurangi efisiensi siklus PLTU. Suhu air umpan yang masuk ke *boiler* rendah menyebabkan boiler membutuhkan bahan bakar lebih banyak untuk memanaskan air umpan.

Untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas, HPH dirancang dengan aliran seimbang antara air dan uap. Sistem ini juga perangkat yang mengontrol tingkat kondensat didalam *shell* guna meningkatkan area perpindahan panas. *High pressure heater* juga memiliki *safety rail* dan *transfer line* untuk menjaga keselamatan operasional. Suhu dan tekanan pada saluran masuk dan keluar HPH

harus selalu dipantau dan suhu dan tekanan uap ekstraksi disesuaikan dengan kebutuhan untuk memenuhi persyaratan suhu optimal.[6]

2.2.2. Struktur High Pressure Heater

Dibawah ini merupakan struktur dari High Pressure Heater.



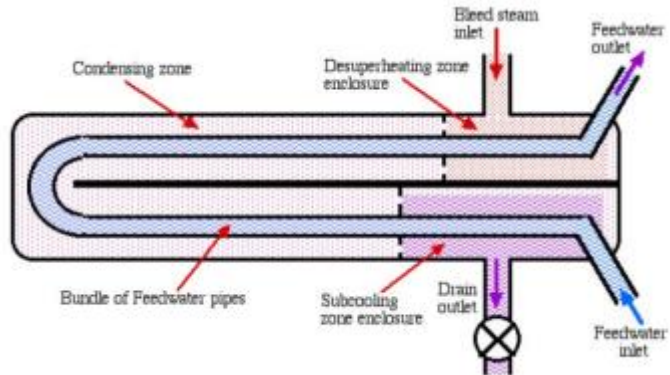
Gambar 2. Struktur High Pressure Heater

(Sumber: proses perpindahan panas, 1994, CRC Press)

1. *Shell* adalah cangkang/silinder/selongsong yang menutupi/melingkupi *tube*.
2. *U-Tubes* adalah pipa yang dibengkokkan membentuk huruf U, sebagai tempat mengalirnya *feedwater*.
3. *Steam inlet* dan *steam outlet* adalah tempat masuk dan keluar nya uap pemanas dari uap ekstraksi turbin
4. *Feedwater inlet* dan *feedwater outlet* adalah saluran masuk dan keluar air umpan.
5. *Water level* adalah sensor untuk mengetahui level air kondensat di dalam shell HPH.
6. *Pass Partition* adalah sekat/plat yang memisahkan sisi *feedwater inlet* dan sisi *feedwater outlet*.
7. *Impingement Plate* adalah piringan yang ada pada saluran uap masuk ataupun drain untuk melindungi *tube* dari aliran uap/drain yang masuk penukar panas.
8. *Tubesheet* adalah pelat disk yang dibor sebagai tempat ujung *U-tubes* yang dipasang.
9. *Tie Rods and Spacers* merupakan alat ini berfungsi menopang *tube bundle* dan *baffle* agar terikat dengan benar.
10. *Tubes Support* berfungsi sebagai penyangga tube dan melindungi tube dari gesekan satu sama lain.

11. Vent berfungsi untuk melepaskan gas yang tidak terkondensasi dari sisi *shell* dan *tube* pada saat *start up* dan operasi normal dari penukar panas.

2.2.3. Zona High Pressure Heater



Gambar 3. Zona High Pressure Heater

(Sumber: Bode et al., 2016)

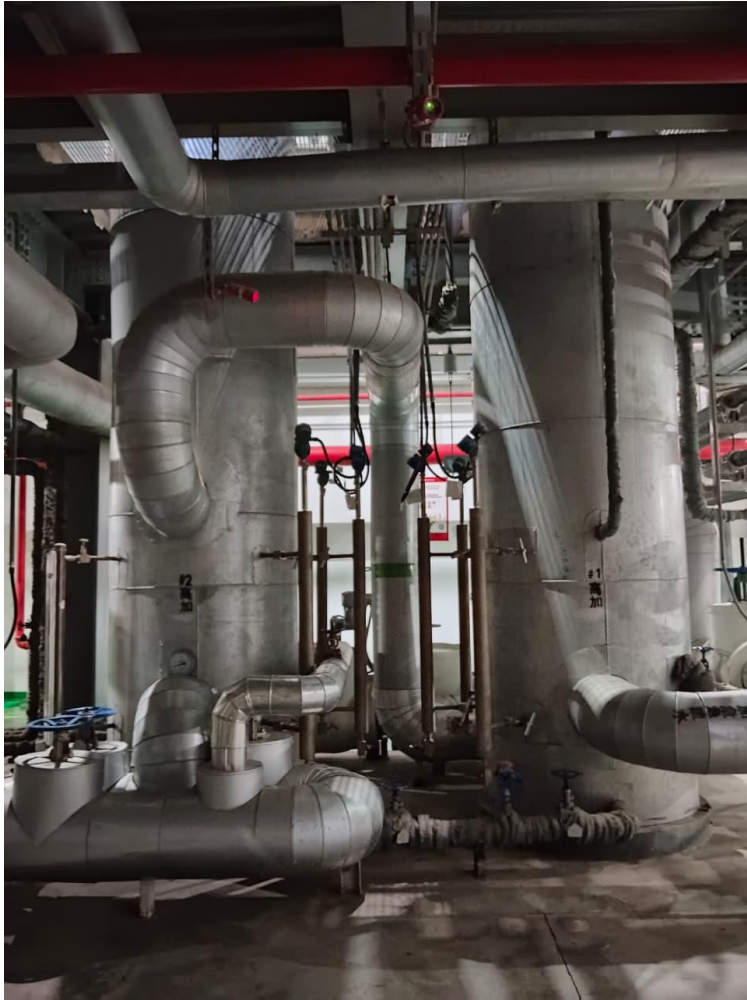
Pada penukar panas tipe *shell and tube*, terdapat tiga zona utama yaitu zona Desuperheating, zona *Condensing*, dan zona *Subcooling*. Zona *Desuperheating* merupakan tempat pertama lewatnya uap ekstraksi ke dalam HPH. Di zona ini uap *superheater* yang masih dalam keadaan super panas terjadi penurunan suhu (mendingin) hingga ke permukaan *shell*. Proses ini terjadi diatas HPH ketika uap ekstraksi memindahkan panas pada air umpan. Uap panas tersebut mengalami penurunan suhu hingga mendekati jenuh. Zona *Condensing* merupakan zona dengan bagian terbesar dari HPH. Uap ekstraksi yang telah mencapai titik jenuh diarahkan oleh plat-plat *boffle* menuju zona *condensing* ini, dimana panas latennya diserap sehingga terjadi kondensasi uap menjadi air yang disebut *drain*. Kemudian tampung di dasar *shell* atau zona *subcooling*. Zona *Subcooling* merupakan bagian terbawah di HPH. Setelah uap terkondensasi sempurna, air kondensat yang dihasilkan masih bersuhu tinggi dan akan didinginkan sampai

keadaan *subcooled*. Di zona ini tidak terjadi perubahan fasa. Dan di zona ini lah air kondensat di alirkan menuju *deaerator*. [7]

2.2.4. Spesifikasi High Pressure Heater

Tabel 1. Spesifikasi High Pressure Heater

Item	High Pressure Heater 1	High Pressure Heater 2
Jenis	Vertikal dengan tipe tabung U	Vertikal dengan tipe tabung U
Model	JG-180-I	JG-180-II
Luas permukaan pertukaran panas (m ²)	180	180
Tekanan desain sisi uap / sisi air (MPa)	3,4/16,5	2,2/16,5
Suhu desain sisi uap / sisi air (°C)	425/270	370/270
Tekanan operasi sisi uap / sisi air (MPa)	2,168/12,75	1,44/12,75
Suhu operasi sisi uap / sisi air (°C)	377,5/217	331,2/196
Tekanan pengaturan safety valve sisi air (MPa)	16,0	16,0
Tekanan pengaturan safety valve sisi uap (MPa)	3,2	2,1
Perbedaan suhu akhir air umpan (°C)	1	3
Perbedaan suhu akhir air drainase (°C)	22,3	39,9



Gambar 4. High Pressure heater

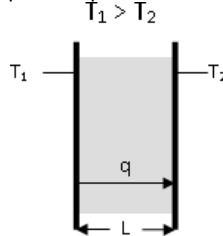
2.3. Perpindahan Panas

Kalor merupakan energi yang berpindah dari satu benda atau sistem ke benda atau system lain karena adanya perbedaan suhu. Energi ini selalu mengalir dari benda dengan suhu yang lebih tinggi ke benda dengan suhu yang lebih rendah

hingga mencapai keseimbangan *thermal*. Perpindahan panas terdiri dari tiga jenis, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.[2]

2.3.1. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari suatu benda dengan suhu lebih tinggi ke benda lain dengan suhu lebih rendah melalui kontak langsung tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat itu sendiri.[8]



Gambar 5. Perpindahan Panas Konduksi (Sumber: Kurniawan, 2007)

Persamaan perpindahan kalor suatu media dengan cara konduksi satu dimensi, *steady state* dinyatakan dengan Hukum Fourier pada persamaan 1 (Haryanto 2015), yaitu:

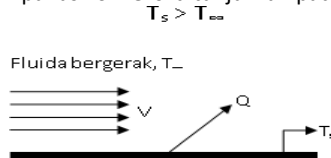
$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- K = Konduktivitas termal bahan (W/m°C)
- A = Luas penampang kalor (m²)
- ΔT = perbedaan suhu yang terjadi pada penampang (°C/m)
- L = Ketebalan dinding atau bahan (m)
- q = Laju perpindahan kalor (W)

2.3.2. Konveksi

Ketika suatu benda atau system berada di suhu tinggi dalam lingkungan fluida bersuhu rendah, maka terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda ke lingkungan. Perpindahan panas konveksi ditunjukkan pada gambar berikut ini.[8]



Gambar 6. Perpindahan Panas Konveksi (Sumber: Kurniawan, 2007)

Perpindahan panas konveksi dinyatakan dengan Hukum Newton untuk pendinginan (Newton's Law of Cooling) pada persamaan 2, yaitu:

$$q = h \cdot A (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

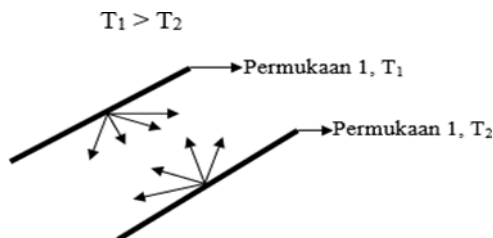
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W/m}^2\text{°C}$)
- A = Luas penampang perpindahan kalor (m^2)
- T_s = Temperatur permukaan (°C)
- T_∞ = Temperatur fluida (°C)
- q = Laju perpindahan kalor (W)

Berdasarkan penyebab terjadinya, perpindahan panas konveksi dapat diklarifikasikan menjadi dua, yaitu

1. Konveksi bebas atau alami (*free convection/natural convection*)
Konveksi ini terjadi karena adanya perbedaan kerapatan fluida yang disebabkan oleh perbedaan suhu.
2. Konveksi paksa (*forced convection*)
Konveksi paksa terjadi karena adanya gerakan pertukaran suhu yang disebabkan pengaruh mekanis (energi dari luar) seperti kompresor, blower, pompa.

2.3.3. Radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui zat perantara (medium) dan dapat merambat di udara atau ruang hampa (vakum). Ketika suatu benda di kurung di dalam suatu pengurung, dan suhu pengurung lebih rendah dari suhu benda yang dikurung, maka terjadi perpindahan panas dari benda ke pengurung sehingga suhu benda akan turun sekalipun di ruang pengurung hampa (vakum).[8]



Gambar 7. Perpindahan Panas Radiasi (Sumber: Kurniawan, 2007)

Perpindahan kalor radiasi dinyatakan dengan hokum Stefan Boltzman ditunjukkan pada persamaan 3.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- ε = Emisivitas, $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ($\varepsilon = 1$ untuk benda hitam sempurna)
- σ = Konstanta Stefan Boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$)
- T_1 = Temperatur permukaan benda 1 (K)
- T_2 = Temperatur permukaan benda 2 (K)
- A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)
- q = Laju perpindahan kalor (W)

Perpindahan panas yang terjadi pada sebuah alat kalor meliputi konveksi pada tiap fluida dan aliran konduksi pada dinding pemisah antar dua fluida tersebut. Sedangkan perpindahan panas radiasi diabaikan karena tidak ada pengaruh yang signifikan. Dalam menganalisis alat penukar panas diperlukan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) yang mengganti koefisien konveksi dan koefisien konduksi untuk menghitung catu kalor (Q) yang terjadi.

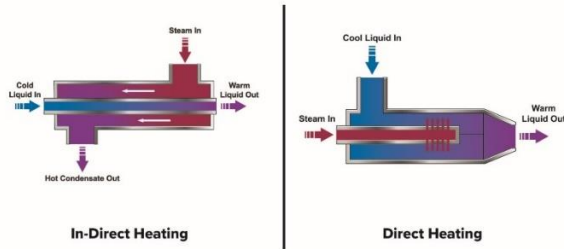
2.4. Heat Exchanger

Penukar panas atau *Heat Exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk mentransfer panas dari suatu media ke media yang lain yang mempunyai perbedaan temperatur. Alat ini dapat ditemukan di industri pembangkit seperti *boiler*, *condenser*, sistem sirkulasi pendingin, pemanas lanjutan (HPH dan LPH), dan lain-lain. Pada alat rumah tangga seperti *Air Conditioner* (AC), lemari es, dan pada transportasi yang digunakan untuk mendinginkan mesin yang disebut dengan *radiator*. Jenis umum penukar panas biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi yang terjadi dari sebuah selongsongan yang di dalamnya di susun suatu analus dangan rangkaian tertentu (Bastanta, 2012).[9]

2.4.1. Heat Exchanger berdasarkan mekanisme perpindahan panas

Berdasarkan mekanisme perpindahan panasnya, *heat exchanger* dibagi menjadi dua, yaitu *direct contact heat exchanger* dan *indirect contact heat exchanger*. *Direct contact heat exchanger* merupakan perpindahan panas yang terjadi melalui kontak langsung antara dua fluida tanpa dinding pemisah.

Sedangkan *indirect contact* sebaliknya, merupakan perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida dibatasi oleh dinding pembatas.

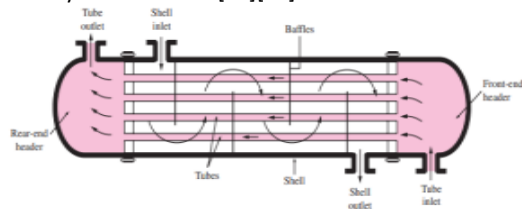


Gambar 8. In-Direct Heating dan Direct Heating
(Sumber: Hydro-Thermal.com)

2.4.2. Heat Exchanger berdasarkan tipe konstruksi

1. Shell and tube heat exchanger

Alat penukar panas ini terdiri dari suatu bundle pipa (*tube*) yang dihubungkan secara *parallel* dan ditempatkan dalam sebuah cangkang (*shell*). Fluida yang satu mengalir di dalam tabung (*tube*) dan fluida yang satunya mengalir di luar tabung (*tube*) atau mengalir di dalam cangkang (*shell*). Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas biasanya di pasang sekat (*boffle*) yang bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal (*residence time*), akan tetapi pemasangan sekat dapat memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pada pompa, oleh sebab itu laju aliran fluida yang di pertukarkan panasnya harus diatur.[10][11]

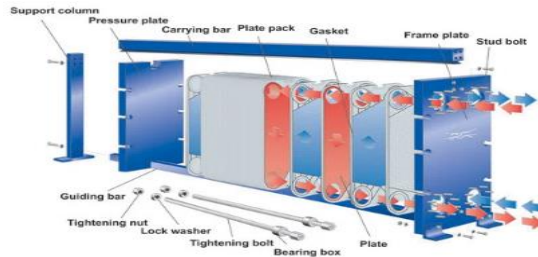


Gambar 9. Heat Exchanger Tipe Shell and Tube
(sumber: Ahmad Husen,2020)

2. Plat and frame heat exchanger

Jenis *heat exchanger* yang menggunakan susunan pelat-pelat tipis berbentuk persegi Panjang sebagai media perpindahan panas antara dua fluida. Pelat-pelat ini ditata secara berurutan hingga membentuk suatu *plate pack* yang kemudian

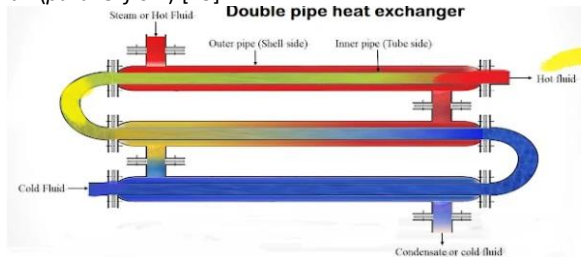
dikembangkan menggunakan rangka (*frame*) dan baut pengikat. Setiap pelat memiliki pola alur (*corrugation*) seperti bentuk *chevron* atau *wavy* yang berfungsi meningkatkan turbulensi aliran sehingga perpindahan panas menjadi lebih efektif. Dua fluida panas dan dingin dialirkan secara bergantian diantara pelat-pelat tanpa saling bercampur dan dipisahkan oleh gasket yang juga mengatur arah dari aliran fluida.[12]



Gambar 10. Plate and Frame Heat Exchanger
(Sumber : www.alfalaval.id)

3. Double pipe heat exchanger

Alat penukar panas paling sederhana terdiri dari dua pipa konsentris, satu pipa berada didalam (*inner pipe*) dan satu lagi berada diluar (*outer pipe* atau *annulus*). Dua fluida mengalir terpisah, satu didalam pipa dan fluida satunya mengalir di annulus diantara kedua pipa. Perpindahan panas terjadi melalui dinding pipa bagian dalam yang memisahkan kedua fluida tersebut. Biasanya aliran kedua fluida diatur berlawanan arah (*counter flow*) karena konfigurasi ini memberikan efisiensi dan laju perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan aliran searah (*parallel flow*).[13]

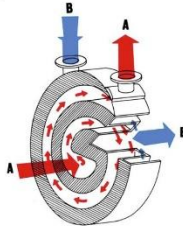


Gambar 11. Double Pipe Heat Eexchanger
(Sumber: www.chemicalslearning.com)

4. Spiral heat exchanger

Jenis alat penukar panas yang terdiri dari dua jalur aliran berbentuk spiral (pilin) yang dibentuk dari dua lembar plat logam datar kemudian digulung

sehingga menghasilkan saluran melingkar yang panjang dan kontinu. Kedua fluida panas dan dingin dialirkan pada dua saluran spiral yang terpisah oleh dinding logam tipis sehingga perpindahan panas dapat terjadi secara efektif tanpa mencampur fluida. Bentuk spiral memungkinkan aliran fluida tetap dalam kondisi *single path* (satu jalur aliran) sehingga mengurangi *dead zone* dan meningkatkan turbulensi, yang berpengaruh langsung pada peningkatan koefisien perpindahan panas.[14]



Gambar 12. Spiral Heat Exchanger
(Sumber: www.unggulpp.com)

5. *Finned tube heat exchanger*

Alat penukar panas yang menggunakan pipa (*tube*) yang diberi sirip (*fin*) pada permukaan luarnya untuk meningkatkan luas perpindahan panas. Sirip-sirip ini dapat berbentuk datar, spiral, melingkar, ataupun longitudinal, dan berfungsi memperbesar area kontak antara fluida dengan permukaan pipa sehingga meningkatkan laju perpindahan panas terutama ketika salah satu fluida memiliki koefisien *heat transfer* yang rendah, seperti udara atau gas. Dengan adanya sirip, perpindahan panas pada sisi fluida yang rendah konduktivitasnya dapat ditingkatkan secara signifikan tanpa harus memperbesar ukuran *heat exchanger*. Alat penukar panas ini biasanya digunakan pada fluida gas-cair seperti *radiator*, kondensor dan *evaporator*.

2.4.3. Heat Exchanger Berdasarkan arah aliran

Dilihat dari aliran fluida yang mengalir di dalam *heat exchanger*, *heat exchanger* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *single pass heat exchanger* dan *multi pass heat exchanger*. *Heat exchanger single pass* ialah ketika suatu fluida tepat mengalir hanya satu kali di dalam *heat exchanger* tersebut. Sedangkan dikatakan *multi pass* apabila fluida mengalir lebih dari satu kali di dalam sebuah *heat*

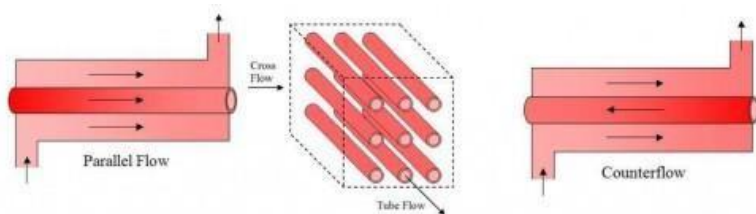
exchanger. Untuk *single pass heat exchanger* terdapat tiga jenis arah alirannya yaitu *counter flow* dan *parallel flow*. [2]

1. *Counter flow heat exchanger*

Alat penukar panas yang menggunakan arah aliran fluida yang berlawanan. ketika arah aliran antara fluida dingin dan fluida panas saling berlawanan. Pada kondisi ini perbedaan temperatur antar fluida tidak terlalu signifikan sehingga perpindahan panas sepanjang aliran relatif konstan. Selain itu, pada *counter flow heat exchanger* memungkinkan bahwa temperatur keluaran fluida dingin lebih tinggi dari pada temperatur keluaran fluida panas.

2. *Parallel flow heat exchanger*

jenis penukar panas di mana fluida panas dan fluida dingin mengalir secara sejajar dalam arah yang sama. Heat exchanger tipe ini juga sering disebut *cocurrent flow heat exchanger*. Pada *heat exchanger* ini terjadi perbedaan temperatur yang signifikan antar kedua fluida pada saat awal kedua fluida masuk. Dan temperatur keluaran dari fluida dingin tidak mungkin lebih besar dari pada temperatur fluida panas. Berikut merupakan skema heat exchanger berdasarkan aliran fluida.



Gambar 13. Parallel flow Heat Exchanger

(Sumber : Fitroh Dzulqornain, 2015)

2.5. Analisis Efisiensi pada *High Pressure Heater* (HPH)

Analisis efisiensi *high pressure heater* dilakukan dengan metode perpindahan panas dengan rumus termodinamika.

2.5.1. Mencari nilai *enthalpy* spesifik sisi masuk *steam* (h_1)

Untuk mencari nilai *enthalpy* spesifik (h_1). Dapat dicari dari nilai temperatur atau tekanan uap ekstrasi (T_{1s}) yang sudah ada. Menggunakan *superheated steamtab* dengan memakai rumus interpolasi ataupun menggunakan aplikasi *steamtab* seperti persamaan 4 berikut ini.

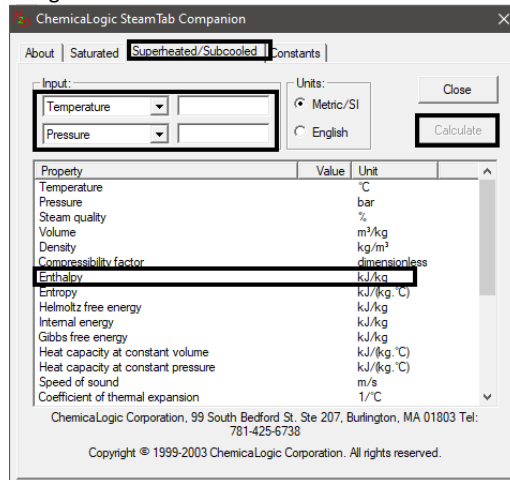
Menggunakan nilai temperatur ekstraksi steam masuk (T1s) yang telah diperoleh.

$$h1 = \frac{(T1s - T1s')(h1s'' - h1s')}{(T1s'' - T1s')} + h1s' \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- h1 = Spesifik entalpi sisi masuk *steam* (kJ/kg)
- h1s' = Spesifik entalpi pada T1s' (kJ/kg)
- h1s'' = Spesifik entalpi pada T1s'' (kJ/kg)
- T1s = Temperatur aktual (°C)
- T1s' = Temperatur bawah (terdekat di tabel sifat uap) (°C)
- T1s'' = Temperatur atas (terdekat di tabel sifat uap) (°C)

Untuk mencari entalpi spesifik sisi masuk steam (h1) menggunakan *steamtab*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 14. Penggunaan *steamtab* dalam mencari h1.
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “*Superheated/Subcooled*” kemudian isi dibagian “*Temperature*” dan “*Pressure*” data suhu uap ekstraksi masuk dan tekanan uap ekstraksi yang telah diperoleh dalam pengambilan data. Kemudian klik “*Calculate*” dan hasil akan muncul dibawah, data entalpi bisa diperoleh pada *steamtab*.

2.5.2. Mencari *enthalpy* spesifik sisi keluar *steam* (h_2)

Untuk mencari nilai *enthalpy* spesifik (h_2). Dapat dihitung dari nilai temperature sisi steam keluar (T_{2s}). Menggunakan *superheated steamtab* dengan memakai rumus interpolasi ataupun menggunakan aplikasi *steamtab* seperti persamaan 5 berikut ini.

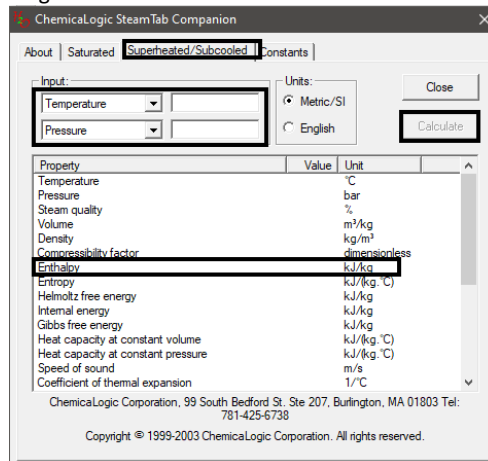
Menggunakan nilai temperatur sisi steam keluar (T_{2s}) yang sudah diketahui.

$$h_2 = \frac{(T_{2s} - T_{2s'}) (h_{2s''} - h_{2s'})}{(T_{2s''} - T_{2s'})} + h_{2s'} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- h_2 = Spesifik entalpi sisi keluar *steam* (kJ/kg)
- $h_{2s'}$ = Spesifik entalpi pada $T_{2s'}$ (kJ/kg)
- $h_{2s''}$ = Spesifik entalpi pada $T_{2s''}$ (kJ/kg)
- T_{2s} = Temperatur aktual ($^{\circ}\text{C}$)
- $T_{2s'}$ = Temperatur bawah (terdekat di tabel sifat uap) ($^{\circ}\text{C}$)
- $T_{2s''}$ = Temperatur atas (terdekat di tabel sifat uap) ($^{\circ}\text{C}$)

Untuk mencari entalpi spesifik sisi keluar *steam* (h_2) menggunakan *steamtab*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 15. Penggunaan *steamtab* dalam mencari h_2 .
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “*Superheated/Subcooled*” kemudian isi dibagian “*Temperature*” dan “*Pressure*” data suhu uap ekstraksi keluar dan tekanan uap

ekstraksi yang telah diperoleh dalam pengambilan data. Kemudian klik “Calculate” dan hasil akan muncul dibawah, data entalpi bisa diperoleh pada *steamtab*.

2.5.3. Mencari temperatur saturasi (T_{sat})

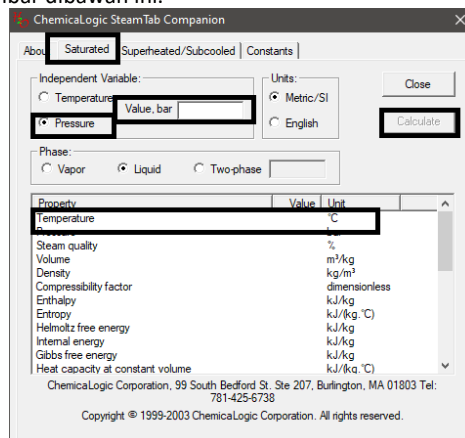
Nilai T_{sat} dapat dicari menggunakan tekanan uang ekstraksi (P_s) yang telah diperoleh dalam pengambilan data, dapat diketahui dengan melihat *steamtab* menggunakan rumus interpolasi ataupun menggunakan aplikasi *steamtab*, seperti persamaan 6 berikut ini.

$$T_{sat} = \frac{(P_s - P_{s'}) (T_{sat''} - T_{sat'})}{(P_{s''} - P_{s'})} + T_{sat'} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- T_{sat} = Temperatur saturasi yang dicari(°C)
- $T_{sat'}$ = Temperatur saturasi pada $P_{s'}$ (°C)
- $T_{sat''}$ = Temperatur saturasi pada $P_{s''}$ (°C)
- P_s = Tekanan sisi keluar *steam* aktual (Bar)
- $P_{s'}$ = Tekanan bawah (terdekat di tabel sifat uap) (Bar)
- $P_{s''}$ = Tekanan atas (terdekat di tabel sifat uap) (Bar)

Untuk mencari nilai temperatur saturasi (T_{sat}) menggunakan *steamtab*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 16. Penggunaan *steamtab* dalam mencari T_{sat} .
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “Saturated” kemudian pilih pada “Pressure” Independent Variabel, kemudian masukkan data tekanan uap ekstraksi yang diperoleh dalam pengambilan data ke “Value, bar”, kemudian klik “Calculate” dan hasil akan muncul dibawah dan temperatur saturasi diperoleh.

2.5.4. Mencari nilai *enthalpy* spesifik pada T_{sat}

Untuk mencari nilai *entaphy* spesifik pada T_{sat} , yang harus dilakukan adalah dengan mencari pada 2 kondisi yaitu entalpi saturasi cair jenuh ($h_{sat, f}$) dan entalpi saturasi uap jenuh ($h_{sat, g}$) memakai nilai T_{sat} dengan menggunakan persamaan 7 dan 8 dibawah ini.

Mencari nilai $h_{sat, f}$

$$h_{sat, f} = \frac{(T_{sat} - T_{sat'}) (h_{sat, f''} - h_{sat, f'})}{(T_{sat''} - T_{sat'})} + h_{sat, f'} \dots\dots\dots(7)$$

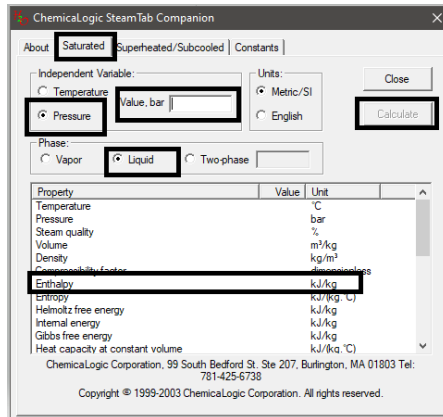
Mencari nilai $h_{sat, g}$

$$h_{sat, g} = \frac{(T_{sat} - T_{sat'}) (h_{sat, g''} - h_{sat, g'})}{(T_{sat''} - T_{sat'})} + h_{sat, g'} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- $h_{sat, f}$ = Spesifik entalpi cair jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)
- $h_{sat, f'}$ = Spesifik entalpi cair jenuh pada $T_{sat'}$ (kJ/kg)
- $h_{sat, f''}$ = Spesifik entalpi cair jenuh pada $T_{sat''}$ (kJ/kg)
- T_{sat} = Temperatur saturasi (°C)
- $T_{sat'}$ = Temperatur saturasi bawah (terdekat di tabel sifat uap) (°C)
- $T_{sat''}$ = Temperatur saturasi atas (terdekat di tabel sifat uap) (°C)
- $h_{sat, g}$ = Spesifik entalpi uap jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)
- $h_{sat, g'}$ = Spesifik entalpi uap jenuh pada $T_{sat'}$ (kJ/kg)
- $h_{sat, g''}$ = Spesifik entalpi uap jenuh pada $T_{sat''}$ (kJ/kg)

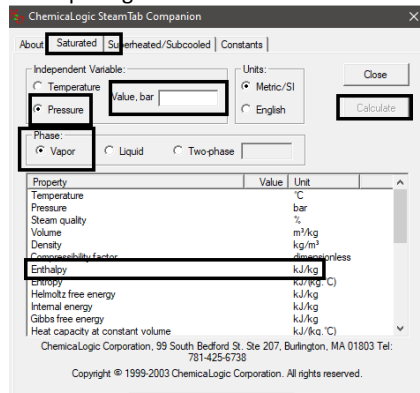
Untuk mencari entalpi spesifik saturasi cair jenuh ($h_{sat, f}$) menggunakan *steamtab* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 17. Penggunaan *steamtab* dalam mencari $h_{sat, f}$
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “Saturated” kemudian pilih “Pressure” pada Independent Variable dan isi data tekanan uap ekstraksi yang diperoleh dalam pengambilan data pada “Value, bar”. Setelah itu pilih “Liquid” pada *phase* dan klik “Calculate” dan hasil akan muncul dibawah, data entalpi spesifik saturasi cair jenuh ($h_{sat, f}$) diperoleh.

Untuk mencari entalpi spesifik saturasi uap jenuh ($h_{sat, g}$) menggunakan *steamtab* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 18. Penggunaan *steamtab* dalam mencari $h_{sat, g}$
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada steamtab pilih “Saturated” kemudian pilih “Pressure” pada Independent Variable dan isi data tekanan uap ekstraksi yang diperoleh dalam pengambilan data pada “Value, bar”. Setelah itu pilih “Vapor” pada phase dan klik “Calculate” dan hasil akan muncul dibawah, data entalpi spesifik saturasi uap jenuh (h_{sat} , g) diperoleh.

2.5.5. Mencari nilai *enthalpy* spesifik sisi *feedwater in* (hA)

Untuk temperature sisi air umpan masuk (T1f) yang telah diperoleh dalam pengambilan data, sehingga diperlukan interpolasi atau menggunakan aplikasi *steamtab* dalam mencari nilai *enthalpy* spesifik sisi *feedwater in* (hA), menggunakan persamaan 9 berikut ini.

Menggunakan nilai temperature yang telah diketahui.

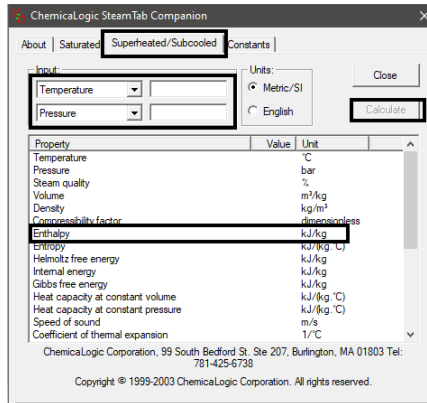
$$hA = \frac{(T1f - T1f')(h1f'' - h1f')}{(T1f'' - T1f')} + h1f' \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- hA = Spesifik entalpi sisi air umpan masuk (kj/kg)
- T1f = Temperatur sisi air umpan aktual (°C)
- T1f' = Temperatur bawah sisi air umpan (di tabel sifat uap) (°C)
- T1f'' = Temperatur atas sisi air umpan (di tabel sifat uap) (°C)
- h1f' = Spesifik entalpi air umpan pada T1' (kj/kg)
- h1f'' = Spesifik entalpi air umpan pada T1'' (kj/kg)

Untuk mencari entalpi spesifik dari sisi air umpan masuk ke HPH menggunakan *steamtab* sebagai berikut.

Pada *steamtab* pilih “Superheated/Subcooled” kemudian isi bagian “Temperatur” dengan temperatur air umpan masuk HPH dan isi bagian “Pressure” dengan tekanan air umpan yang diperoleh dalam pengambilan data. Kemudian klik “Calculate” dan hasil akan muncul dibawah dan entalpi sisi masuk air umpan (hA) dapat diperoleh. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar. 19 Penggunaan *steamtab* dalam mencari *hA*.
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

2.5.6. Mencari nilai *enthalpy* spesifik sisi *feedwater out* (*hD*)

Ketika sudah mendapatkan nilai *enthalpy* sisi *feedwater* masuk (*hA*), selanjutnya mencari nilai *enthalpy* spesifik sisi *feedwater out* (*hD*). Menggunakan nilai temperatur sisi keluar air umpan (*T2f*) yang telah diperoleh dalam pengambilan data, kemudian menggunakan rumus interpolasi atau menggunakan aplikasi *steamtab* dalam mencari nilai *enthalpy* spesifik, menggunakan persamaan 10 berikut ini.

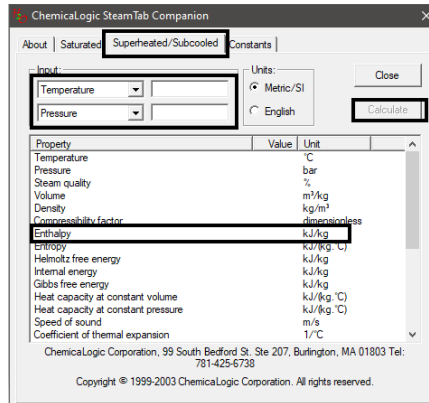
Menggunakan nilai temperatur yang sudah diketahui.

$$hD = \frac{(T2f - T2f')(h2f'' - h2f')}{(T2f'' - T2f')} + h2f' \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- hD* = Spesifik entalpi sisi air umpan keluar (kJ/kg)
- T2f* = Temperatur sisi air umpan aktual (°C)
- T2f'* = Temperatur bawah sisi air umpan (di tabel sifat uap) (°C)
- T2f''* = Temperatur atas sisi air umpan (di tabel sifat uap) (°C)
- H2f'* = Spesifik entalpi air umpan pada *T1f'* (kJ/kg)
- H2f''* = Spesifik entalpi air umpan pada *T1f''* (kJ/kg)

Untuk mencari entalpi spesifik dari sisi air umpan keluar HPH menggunakan *steamtab*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 20. Penggunaan *steamtab* dalam mencari hD.
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “*Superheated/Subcooled*” kemudian isi bagian “*Temperature*” dengan temperatur air umpan keluar HPH dan isi bagian “*Pressure*” dengan tekanan air umpan yang diperoleh dalam pengambilan data. Kemudian klik “*Calculate*” dan hasil akan muncul dibawah dan entalpi sisi keluar air umpan (hD) dapat diperoleh.

2.5.7. Menghitung laju aliran uap ($\dot{m}_s$)

Untuk mencari nilai laju aliran uap menggunakan persamaan 11 berikut ini.

$$\dot{m}_s (h_1 - h_2) = \dot{m}_f (h_D - h_A)$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_f \frac{(h_D - h_A)}{(h_1 - h_2)} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

- $\dot{m}_s$ = Laju aliran uap (Kg/s)
- $\dot{m}_f$ = Laju aliran air umpan (Kg/s)
- hA = Spesifik entalpi sisi masuk air umpan (Kj/Kg)
- hD = Spesifik entalpi sisi keluar air umpan (Kj/Kg)
- h1 = Spesifik entalpi sisi masuk *steam* (Kj/Kg)
- h2 = Spesifik entalpi sisi keluar *steam* (Kj/Kg)

2.5.8. Mencari nilai Q *desuperheating zone*

Untuk mencari Q pada zona *desuperheating* menggunakan persamaan 12 berikut ini.

$$Q_{desuperheating} = \dot{m}_s (h_1 - h_{sat,g}) \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

$Q_{desuperheating}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{desuperheating}$ (kJ/kg)
 $\dot{m}_s$ = Laju aliran uap (Kg/s)
 h_1 = Spesifik entalpi sisi masuk *steam* (Kj/Kg)
 $h_{sat,g}$ = Spesifik entalpi uap jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)

2.5.9. Mencari nilai $Q_{condensing}$ zone

Untuk mencari Q pada zona *condensing* menggunakan persamaan 13 berikut ini.

$$Q_{condensing} = \dot{m}_s (h_{sat,g} - h_{sat,f}) \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

$Q_{condensing}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{condensing}$ (kJ/kg)
 $\dot{m}_s$ = Laju aliran uap (Kg/s)
 $h_{sat,g}$ = Spesifik entalpi uap jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)
 $h_{sat,f}$ = Spesifik entalpi cair jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)

2.5.10. Mencari nilai $Q_{subcooling}$ zone

Untuk mencari Q pada zona *subcooling* menggunakan persamaan 14 berikut ini.

$$Q_{subcooling} = \dot{m}_s (h_{sat,f} - h_2) \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

$Q_{subcooling}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{subcooling}$ (kJ/kg)
 $\dot{m}_s$ = Laju aliran uap (kg/s)
 $h_{sat,f}$ = Spesifik entalpi cair jenuh pada T_{sat} (kJ/kg)
 h_2 = Spesifik entalpi sisi keluar *steam* (Kj/Kg)

2.5.11. Mencari laju perpindahan panas Q_{shell}

Untuk mencari Q_{shell} pada semua zona di *high pressure heater* (HPH) menggunakan persamaan 15 berikut ini.

$$Q_{shell} = Q_{desuperheating} + Q_{condensing} + Q_{subcooling} \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan:

- Q_{shell} = Laju perpindahan panas pada *shell* (kJ/kg)
 $Q_{desuperheating}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{desuperheating}$ (kJ/kg)
 $Q_{condensing}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{condensing}$ (kJ/kg)
 $Q_{subcooling}$ = Laju perpindahan panas zona $Q_{subcooling}$ (kJ/kg)

2.5.12. Mencari laju perpindahan panas Q_{tube}

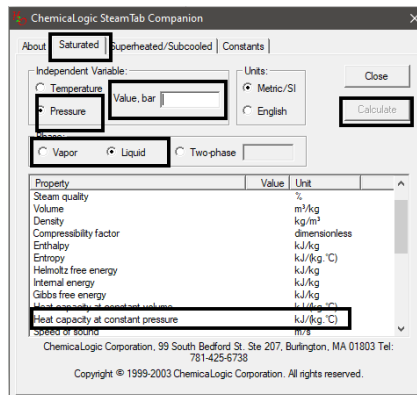
Untuk mencari Q_{tube} pada sisi air umpan menggunakan persamaan 16 berikut ini.

$$Q_{tube} = \dot{m}_f (C_{p_{cold}}) (\Delta T) \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan:

- Q_{tube} = Laju perpindahan panas pada *tube* (kJ/kg)
 $\dot{m}_f$ = Laju aliran air umpan (Kg/s)
 $C_{p_{cold}}$ = Kapasitas panas tekanan konstan (kJ/kg °C)
 ΔT = Perubahan suhu (selisih suhu air umpan masuk-keluar)

Untuk mencari $C_{p_{cold}}$ menggunakan *steamtab* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 21. Penggunaan *steamtab* dalam mencari $C_{p_{cold}}$.
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada *steamtab* pilih “Saturated” kemudian pilih “Pressure” pada *Independent Variable* kemudian isi “Value, bar” dengan data tekanan air umpan yang diperoleh dalam pengambilan data. Kemudian pilih “Liquid” pada *phase* dan klik “Calculate”

sehingga hasil akan muncul dibawah dan data CP cold diperoleh (*Heat capacity at constant pressure*).

2.5.13. Menghitung efisiensi *High Pressure Heater* (HPH)

Setelah mendapatkan Q_{shell} serta Q_{tube} , kemudian dapat mencari hasil efisiensi HPH menggunakan persamaan 17 dibawah ini.

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{shell}}{Q_{tube}} \times 100\% \dots \dots \dots (17)$$

Keterangan:

Q_{shell} = Laju perpindahan panas pada *shell* (kJ/kg)
 Q_{tube} = Laju perpindahan panas pada *tube* (kJ/kg)
Efisiensi = Efisiensi *high pressure heater* (kJ/kg)

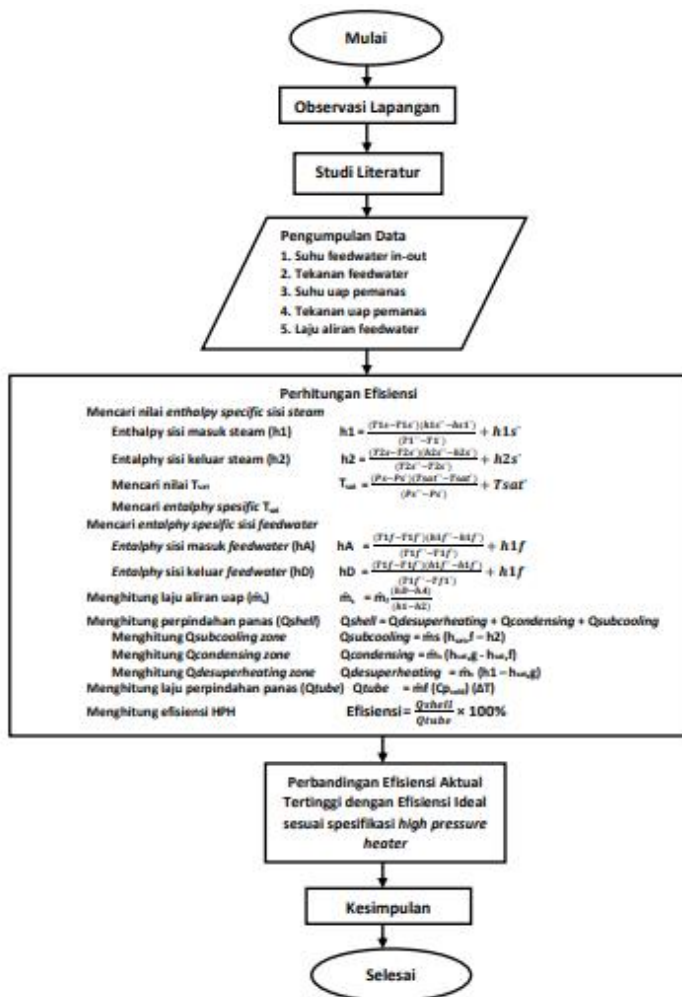
Dalam melakukan analisis high pressure heater terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi performance, diantaranya dibawah ini:

1. Diameter pipa, ketebalan dinding pipa, panjang pipa, material pipa, dll.
2. Keberadaan non-condensable gas pada sisi uap ekstraksi.
3. Kebersihan pipa.
4. Tekanan dan temperatur awal uap ekstraksi.
5. Temperatur awal, tekanan awal, dan laju alir air umpan.
6. Level drain up ekstraksi.
7. Entalpi dan laju aliran drain uap ekstraksi.
8. Konfigurasi aliran air umpan.

kinerja HPH dapat ditentukan dengan melihat besar laju aliran uap pemanas yang masuk ke HPH. Semakin besar uap ekstraksi yang digunakan, maka pasokan uap untuk menggerakkan turbin berkurang sehingga dapat merugikan. Dan juga sebaliknya, performa turbin juga menentukan seberapa efisien HPH itu sendiri. Semakin besar beban maka energi yang masuk ke HPH juga akan besar dan *preheater* pada *feedwater* akan semakin baik (ASME PTC, 2000).

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan



Gambar 22. Diagram alir perancangan.

Penelitian ini dimulai dengan observasi lapangan untuk mengetahui kondisi peralatan utama dari pembangkit listrik. Kemudian dilakukan studi literatur untuk mengetahui dan memahami prinsip kerja dari peralatan pembangkit terutama alat penukar panas. Lalu dilakukan pengambilan data aktual pada distributed control system pada waktu tertentu. Mencari enthalpy spesifik dari parameter-parameter yang diambil, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi. Dari efisiensi yang didapatkan, peneliti membandingkan efisiensi tertinggi HPH dengan efisiensi ideal HPH sesuai dengan spesifikasi. Kemudian didapatkan kesimpulan dari hasil.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian



Gambar 23. Tempat penelitian.

Penulis melakukan penelitian pada tanggal 20 Januari hingga 03 Februari 2026. Penulis melakukan penelitian di PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia yang berlokasi di Gunung Kijang, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data penulis dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama yaitu Observasi. Pada tahap ini kondisi komponen atau peralatan pada PT. BAI ditinjau, peninjauan ini dilakukan pada beberapa komponen utama yang

akan diteliti, komponen utama yang diteliti adalah turbin dan *High Pressure Heater* (HPH). Pada tahapan kedua ialah studi literatur. Penulis mempelajari prinsip kerja alat penukar panas, teori perpindahan panas, sistem kerja peralatan hingga siklus pembangkit listrik tenaga uap PT.BAI. Tahap ketiga adalah pengumpulan data. Data yang diambil didapat dari perekaman pada *Distributed Control System* (DCS) PLTU PT.BAI selama dua minggu dari tanggal 20 Januari hingga 03 Februari tahun 2026. Setelah data dikumpulkan, penulis dapat melakukan perhitungan efisiensi *High Pressure Heater* (HPH).

Tabel 2. Parameter Penelitian

No	Parameter	Satuan
1	Suhu <i>feedwater-in</i> (T1f)	°C
2	Suhu <i>feedwater-out</i> (T2f)	°C
3	Tekanan <i>feedwater</i> (Pf)	Pascal (Pa)
4	Suhu uap ekstraksi 1 (T1s)	°C
5	Suhu uap ekstraksi 2 (T2s)	°C
6	Tekanan uap ekstraksi 1 (P1s)	Pascal (Pa)
7	Tekanan uap ekstraksi 2 (P2s)	Pascal (Pa)
8	Laju aliran <i>feedwater</i> (mf)	t/h

3.4. Metode Penelitian

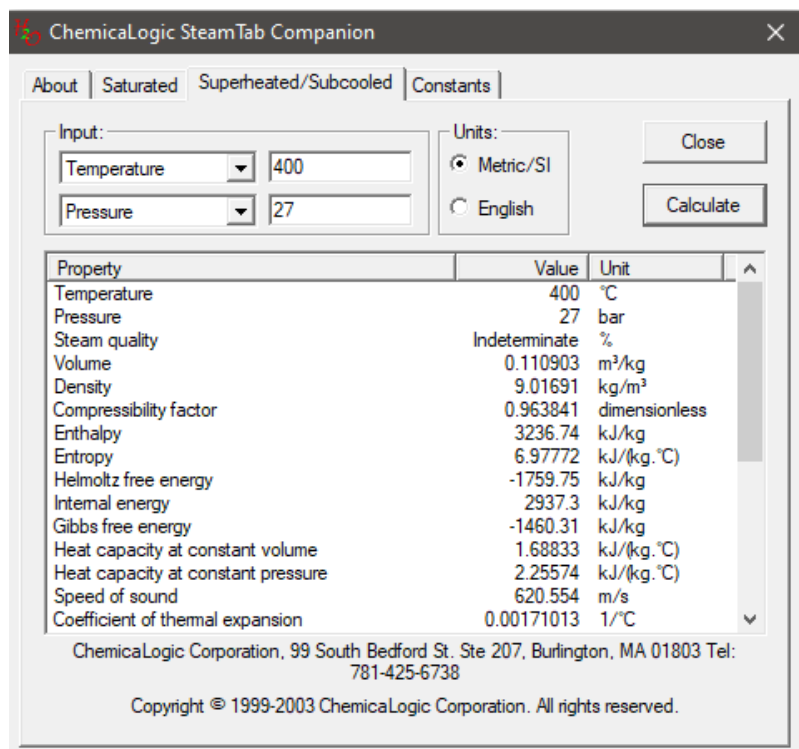
Peneliti memiliki metode dalam melaksanakan penelitian agar hasil yang didapat baik dan benar. Metode tersebut berupa metode kuantitatif, yaitu dengan mengumpulkan data hasil observasi dilapangan seperti, suhu air umpan masuk dan keluar, suhu dan tekanan uap ekstraksi turbin sebagai uap pemanas, dan laju aliran air umpan. Data yang dikumpulkan adalah data rekaman *Distributed Control System* (DCS) selama dua minggu pada jam tertentu. Setelah itu data dikumpulkan, diolah, kemudian dilakukan analisis perhitungan efisiensi *high pressure heater* dengan metode perpindahan panas dengan rumus termodinamika.

Metode perhitungan efisiensi HPH unit 2 difokuskan pada tiga zona perpidahan panas HPH untuk mendapatkan efisiensinya. Pada perhitungan pertama dilakukan pada zona *subcooling* yaitu zona penurunan temperatur uap yang telah berubah fasa menjadi cair jenuh hingga mencapai temperatur *subcool*. Pada perhitungan kedua dilakukan pada zona *condensing* dimana pada zona ini terjadi perubahan fasa pada fluida panas di sisi *shell*. Karena terjadinya perubahan fasa pada fluida panas maka temperatur kerja yang berada pada sisi *shell* konstan, temperatur yang bekerja adalah Tsaturasi. Dan perhitungan terakhir dilakukan pada zona *desuperheating*, zona ini merupakan zona keluaran dari sisi

feedwater. Temperatur yang diperoleh setelah terjadi perpindahan panas pada HPH telah mendekati temperatur kerja *boiler*.

3.5. Perhitungan

Perhitungan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis termodinamika. Objek pada pengujian ini adalah high pressure heater unit 2 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia. Pengujian perhitungan ini bertujuan untuk menentukan kinerja high pressure heater dengan melakukan analisis efisiensi agar dapat mengetahui parameter-parameter yang dapat memengaruhi perubahan efisiensi high pressure heater. Dalam perhitungan efisiensi HPH, dibutuhkan enthalpy untuk setiap parameter yang diperlukan. Dibawah ini merupakan contoh cara mencari enthalpy menggunakan steamtab dalam perhitungan efisiensi.



ChemicaLogic SteamTab Companion

About | Saturated | Superheated/Subcooled | Constants

Input: Temperature: 400 Pressure: 27

Units: ☒ Metric/SI ☐ English

Close Calculate

Property	Value	Unit
Temperature	400	°C
Pressure	27	bar
Steam quality	Indeterminate	%
Volume	0.110903	m³/kg
Density	9.01691	kg/m³
Compressibility factor	0.963841	dimensionless
Enthalpy	3236.74	kJ/kg
Entropy	6.97772	kJ/(kg.°C)
Helmoltz free energy	-1759.75	kJ/kg
Internal energy	2937.3	kJ/kg
Gibbs free energy	-1460.31	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.68833	kJ/(kg.°C)
Heat capacity at constant pressure	2.25574	kJ/(kg.°C)
Speed of sound	620.554	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00171013	1/°C

ChemicaLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicaLogic Corporation. All rights reserved.

Gambar 24. Penggunaan steamtab superheated/subcooled
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada gambar diatas dapat dilihat cara menggunakan *steamtab* untuk mencari *enthalpy superheated* atau *subcool* dengan suhu 400 °C dan tekanan 27 Bar atau 2,7 MPa.

ChemicalLogic SteamTab Companion

About Saturated Superheated/Subcooled Constants

Independent Variable:

☐ Temperature Value, bar

☒ Pressure

Units:

☒ Metric/SI

☐ English

Close

Calculate

Phase:

☐ Vapor ☒ Liquid ☐ Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	330.854	°C
Pressure	130	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00156649	m³/kg
Density	638.37	kg/m³
Compressibility factor	0.0730537	dimensionless
Enthalpy	1531.51	kJ/kg
Entropy	3.56078	kJ/(kg·°C)
Helmholtz free energy	-639.581	kJ/kg
Internal energy	1511.14	kJ/kg
Gibbs free energy	-619.216	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.05322	kJ/(kg·°C)

ChemicalLogic Corporation, 99 South Bedford St. Ste 207, Burlington, MA 01803 Tel: 781-425-6738

Copyright © 1999-2003 ChemicalLogic Corporation. All rights reserved.

Gambar 25. Penggunaan steamtab saturated

(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Pada gambar diatas merupakan cara mencari entalpi menggunakan *steamtab* pada *saturated* dengan tekanan 130 Bar atau 13 Mpa pada *phase liquid*.

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

Data Penelitian ini diperoleh dari data aktual *pada Distributed Control System* (DCS) PLTU PT.BAI. Berikut adalah tabel data hasil penelitian:

Tabel 3. Data Hasil Penelitian

Data Penelitian HPH Unit 2 PLTU PT Bintang Alumina Indoensia										
Tanggal	Jam	Parameter	Load (MW)	m ³ f (t/H)	T1f (°C)	T2f (°C)	T1s (°C)	T2s (°C)	Pf (Mpa)	Ps (Mpa)
20/01/2026	14:00	HPH 2	19,76	180,39	159,94	198,45	356,57	160,58	13,08	1,52
		HPH 1			198,45	217,35	413,40	213,08		2,29
21/01/2026	14:00	HPH 2	19,65	179,23	159,96	197,90	356,50	160,56	13,03	1,50
		HPH 1			197,90	216,77	413,64	212,49		2,26
22/01/2026	14:00	HPH 2	19,87	172,45	159,63	195,83	354,30	160,65	13,17	1,43
		HPH 1			195,83	214,43	410,42	210,27		2,15
23/01/2026	14:00	HPH 2	19,27	175,84	160,51	196,41	352,72	160,94	13,03	1,45
		HPH 1			196,41	215,53	409,72	211,28		2,19
24/01/2026	14:00	HPH 2	19,14	165,08	160,46	197,83	356,93	160,91	13,20	1,49
		HPH 1			197,83	216,37	413,78	212,34		2,23
25/01/2026	14:00	HPH 2	19,66	167,73	159,72	198,36	358,09	160,41	13,17	1,51
		HPH 1			198,36	217,19	414,97	212,99		2,27
26/01/2026	14:00	HPH 2	19,63	175,76	160,08	199,12	358,18	160,51	13,06	1,55
		HPH 1			199,12	217,83	414,85	213,76		2,31
27/01/2026	14:00	HPH 2	19,48	177,53	159,96	198,95	359,53	160,44	13,13	1,52
		HPH 1			198,95	217,49	416,13	213,25		2,28
28/01/2026	14:00	HPH 2	19,09	177,76	159,85	198,63	356,68	160,49	13,06	1,53
		HPH 1			198,63	217,01	413,56	212,86		2,26
29/01/2026	14:00	HPH 2	19,49	162,95	159,85	199,56	359,62	160,56	13,10	1,55
		HPH 1			199,56	218,12	416,02	213,83		2,31
30/01/2026	14:00	HPH 2	19,38	163,28	159,99	199,61	353,68	160,51	13,13	1,55
		HPH 1			199,61	218,11	410,80	213,64		2,31
31/01/2026	14:00	HPH 2	20,09	180,43	160,43	199,65	356,54	161,17	12,95	1,54
		HPH 1			199,65	218,49	414,78	214,03		2,34
01/02/2026	14:00	HPH 2	22,23	183,61	159,57	201,81	360,31	160,10	13,01	1,63
		HPH 1			201,81	221,57	420,97	217,08		2,47
02/02/2026	14:00	HPH 2	21,44	182,56	160,09	202,00	360,72	160,87	13,15	1,60
		HPH 1			202,00	221,14	420,59	216,28		2,42

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat data yang diperoleh secara aktual dari tanggal 20 Januari 2026 hingga 02 Februari 2026. Adapun keterangan dari data data tersebut sebagai berikut.

Keterangan:

- $\dot{m}_f$ = Flow air umpan (t/H)
- T1f = Suhu air umpan masuk ke HPH 1 dan 2 (°C)
- T2f = Suhu air umpan keluar dari HPH 1 dan 2 (°C)
- T1s = Suhu ekstraksi masuk ke HPH 1 dan 2 (°C)
- T2s = Suhu ekstraksi keluar dari HPH 1 dan 2 (°C)
- Pf = Tekanan air umpan (Mpa)
- Ps = Tekanan uap ekstraksi HPH 1 dan 2 (MPa)
- Load = Beban turbin pada saat itu (MW)

Dibawah ini merupakan tabel 4 data pada tanggal 20 Januari yang akan digunakan untuk perhitungan kali ini.

Tabel 4. Data Penelitian Sebagai Contoh Perhitungan Efisiensi

Tanggal	Jam	Parameter	Load (MW)	$\dot{m}_f$ (t/h)	T1f (°C)	T2f (°C)	T1s (°C)	T2s (°C)	Pf (Mpa)	Ps (Mpa)
20/01/2026	14:00	HPH 2	19,76	180,39	159,94	198,45	356,57	160,58	13,08	1,52
		HPH 1			198,45	217,35	413,40	213,08		2,29

4.2 Pembahasan HPH 1

Dalam pembahasan perhitungan ini digunakan aplikasi *steam table* dari *ChemicalLogic SteamTab Companion*.

4.2.1 Mencari *Enthalpy Spesific Sisi Steam*

1. Sisi masuk steam (h1)

Diketahui:

$$P_{steam} = 2,29 \text{ MPa (22,9 bar)}$$

$$T_{1-steam} = 413,40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

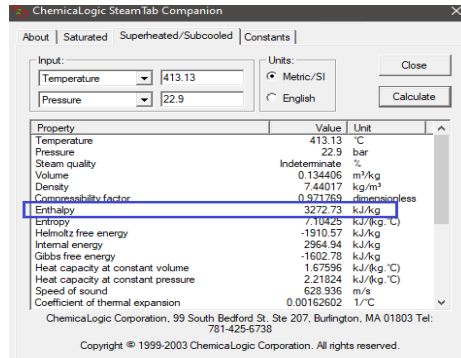
Dengan mengetahui P1 steam dan T2 Steam, dapat dilihat pada gambar 18 dibawah diperoleh entalpi sisi masuk steam menggunakan aplikasi steamtab. Data h1 yang diperoleh adalah 3272,73 kJ/kg.

2. Sisi keluar steam (h2)

Diketahui:

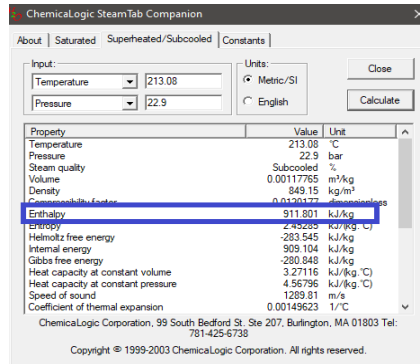
$$P_{\text{steam}} = 2,29 \text{ MPa (22,9 bar)}$$

$$T_{2\text{steam}} = 213,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Property	Value	Unit
Temperature	413.13	°C
Pressure	22.9	bar
Steam quality	Indeterminate	%
Volume	0.134406	m³/kg
Density	7.44017	kg/m³
Compressibility factor	0.971769	dimensionless
Enthalpy	3272.73	kJ/kg
Entropy	7.10425	kJ/(kg·°C)
Helmholtz free energy	-1910.57	kJ/kg
Internal energy	2964.94	kJ/kg
Gibbs free energy	-1602.78	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.67596	kJ/(kg·°C)
Heat capacity at constant pressure	2.21824	kJ/(kg·°C)
Speed of sound	628.936	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00162602	1/°C

Gambar 26. Nilai spesifik entalpi sisi masuk steam
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

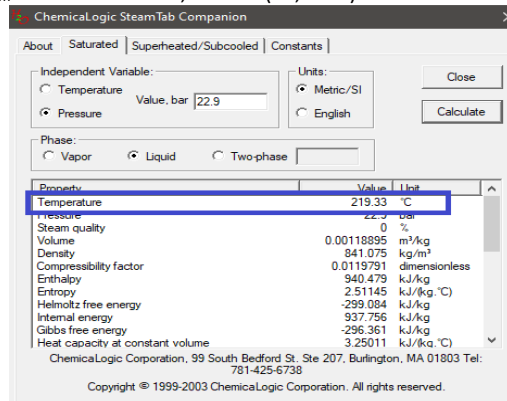


Property	Value	Unit
Temperature	213.08	°C
Pressure	22.9	bar
Steam quality	Subcooled	%
Volume	0.00117765	m³/kg
Density	849.15	kg/m³
Compressibility factor	0.0126377	dimensionless
Enthalpy	911.801	kJ/kg
Entropy	2.45269	kJ/(kg·°C)
Helmholtz free energy	-283.545	kJ/kg
Internal energy	909.104	kJ/kg
Gibbs free energy	-280.848	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.27116	kJ/(kg·°C)
Heat capacity at constant pressure	4.56796	kJ/(kg·°C)
Speed of sound	1289.81	m/s
Coefficient of thermal expansion	0.00149623	1/°C

Gambar 27. Nilai spesifik entalpi sisi keluar steam
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

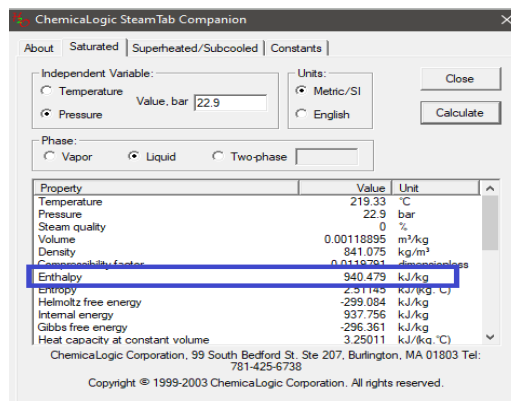
Dengan mengetahui P_1 steam dan T_2 Steam, dapat dilihat pada gambar 27 diatas diperoleh entalpi sisi masuk steam menggunakan aplikasi steamtab. Data h_2 yang diperoleh adalah 911,801 kJ/kg.

3. Mencari temperatur pengembunan (T_{sat})
 Diketahui:
 $P_{\text{steam}} = 2,29 \text{ MPa (22,9 bar)}$



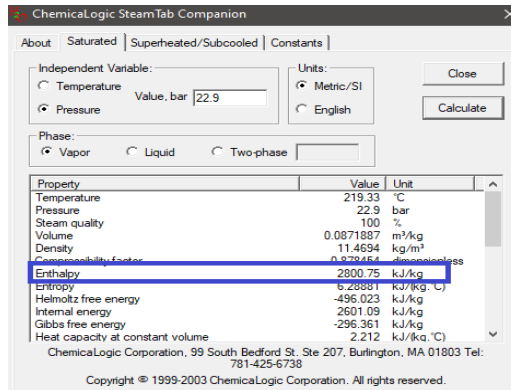
Gambar 28. Nilai temperatur pengembunan
 (Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Setelah memperoleh nilai T_{sat} yaitu 219,33 °C, langkah selanjutnya adalah mencari nilai entalpi spesifik ($h_{\text{sat,g}}$) dan ($h_{\text{sat,f}}$) menggunakan aplikasi *SteamTab* sebagai berikut.



Gambar 29. Nilai spesifik entalpi $h_{\text{sat, f}}$
 (Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Spesifik entalpi $h_{\text{sat}, f}$ adalah 940,479 kJ/kg.



Gambar. 30 Nilai spesifik entalpi $h_{\text{sat}, g}$
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Spesifik entalpi $h_{\text{sat}, g}$ adalah 2800,75 kJ/kg.

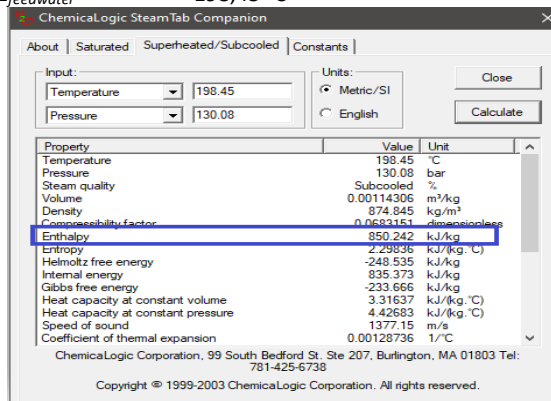
4.2.2 Mencari *Enthalpy Specific Feedwater*

1. Sisi masuk *feedwater* (h_A)

Diketahui:

$$P_{1\text{feedwater}} = 13,08 \text{ MPa (130,8 bar)}$$

$$T_{1\text{feedwater}} = 198,45 \text{ °C}$$



Gambar. 31 Nilai spesifik entalpi sisi masuk feedwater (h_A)
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

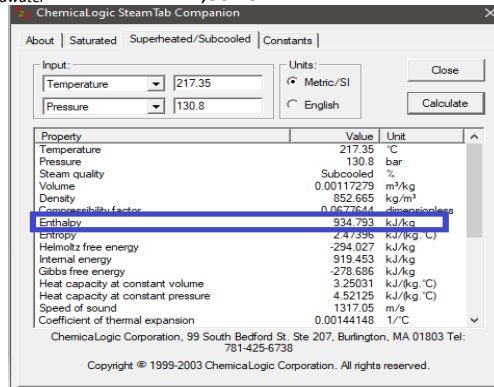
dengan memperoleh nilai $P1_{feedwater}$ dan $T1_{feedwater}$ kita dapat mencari nilai hA sisi masuk *feedwater* menggunakan Aplikasi *SteamTab*. Didapat nilai spesifik entalpi hA yaitu 850,242 kJ/kg.

2. Sisi keluar *feedwater* (hD)

Diketahui:

$$P1_{feedwater} = 13,08 \text{ MPa (130,8 bar)}$$

$$T2_{feedwater} = 217,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Gambar. 32 Nilai spesifik entalpi sisi keluar *feedwater* (hD)
(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

dengan memperoleh nilai $P2_{feedwater}$ dan $T2_{feedwater}$ kita dapat mencari nilai hD sisi keluar *feedwater* menggunakan Aplikasi *SteamTab*. Didapat nilai spesifik entalpi hD yaitu 934,793 kJ/kg.

4.2.3 Menghitung Laju Aliran *Steam* ($\dot{m}_s$)

$$\dot{m}_s (h1 - h2) = \dot{m}_f (hD - hA)$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_f \frac{(hD - hA)}{(h1 - h2)}$$

Diketahui:

$$\dot{m}_f = 180,39 \text{ t/h (50,11 kg/s)}$$

$$h1 = 3272,73 \text{ kJ/g}$$

$$h2 = 911,801 \text{ kJ/kg}$$

$$h_A = 850,242 \text{ kJ/kg}$$

$$h_D = 934,793 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_s = 50,11 \text{ kg/s} \frac{(934,793 \text{ kJ/kg} - 850,242 \text{ kJ/kg})}{(3272,73 \text{ kJ/kg} - 911,801 \text{ kJ/kg})}$$

$$= 50,11 \text{ kg/s} \frac{84,551 \text{ kJ/kg}}{2360,929 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 1,79 \text{ kg/s}$$

Jadi untuk nilai laju aliran *steam* ($\dot{m}_s$) didapat sebesar 1,79 kg/s.

4.2.4 Menghitung *Subcooling Zone*

$$Q_{\text{subcooling zone}} = \dot{m}_s (h_{\text{sat},f} - h_2)$$

Diketahui:

$$\dot{m}_s = 1,79 \text{ kg/s}$$

$$h_{\text{sat},f} = 940,479 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 911,801 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{subcooling zone}} &= 1,79 \text{ kg/s} (940,479 \text{ kJ/kg} - 911,801 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1,79 \text{ kg/s} (28,678 \text{ kJ/kg}) \\ &= 51,334 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Didapat nilai $Q_{\text{subcooling zone}}$ adalah 51,334 kJ/s.

4.2.5 Menghitung *Desuperheating Zone*

$$Q_{\text{desuperheating zone}} = \dot{m}_s (h_1 - h_{\text{sat},g})$$

Diketahui:

$$\dot{m}_s = 1,79 \text{ kg/s}$$

$$h_{\text{sat},g} = 2800,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 3272,73 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{desuperheating zone}} &= 1,79 \text{ kg/s} (3272,73 \text{ kJ/kg} - 2800,75 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1,79 \text{ kg/s} (471,98 \text{ kJ/kg}) \\ &= 844,844 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Didapat nilai $Q_{\text{desuperheating zone}}$ adalah 844,844 kJ/s.

4.2.6 Menghitung *Condensing Zone*

$$Q_{\text{condensing zone}} = \dot{m}_s (h_{\text{sat},g} - h_{\text{sat},f})$$

Diketahui:

$$\dot{m}_s = 1,79 \text{ kg/s}$$

$$h_{\text{sat},g} = 2800,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{sat},f} = 940,479 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{condensing zone}} &= 1,79 \text{ kg/s} (2800,75 \text{ kJ/kg} - 940,479 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1,79 \text{ kg/s} (1860,271 \text{ kJ/kg}) \\ &= 3329,885 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Didapat nilai $Q_{\text{condensing zone}}$ adalah 3329,885 kJ/s.

4.2.7 Menghitung Perpindahan Panas sisi *Shell (Qshell)*

$$Q_{\text{shell}} = Q_{\text{desuperheating}} + Q_{\text{condensing}} + Q_{\text{subcooling}}$$

Diketahui:

$$Q_{\text{desuperheating}} = 844,844 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{condensing}} = 3329,885 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{\text{subcooling}} = 51,334 \text{ kJ/s}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{shell}} &= 844,844 \text{ kJ/s} + 3329,885 \text{ kJ/s} + 51,334 \text{ kJ/s} \\ &= 4226,063 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Didapat nilai laju perpindahan panas Q_{shell} adalah 4226,063 kJ/s.

4.2.8 Menghitung Laju Perpindahan Panas sisi *Tube (Qtube)*

$$Q_{\text{tube}} = \dot{m}f (C_p \text{ cold}) (\Delta T)$$

$$T_{1f} = T_{\text{-in}}$$

$$T_{2f} = T_{\text{-out}}$$

Diketahui:

$$\dot{m}f = 180,39 \text{ t/h} (50,11 \text{ kg/s})$$

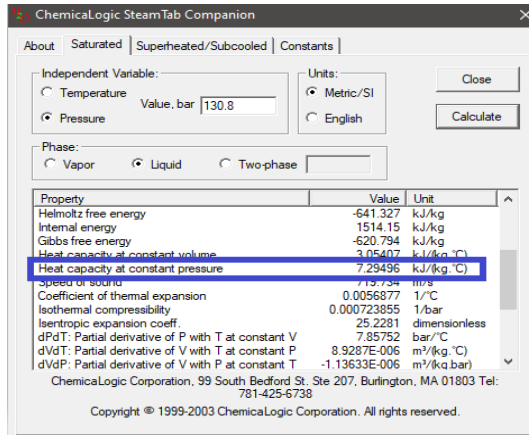
$$T_{1f} = T_{\text{-in}} = 198,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{2f} = T_{\text{-out}} = 217,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 18,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{1f} = 13,08 \text{ MPa} (130,8 \text{ Bar})$$

dengan mengetahui nilai T_{1f} dan P_{1f} kita dapat mencari nilai $C_p(\text{water})$ menggunakan Aplikasi *SteamTab* agar dapat menghitung nilai Q_{tube} .



Gambar. 33 Nilai Cp Water/Cp Cold(Sumber: *chemicallogic steamtab*)

Diperoleh nilai *Cp cold* adalah 7,29 kJ/kg °C, maka:

$$\begin{aligned}
 Q_{tube} &= (50,11 \text{ kg/s}) (7,29 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) (18,9 ^\circ\text{C}) \\
 &= 6904,206 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Nilai Q_{tube} yang didapat adalah 6904,206 kJ/s.

4.2.9 Menghitung Efisiensi HPH 1

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{shell}}{Q_{tube}} \times 100\%$$

Diketahui:

$$Q_{shell} = 4226,063 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{tube} = 6904,206 \text{ kJ/s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{4226,063 \text{ kJ/s}}{6904,206 \text{ kJ/s}} \times 100\% \\
 &= 61,21 \%
 \end{aligned}$$

4.3 Hasil perhitungan efisiensi HPH 1 dan 2

Untuk mencari efisiensi HPH 2, perhitungan efisiensi HPH 1 dapat dicari menggunakan cara perhitungan diatas, data yang diambil adalah data pada tanggal 20 Januari 2026, dan rata-rata dari kedua HPH dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 5. Efisiensi HPH unit 2 tanggal 20 Januari 2026

Efisiensi HPH 1 dan 2	
Efisiensi HPH 1	61,21%
Efisiensi HPH 2	59,23%

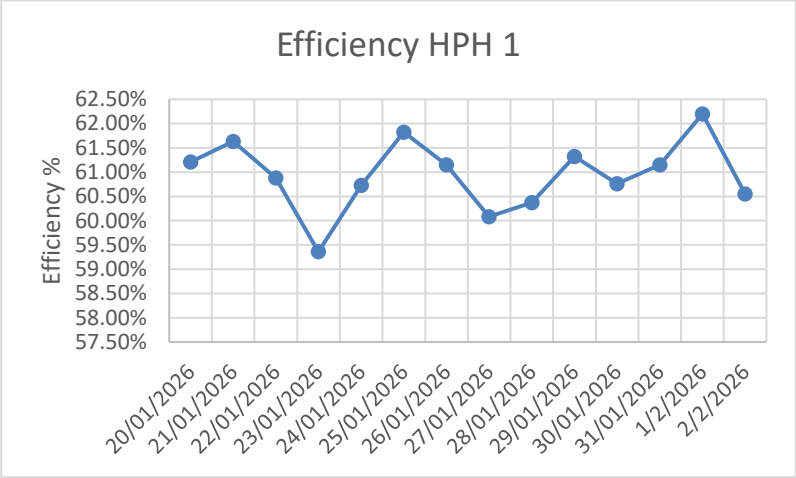
Dapat dilihat pada tabel 6 di atas efisiensi HPH 1 didapat sebesar 61,21% dan efisiensi HPH 2 didapat sebesar 59,23%.

Tabel 6. Data hasil perhitungan efisiensi HPH

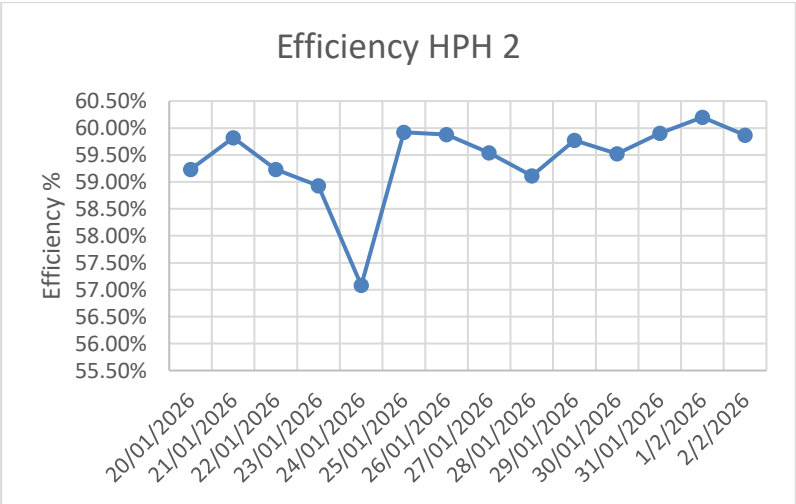
Tanggal	Jam	Efisiensi HPH	
		HPH 1	HPH 2
20/01/2026	14:00	61,21%	59,23%
21/01/2026	14:00	61,63%	59,82%
22/01/2026	14:00	60,88%	59,23%
23/01/2026	14:00	59,36%	58,93%
24/01/2026	14:00	60,73%	57,08%
25/01/2026	14:00	61,82%	59,92%
26/01/2026	14:00	61,15%	59,88%
27/01/2026	14:00	60,08%	59,54%
28/01/2026	14:00	60,37%	59,11%
29/01/2026	14:00	61,32%	59,77%
30/01/2026	14:00	60,76%	59,52%
31/01/2026	14:00	61,15%	59,90%
01/02/2026	14:00	62,20%	60,20%
02/02/2026	14:00	60,55%	59,87%

Dari Tabel 7 diatas, dapat dilihat hasil perhitungan efisiensi HPH 1, HPH 2 dan efisiensi rata-rata HPH. Data efisiensi tertinggi rata-rata didapat pada tanggal 01

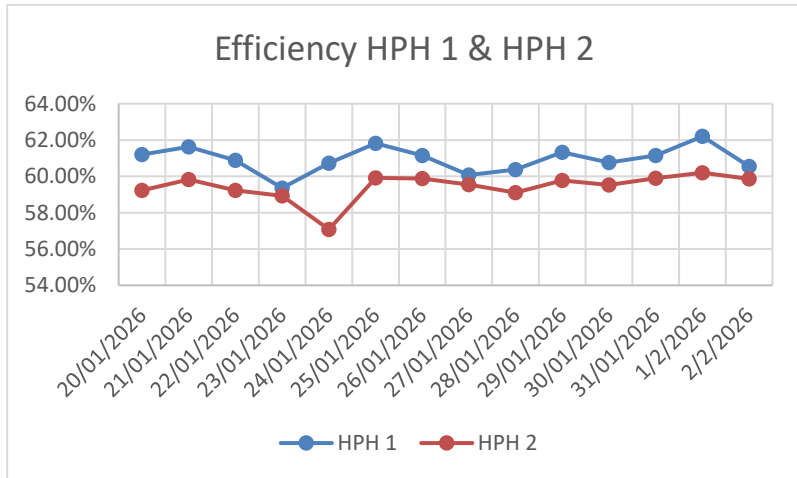
Februari 2026 dengan efisiensi HPH 1 62,20% dan efisiensi HPH 2 60,20%. Data tersebut akan dibandingkan dengan data efisiensi HPH ideal berdasarkan spesifikasi.



Gambar 34. Grafik efisiensi HPH 1



Gambar 35. Grafik efisiensi HPH 2



Gambar 36. Grafik efisiensi HPH 1 dan HPH 2

Dapat dilihat pada gambar diatas merupakan grafik gabungan dari HPH 1 dan HPH 2. Pada *series* biru menunjukkan efisiensi HPH 1 dan *series* merah menunjukkan efisiensi dari HPH 2.

4.4 Perbandingan Efisiensi Tertinggi dan Efisiensi Ideal HPH

Penelitian ini melakukan perbandingan efisiensi tertinggi dengan efisiensi ideal HPH guna mengetahui performa HPH apakah masih dalam kondisi yang ideal. Efisiensi ideal HPH didapat dari perhitungan efisiensi menggunakan data spesifikasi HPH yang ada pada PLTU PT BAI yang dapat dilihat pada tabel **Tabel 1. Spesifikasi High Pressure Heater**. Dari data spesifikasi tersebut didapat data yang akan dihitung efisiensinya sebagai berikut.

Tabel 7. Data Spesifikasi HPH

Parameter	m _f (t/h)	T _{1f} (°C)	T _{2f} (°C)	T _{1s} (°C)	T _{2s} (°C)	P _f (Mpa)	P _s (Mpa)
HPH 2	174,66	160	196	331,2	135,2	12,75	1,44
HPH 1		196	217	377,5	177		2,168

Note: Dikarenakan tidak semua data perhitungan efisiensi ada pada spesifikasi, oleh karena itu dibuat data asumsi berdasarkan data aktual yang telah diambil dalam pengambilan data.

Data Asumsi:

- Flow air umpan ($\dot{m}_f$) = 174,66 t/H
Didapatkan dari hasil rata-rata flow air umpan dari semua data yang diperoleh pada tanggal 20 Januari 2026 hingga 2 Februari 2026.
- T2s HPH 1 = 178°C
Didapatkan dari hasil selisih T1s dengan nilai tengah dari selisih data tertinggi dan terendah T2s HPH 1 yang diperoleh pada tanggal 20 Januari 2026 hingga 2 Februari 2026.
Nilai selisih T1s – T2s tertinggi = 204°C (2 Februari 2026)
Nilai selisih T1s – T2s terendah = 197°C (30 Januari 2026)
Selisih = 7°C
Maka, nilai tengahnya 3,5°C ditambah dengan nilai terendah T2s 197°C
Jadi, nilai tengah selisihnya adalah 200,5°C
Nilai T2s asumsi = T1s – 200,5°C
$$= 377,5^\circ\text{C} - 200,5^\circ\text{C}$$
$$= 177^\circ\text{C}$$
- T2s HPH 2 = 135,2°C
Didapatkan dari hasil selisih T1s dengan nilai tengah dari selisih data tertinggi dan terendah T2s HPH 1 yang diperoleh pada tanggal 20 Januari 2026 hingga 2 Februari 2026.
Nilai selisih T1s – T2s tertinggi = 200°C (1,2 Februari 2026)
Nilai selisih T1s – T2s terendah = 192°C (23 Januari 2026)
Selisih = 8°C
Maka, nilai tengahnya 4°C ditambah dengan nilai terendah T2s 192°C
Jadi, nilai tengah selisihnya adalah 196°C
Nilai T2s asumsi = T1s – 196°C
$$= 331,2^\circ\text{C} - 196^\circ\text{C}$$
$$= 135,2^\circ\text{C}$$
- T1f = 160
Didapatkan dari hasil rata-rata aktual data T1f (suhu *inlet* HPH 2) yang diperoleh dalam pengambilan data pada tanggal 20 Januari 2026

hingga 2 Februari 2026. Dari semua data T1f ada 13 data bernilai 160°C dan 1 data bernilai 161, maka dari itu data bisa di asumsikan 160°C.

Dari data yang telah diperoleh dari spesifikasi HPH dan asumsi dari data aktual, didapatkan hasil efisiensi HPH ideal yang dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Efisiensi Ideal HPH

Efisiensi Ideal HPH	
Efisiensi HPH 1	62,60%
Efisiensi HPH 2	60,98%

Dari Tabel 8 diatas, dapat dilihat efisiensi HPH 1 ideal adalah 62,60% dan efisiensi HPH 2 ideal 60,98%. Jika dibandingkan dengan efisiensi tertinggi HPH 1 sebesar 62,20% dan HPH 2 sebesar 60,20% yang didapat secara aktual di lapangan. Dapat dinyatakan bahwa *High Pressure Heater* unit 2 turbin *back pressure* PLTU PT BAI masih dalam kondisi idealnya.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi *high pressure heater* Unit 2 PLTU PT. BAI yang telah dilakukan dan diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan dari hasil analisis efisiensi yang telah dilakukan pada Bab. 4 efisiensi *high pressure heater* (HPH) tertinggi didapat pada tanggal 01 Februari 2026 dengan efisiensi HPH 1 adalah 62,20% dan efisiensi HPH 2 didapat pada tanggal yang sama sebesar 60,20%. Efisiensi terendah didapat pada tanggal 23 Januari 2026 pada HPH 1 sebesar 59,36% dan HPH 2 pada tanggal 24 Januari 2026 sebesar 57,08%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi HPH 1 selalu lebih tinggi dari efisiensi HPH 2 dikarenakan suhu dan tekanan uap ekstraksi 1 lebih tinggi dari suhu dan tekanan uap ekstraksi 2.
2. Berdasarkan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Bab. 4 efisiensi *high pressure heater* (HPH), Semakin besar perbandingan Qshell dan Qtube maka semakin besar juga efisiensi dan begitu juga sebaliknya. Jadi dapat disimpulkan bahwa besar perbandingan Qshell dan Qtube menjadi faktor pengaruh perubahan efisiensi dari *high pressure heater* (HPH).
3. Berdasarkan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Bab. 4 efisiensi *high pressure heater* (HPH) ideal berdasarkan HPH, diperoleh efisiensi HPH 1 ideal sebesar 62,60% dan efisiensi HPH 2 ideal sebesar 60,98%. Jika dibandingkan dengan efisiensi tertinggi HPH 1 sebesar 62,20% dan HPH 2 sebesar 60,20%, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi dan performa *high pressure heater* (HPH) unit 2 PLTU PT. BAI masih dalam kondisi yang ideal dan berjalan dengan optimal.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran penulis sebagai berikut:

1. Diharapkan kepada peneliti selanjutnya dapat menghitung dan menganalisis peralatan peningkatan efisiensi lainnya pada PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia
2. Diharapkan penelitian yang telah dilakukan ini dapat menjadi referensi dalam menjaga kinerja dan efisiensi *high pressure heater* (HPH).

Daftar Pustaka

- [1] S. Untoro, N. R. Ismail, A. Farid, and P. Suwandono, "Analisa Effisiensi Pltu Paiton Ketika High Pressure Heater (Hph 7) Inservice Dan Outservice," *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 5, no. 01, pp. 07–12, 2022, doi: 10.33795/jetm.v5i01.113.
- [2] P. Studi, T. Teknologi, R. Pembangkit, J. T. Elektro, and P. N. Batam, "Studi Pengaruh Efisiensi High Pressure Heater terhadap Condensing Type Turbine Unit 1 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI) Tugas Akhir," no. 4231901045, 2022.
- [3] Raharja Puja Gustika, Ignatius Riyadi Mardiyanto, and I. Indriyani, "Analisis Efektivitas High Pressure Heater (HPH) 7 PT. Z," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 400–405, 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7329.
- [4] A. D. Ifvournamasari, S. N. M. Sukmawanta, Y. Maryanty, and E. Yulianto, "Perhitungan Efisiensi High Pressure Heater Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pt Pomi Unit 3," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 2, pp. 308–314, 2023, doi: 10.33795/distilat.v8i2.373.
- [5] A. Aqila and N. Safitri, "Analisis Kerja High Pressure Heater Tipe Shell And Tube Heat Exchanger Di PLTU PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan EAYA 2X110MW," *J. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 225–233, 2023.
- [6] P. Studi, T. Rekayasa, P. Energi, J. T. Elektro, and P. N. Batam, "Analisis Suhu dan Tekanan pada High Pressure Heater dalam Pemanasan Feed Water Boiler Unit 3 PLTU PT . Bintan Alumina Indonesia Tugas Akhir Pernyataan Keaslian Tugas Akhir," no. 4232101002, 2025.
- [7] V. V Bode, P. V. G. Gore, P. G. Student, P. R. P. P. Welfare, and E. Trust, "Performance Analysis of Regenerative Feed Water Heating system in 270 MW Thermal Power Plant ," pp. 1180–1186, 2016.
- [8] G. G. Sinaga, "Analisis Efektivitas High Pressure Heater Pada Unit 4 PLTU PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Belawan," *Dr. Diss. Univ. Medan Area*, 2019, [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/bitstream/123456789/11297/1/158130081> - Gofar Gabriel Sinaga - Fulltext.pdf

- [9] I. Dewi, M. P. Br.Ginting, and H. Ibrahim, "Analisis Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Pada Pendingin Tertutup Untuk Air Demin (Close Cooling water Heat Exchanger) Di S.T 1.0 PLTGU UPDK Belawan," *Konf. Nas. Sos. dan Eng. Politek. Negeri Medan*, pp. 1226–1236, 2022.
- [10] D. Pembimbing, "DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DENGAN PEMANFAATAN WASTE HEAT RECOVERY UNTUK MENJAGA HIGIENITAS SISTEM DOMESTIK DESAIN HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE DENGAN PEMANFAATAN WASTE HEAT RECOVERY UNTUK MENJAGA HIGIENITAS SISTEM DOMESTIK," 2022.
- [11] A. Perpindahan *et al.*, "Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area," 2016.
- [12] I. Syaichurrozi, A. Metta, and A. Imanuddin, "Kajian Performa Alat Penukar Panas Plate and Frame : Pengaruh Laju Alir Massa , Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance : The Effects of Mass Flow Rate , Inlet Temperature and Type of Flow Againsts The Overall Heat Transfer Coefficient," vol. XI, no. 02, 2014.
- [13] J. T. Mesin, F. Teknik, U. Sultan, and A. Tirtayasa, "ANALISIS KINERJA DOUBLE - PIPE HEAT EXCHANGER PADA SISTEM PENDINGIN LITHIUM ION BATTERY TIPE ANALISIS KINERJA DOUBLE - PIPE HEAT EXCHANGER PADA SISTEM PENDINGIN LITHIUM ION BATTERY TIPE," 2023.
- [14] J. Khorshidi and S. Heidari, "Design and Construction of a Spiral Heat Exchanger," no. April, pp. 201–208, 2016.
- [15] L. Nadia, "Termodinamika Daftar Isi," pp. 1–46.

Biodata

Pas Foto
2 x 3

Nama	: Rezki Fernanda
TTL	: Batam, 25 Mei 2003
Agama	: Islam
Alamat	: Arira Garden blok O no 31, Batam
Email	: fernandarezki@gmail.com
Riwayat Pendidikan	SMA/SMK : SMA Negeri 15 BATAM
	SMP : SMP Negeri 12 BATAM

Lampiran

Lampiran A

