



**Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Kinerja
Vakum Kondensor Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintan
Alumina Indonesia**

Tugas Akhir

**Oleh:
Bima Yunarsha Saputra (4232211008)**

**Program Studi Teknologi 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: **"Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Kinerja Vakum Kondensor Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintang 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, 29 Juni 2026



Bima Yunarsha Saputra
NIM: 4232211008

Lembar Pengesahan Industri

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

Disusun oleh: Bima Yunarsha Saputra (4232211008)

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

Judul Tugas Akhir: Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Kinerja Vakum Kondensor Turbin Uap Unit 04 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia

Perusahaan: PT. Bintan Alumina Indonesia

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing:



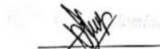
Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK: 113112

Pembimbing Industri:



Rianda Fikri
NIK: I21100053

HRD/Manager



Jeprianto
NIK: I2007003

Lembar Pengesahan

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

Oleh:
Bima Yunarsha Saputra (4232211008)

Tanggal Sidang: 07 Juli 2026

Disetujui oleh:

Nama Penguji I



Jihan Zeinyuta Rosafira, S.T., M.Eng
NIP: 199604022025062011

Nama Pembimbing



Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK: 113112

Nama Penguji II



Yusiran, S.Si., M.T
NIK: 123294

Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Kinerja Vakum Kondensor Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia

Abstrak

Kinerja kondensor pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sangat bergantung pada temperatur air laut sebagai media pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fluktuasi temperatur air laut pada siang dan malam hari terhadap kinerja tekanan vakum kondensor turbin uap Unit 4 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia, serta mengidentifikasi langkah operasional penanganannya. Data observasi diambil secara harian (*hourly*) dari sistem *Distributed Control System* (DCS) selama periode 1 hingga 7 Januari 2026. Metode analisis yang digunakan meliputi analisis sensitivitas dan korelasi *Pearson*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur air laut mengakibatkan penurunan tingkat kevakuman. Pada siang hari dengan suhu air laut tertinggi mencapai 30,5 °C, tekanan vakum berada dititik terbawah di angka -93,13 kPa. Sebaliknya, saat suhu terendah 29,5 °C pada malam hari, tekanan vakum mencapai kondisi terbaiknya di -95,31 kPa. Hasil pengolahan data korelasi *Pearson* mendapatkan nilai r sebesar 0,9863, menandakan hubungan positif yang sangat kuat. Untuk mengatasi masalah penurunan tekanan vakum ini, langkah operasional yang disarankan meliputi pengaturan beban unit, pembersihan *tube* dari *fouling/scaling*, pengaturan katup diafragma, dan pengaturan tekanan *sealing* pada turbin.

Kata Kunci: Temperatur Air Laut, Kondensor, Tekanan Vakum, Turbin Uap, PLTU.

The Effect of Seawater Temperature on the Condenser Vacuum Performance of Steam Turbine Unit 4 at PT Bintan Alumina Indonesia Steam Power Plant

Abstract

The performance of the condenser in a Steam Power Plant (PLTU) is highly dependent on seawater temperature as the cooling medium. This study aims to analyze the effect of daytime and nighttime seawater temperature fluctuations on the condenser vacuum performance of Steam Turbine Unit 4 at PLTU PT Bintan Alumina Indonesia, and to identify the necessary operational steps to mitigate vacuum drops. Hourly observation data were collected from the Distributed Control System (DCS) during the period of January 1 to January 7, 2026. The analytical methods used include sensitivity analysis and Pearson correlation. The results indicate that an increase in seawater temperature leads to a decrease in the vacuum level. During the day, at the highest seawater temperature of 30.5 °C, the vacuum pressure deteriorated to -93.13 kPa. Conversely, at the lowest temperature of 29.5 °C at night, the vacuum reached its best condition at -95.31 kPa. The Pearson correlation data processing obtained an r-value of 0.9863, indicating a very strong positive relationship. To overcome the decrease in vacuum pressure, recommended operational steps include adjusting the unit load, cleaning the tubes (addressing fouling/scaling), adjusting the diaphragm valve, and managing the sealing pressure on the turbine.

Keywords: Seawater Temperature, Condenser, Vacuum Pressure, Steam Turbine, Steam Power Plant.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Kinerja Vakum Kondensor Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Teruntuk Ayah dan Ibu, dua insan permata hati yang dititipkan Tuhan untuk membantuku mengarungi deras arus kehidupan. Terasa sulit hidup ini tanpa kehadiranmu. Selalu ku rayu Tuhan agar diberikannya kalian berdua umur yang panjang. 21 Tahun aku dididik dan dibina, selalu ku berharap ketulusan itu dihadiri sepotong Surga oleh Tuhan yang Maha Pemurah. Hari ini, kuhadiahkan gelar (S.Tr.T) ini sebagai bentuk bakti syukur ku. Bujuklah Tuhan agar ia memberikan ketegaran di dalam relung jiwaku, agar tiap tetes darah kalian yang mengalir berdenyut di nadi ini dapat menghadiahi kalian berdua kesuksesan dan kemudahan hidup, untuk menjalani sisa waktu yang ditakdirkan untuk kita berempat, sebelum kembali menghadap-Nya dengan hati yang penuh bahagia.
2. Teruntuk adik tersayang yang selalu memberikan keceriaan, dukungan, dan doa kepada penulis selama menempuh pendidikan dan menjalani kegiatan magang. Semoga pencapaian ini dapat menjadi motivasi bagimu untuk terus belajar dan meraih cita-cita.
3. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, S.T., MSM., CIPMP., CISP., selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Ir. Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku ketua jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng., selaku ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.
6. Bapak Ir. Muhammad Syafei Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pengampu yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan perhatian selama penulis menempuh pendidikan.
7. Ibu Hasnira S.ST., M.Tr.T., yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan serta arahan selama proses penyusunan laporan magang dan tugas akhir.
8. Bapak/Ibu selaku Dosen Penguji I dan selaku dosen penguji II yang telah memberikan arahan, saran, serta masukan yang membangun kepada penulis demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.

9. Terkhusus kepada Bang Faiz Naufal Nurqoys selaku Wakil Foreman Divisi Turbin yang telah banyak membimbing, memberikan arahan, ilmu, serta membantu penulis selama menjalani kegiatan magang di PT Bintang Alumina Indonesia.
10. Para sepuh PT Bintang Alumina Indonesia, khususnya karyawan Shift A Departemen PLTU Divisi Turbin yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, arahan, dan bantuan selama penulis melaksanakan kegiatan magang.
11. Terima kasih kepada teman-teman seperjuangan di kelas RPE Malam A 2022. Terima kasih atas segala solidaritas, kekompakan, serta bantuan yang selalu diberikan selama masa perkuliahan dan magang.
12. Kepada sirkel sedboy (Raul, Ilyas, Said) yang telah menjadi teman suka dan duka selama tinggal bersama serta selalu memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan selama menjalani masa magang.
13. Penulis turut menyampaikan rasa terima kasih kepada seseorang yang telah menjadi bagian dari perjalanan kisah selama masa magang. Terima kasih karena senantiasa menjadi *support system* dan membersamai penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Terima kasih telah hadir sebagai tempat berbagi cerita dan keluh kesah, serta menjadi salah satu alasan utama penulis untuk tetap kuat dan bersemangat menyelesaikan setiap prosesnya hingga akhir.
14. Dan yang tak kalah penting, terima kasih untuk diri sendiri. Terima kasih telah menjadi nahkoda yang tangguh untuk diri ini; yang tetap memilih berlayar meski ombak tugas dan revisi terus berdatangan. Terima kasih sudah memeluk segala lelah dan mengubahnya menjadi karya yang tuntas.

Batam, 29 Juni 2026



Bima Yunarsha Saputra

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	2
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap	4
2.1.1. Siklus <i>Rankine</i>	4
2.1.2. Siklus <i>Regeneratif</i>	6
2.2. Turbin Uap	6
2.3. Kondensor	7
2.3.1. Jenis – Jenis Kondensor	8
2.3.2. Prinsip Kerja Kondensor	9
2.4. Sistem Air Pendingin	9
2.4.1. Karakteristik Fisik Air Laut	10
2.4.2. Pengaruh Suhu Air Laut Terhadap Vakum Kondensor	10
2.5. Vakum Kondensor	10
2.5.1. Pompa Vakum Kondensor	11

2.5.2. Jenis – Jenis pompa vakum kondensor.....	11
2.5.3. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Vakum Kondensor.....	13
1. Temperatur Air Pendingin	13
2. Laju Alir Air Pendingin	13
3. <i>Fouling / Scaling</i> pada <i>Tube</i> Kondensor	13
2.6. Perhitungan Selisih Temperatur Air Laut.....	14
2.7. Perhitungan Nilai Rata – Rata Parameter	14
Bab 3. Metodologi Penelitian	15
3.1. Perancangan.....	15
3.2. Tempat Dan Jadwal Penelitian	16
3.2.1 Tempat Penelitian	16
3.2.2 Jadwal Penelitian	16
3.3. Objek Penelitian	17
3.4. Variabel	20
3.4.1. Variabel Bebas	20
3.4.2. Variabel Tetap	20
3.5. Pengumpulan Data	20
3.6. Pengolahan Data	20
3.7. Metode Analisis Data	21
3.7.1. Analisis Sensitivitas.....	21
3.7.2. Analisis Korelasi	22
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan	23
4.1. Data Hasil Penelitian	23
4.1.1. Grafik Temperatur Air Laut (<i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>)	23
4.1.2. Grafik Tekanan Vakum Kondensor (kPa)	24
4.1.2. Grafik Selisih Temperatur Air Laut (ΔT)	25
4.2. Perhitungan Data	26
4.3 Pembahasan	28
4.3.1 Analisis Sensitivitas	28

4.3.2 Analisis Korelasi	29
4.3.2.1 Korelasi Temperatur <i>Inlet</i> Terhadap Tekanan Vakum Kondensor	29
4.3.2.2 Korelasi Temperatur <i>Outlet</i> Terhadap Tekanan Vakum Kondensor	30
4.3.2.3 Korelasi Selisih Temperatur (ΔT) Terhadap Tekanan Vakum Kondensor	31
4.3.3 Langkah Operasional Yang Perlu Dilakukan Untuk Mengatasi Penurunan Tekanan Pada Vakum Kondensor.....	32
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	34
5.1. Kesimpulan	34
5.2. Saran	35
Daftar Pustaka	36
Biodata	38
Lampiran	39

Daftar Gambar

Gambar 1. Siklus <i>Rankine</i> sederhana	5
Gambar 2. Siklus Regeneratif	6
Gambar 3. Turbin Uap Unit 4 (Dokumentasi Lapangan).....	7
Gambar 4. Kondensor Unit 4 (Dokumentasi Lapangan)	7
Gambar 5. Pompa Vakum Cincin Air (Dokumentasi Lapangan).....	12
Gambar 6. Pompa Vakum <i>Roots</i> (Dokumentasi Lapangan).....	13
Gambar 7. Diagram Alir Proses Penelitian.....	15
Gambar 8. Lokasi PT Bintang Alumina Indonesia	16
Gambar 9. Distributed Control System (DCS) Unit 4 PT BAI	17
Gambar 10. Contoh Grafik Sensitivitas Tekanan Vakum Terhadap Temperatur Air Laut	22
Gambar 11. Grafik Fluktuasi Temperatur Air Laut <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	23
Gambar 12. Grafik Tekanan Vakum Kondensor	24
Gambar 13. Grafik Fluktuasi Selisih Temperatur Air Laut (ΔT)	25
Gambar 14. Grafik Sensitivitas Temperatur Air Laut Terhadap Vakum Kondensor	28
Gambar 15. Grafik Korelasi Temperatur <i>Inlet</i> Terhadap Vakum Kondensor	29
Gambar 16. Grafik Korelasi Temperatur <i>Outlet</i> Terhadap Vakum Kondensor	30
Gambar 17. Grafik Korelasi Selisih Temperatur Terhadap Vakum Kondensor	31

Daftar Tabel

Tabel 1. Spesifikasi Kondensor PT Bintang Alumina Indonesia	8
Table 1. Spesifikasi Kondensor PT Bintang Alumina Indonesia	17
Table 2. Spesifikasi Pompa Vakum Cincin Air PT Bintang Alumina Indonesia	18
Table 3. Spesifikasi Pompa Vakum <i>Roots</i> PT Bintang Alumina Indonesia	19
Table 4. Data Operasional Kondensor	21
Table 5. Perbandingan Rata-Rata Temperatur air laut dan Vakum Kondensor.....	27

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sistem pembangkit listrik yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar dan beroperasi secara kontinu. PLTU bekerja berdasarkan siklus *Rankine*, di mana energi panas hasil pembakaran bahan bakar dimanfaatkan untuk mengubah air menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin uap yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Uap bekas hasil ekspansi turbin selanjutnya dikondensasikan kembali menjadi air di dalam kondensor agar dapat digunakan kembali.

Kondensor memegang peranan penting dalam sistem PLTU karena berfungsi untuk menurunkan tekanan uap buang turbin dengan cara mengubah uap menjadi air melalui proses pendinginan. Proses ini menghasilkan kondisi vakum di dalam kondensor yang sangat memengaruhi tekanan balik (back pressure) turbin. Tingkat kevakuman yang baik akan menurunkan tekanan balik turbin sehingga meningkatkan kerja turbin dan efisiensi pembangkitan listrik secara keseluruhan. Oleh karena itu, kinerja kondensor menjadi salah satu faktor penentu keandalan dan efisiensi operasi PLTU.[1]

Pada PLTU PT Bintang Alumina Indonesia, air laut digunakan sebagai media pendingin utama kondensor. Pemanfaatan air laut didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah serta kemampuannya dalam menyerap panas. Namun, temperatur air laut bersifat fluktuatif dan dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti kondisi cuaca, perbedaan waktu siang dan malam, serta perubahan musiman. Variasi temperatur air laut ini dapat memengaruhi kemampuan air pendingin dalam menyerap panas dari uap buang turbin.

Kenaikan temperatur air laut akan menyebabkan penurunan perbedaan temperatur antara uap dan air pendingin, sehingga proses perpindahan panas di dalam kondensor menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut mengakibatkan peningkatan tekanan absolut di dalam kondensor dan penurunan tingkat kevakuman. Penurunan kevakuman ini dapat berdampak langsung pada menurunnya kinerja turbin uap dan stabilitas operasi pembangkit. Sebaliknya, temperatur air laut yang lebih rendah akan meningkatkan efektivitas proses kondensasi dan menghasilkan kevakuman kondensor yang lebih baik.[2]

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas pengaruh temperatur air pendingin terhadap kinerja kondensor dan performa pembangkit listrik tenaga uap. Namun, sebagian besar penelitian tersebut menggunakan pendekatan simulasi atau menganalisis parameter kinerja kondensor secara umum. Kajian yang secara khusus menganalisis hubungan antara temperatur air laut dan tekanan vakum kondensor berdasarkan data operasional aktual pembangkit masih relatif terbatas, khususnya pada PLTU yang beroperasi di wilayah pesisir.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang menganalisis pengaruh temperatur air laut terhadap kinerja vakum kondensor berdasarkan data operasi nyata dari sistem *Distributed Control System (DCS)*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai hubungan antara variasi temperatur air laut dengan tekanan vakum kondensor pada Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia, serta menjadi dasar evaluasi untuk peningkatan kinerja dan keandalan operasi pembangkit.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh temperatur air laut pada siang dan malam hari terhadap tekanan vakum kondensor?
2. Bagaimana hubungan antara temperatur air laut dengan tekanan vakum kondensor pada turbin uap unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia?
3. Tindakan apa yang harus dilakukan ketika terjadi penurunan tekanan pada vakum kondensor?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis besarnya perubahan temperatur air laut pada siang dan malam hari terhadap tekanan vakum kondensor
2. Menganalisis hubungan antara temperatur air laut terhadap tekanan vakum kondensor.
3. Mengidentifikasi tindakan atau langkah operasional yang perlu dilakukan untuk mengatasi penurunan tekanan pada vakum kondensor.

1.4. Manfaat

Penelitian ini di harapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan evaluasi operasional bagi PLTU PT Bintang Alumina Indonesia dalam memantau dan mengendalikan kondisi vakum kondensor berdasarkan variasi temperatur air laut.
2. Memberikan informasi teknis mengenai hubungan antara temperatur air laut terhadap kinerja vakum kondensor.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem pendingin kondensor, terutama yang menggunakan air laut sebagai media pendingin.

1.5. Batasan

Mengenai Batasan masalah yang dibahas selama penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Penelitian difokuskan pada unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.
2. Parameter utama yang diamati adalah temperatur air laut (*Inlet* dan *Outlet*) dan tekanan vakum kondensor.
3. Tidak membahas efisiensi termal maupun efisiensi siklus *Rankine*.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem pembangkit energi listrik yang bekerja dengan memanfaatkan uap air sebagai penggerak utama turbin. Uap air tersebut dihasilkan melalui proses pemanasan air di dalam boiler yang bersumber dari energi panas hasil pembakaran batubara. Batubara digunakan sebagai bahan bakar utama dan dibakar di dalam ruang bakar (*furnace*) untuk menghasilkan panas.

Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran dimanfaatkan untuk meningkatkan suhu air hingga berubah wujud dari air menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Uap ini kemudian dialirkan menuju turbin uap, sehingga menyebabkan sudu-sudu turbin berputar. Putaran turbin tersebut selanjutnya menggerakkan generator yang terhubung secara mekanis, sehingga energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

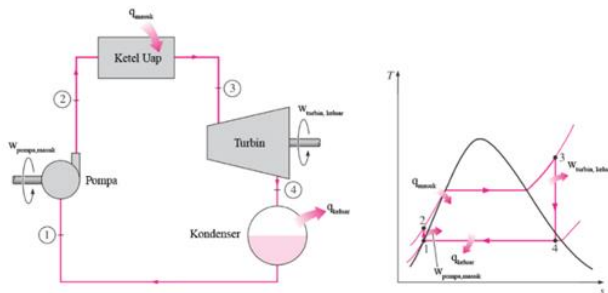
Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian disalurkan melalui sistem transmisi dan distribusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik konsumen. Setelah melewati turbin, uap bekas dikondensasikan kembali menjadi air di dalam kondensor agar dapat digunakan kembali dalam siklus pembangkitan berikutnya. Secara keseluruhan, sistem PLTU terdiri dari beberapa peralatan utama, antara pompa, boiler, turbin uap dan kondensor yang saling terintegrasi dalam satu siklus kerja pembangkit. [3]

2.1.1. Siklus *Rankine*

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* berbeda dengan siklus – siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal.

Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus carnot dapat dicapai pada daerah uap basah, perubahan entalpi fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak pada perubahan temperature. Temperature hanya diatur oleh tekanan uap fluida. Kerja pompa pada siklus *Rankine* untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk

campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus carnot. Siklus *Rankine* ideal dapat digambarkan dalam diagram T-S seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Siklus *Rankine* sederhana

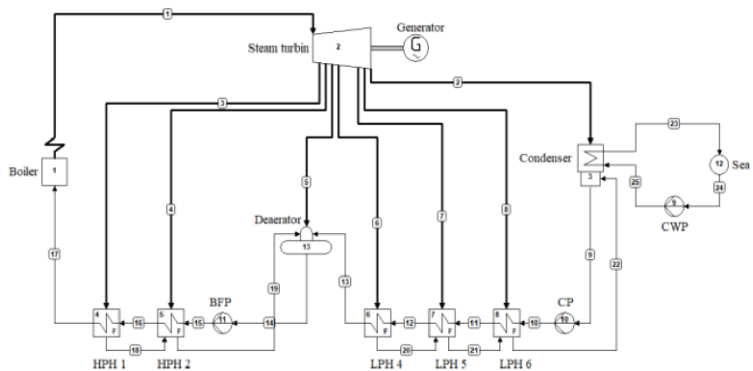
Siklus *Rankine* ideal terdiri dari 4 tahapan proses:

- 1-2 kompresi isentropic dengan pompa.
- 2-3 penambahan panas dalam boiler secara isobar.
- 3-4 ekspansi isentropic pada turbin.
- 4-1 pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isothermal.

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh (*saturated liquid*) dan dikompresi sampai tekanan operasi boiler. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropic karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki boiler sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap superheated pada kondisi 3. Dimana panas diberikan oleh boiler ke air pada tekanan yang tetap. Boiler dan seluruh bagian yang dihasilkan steam ini disebut sebagai steam generator. Uap superheated pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara isentropic dan akan menghasilkan kerja untuk memutar shaft yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperature dari steam akan turun selama proses ini menuju keadan 4 steam akan masuk kondensor dan biasanya sudah berupa uap jenuh. Steam ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam kondensor dan akan meninggalkan kondensor sebagai cair jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini.[4]

2.1.2. Siklus Regeneratif

Ada beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi termal siklus *Rankine* dengan memodifikasi siklusnya. Salah satu cara meningkatkan efisiensi siklus *Rankine* adalah dengan menggunakan *preheater* atau pemanasan awal dari fluida kerja sebelum masuk ke boiler. Cara ini disebut dengan *Regenerative Rankine Cycle*. Sumber panas yang digunakan untuk *preheater* berasal dari uap yang diambil dari turbin uap pada stage tertentu (*Extraction Steam*). Uap panas ini dialirkan melewati pipa menuju ke *heat exchanger* dan bertemu dengan air kondensat atau *feed water*. Air kondensat yang keluar dari kondensor dipompa oleh pompa ekstraksi kondensat menuju *heat exchanger* tersebut.[5][6]



Gambar 2. Siklus Regeneratif

2.2. Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin penggerak mula yang berfungsi mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, kemudian dikonversi menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Poros turbin tersebut dapat dihubungkan secara langsung atau melalui roda gigi reduksi dengan peralatan yang digerakkan. Berdasarkan jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, seperti industri, pembangkit tenaga listrik, dan transportasi.

Proses perubahan energi dari uap menjadi energi mekanik terjadi melalui pemanfaatan energi kinetik fluida kerja yang meningkat akibat penambahan energi panas. Secara umum, turbin uap terdiri dari dua komponen utama, yaitu stator dan rotor. Selain itu, terdapat komponen pendukung seperti bantalan, kopling, dan sistem bantu lainnya yang berperan dalam menjaga kinerja turbin agar dapat beroperasi secara optimal.[7]



Gambar 3. Turbin Uap Unit 4 (Dokumentasi Lapangan)

2.3. Kondensor

Kondensor adalah sebuah pesawat yang berfungsi untuk merubah uap bekas menjadi air kondensat dengan cara kondensasi melalui proses pendinginan. Uap yang keluar dari turbin tekanan rendah (*low pressure turbine*) masih memiliki energi panas, sehingga perlu dikondensasikan agar dapat digunakan kembali dalam siklus pembangkit. [8]



Gambar 4. Kondensor Unit 4 (Dokumentasi Lapangan)

2.3.1. Jenis – Jenis Kondensor

Kondensor memiliki beberapa jenis yang dikelompokkan berdasarkan tipe aliran, bidang kontak dan konstruksi.

a. *Surface Condenser*

Kondensor permukaan adalah jenis kondensor yang memisahkan uap bekas turbin dan air pendingin pada ruang yang berbeda, di mana uap mengalir di dalam shell dan air pendingin mengalir di dalam pipa (*tube*). Proses kondensasi terjadi melalui perpindahan panas tidak langsung dari uap bertemperatur tinggi ke permukaan tube yang lebih dingin hingga uap berubah fase menjadi air kondensat. Pada kondensor ini, air pendingin tidak bercampur dengan air kondensat sehingga kualitas air pendingin tidak mempengaruhi kemurnian kondensat. Berdasarkan lintasan aliran air pendingin, kondensor dibedakan menjadi *single pass* dan *double pass*. Kondensor permukaan umumnya digunakan pada unit berkapasitas besar dengan kebutuhan air pendingin yang tinggi, seperti yang bersumber dari sungai, danau, atau air laut.

b. Kondensor Jet

Kondensor jet adalah kondensor kontak langsung yang banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang siklus kerjanya terbuka. Perpindahan panas pada kondensor jet dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke aliran uap secara langsung. Air kondensat yang terkumpul di kondensor sebagian digunakan sebagai air pendingin kondensor dan selebihnya dibuang. Pada bagian dalam kondensor ditempatkan beberapa buah pipa dan nosel penyemprot. Air Pendingin mengalir melalui pipa dan nosel penyemprot karena perbedaan tekanan dan gaya gravitasi antara penampungan air pendingin (*Basin Cooling Tower*) dengan kondensor. Uap yang terkena semprotan air pendingin akan melepaskan panasnya dan selanjutnya diserap oleh air penyemprot. Uap yang telah melepaskan panasnya akan mengembun (terkondensasi) menjadi air bercampur dengan air penyemprot, sehingga kedua fluida tersebut mencapai temperatur akhir yang sama di *Hot Well*. [9]

2.3.2. Prinsip Kerja Kondensor

Kondensor merupakan salah satu jenis alat penukar kalor (heat exchanger) yang berfungsi untuk mengubah uap buang dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*) menjadi air melalui proses pendinginan. Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan air laut sebagai media pendingin, sehingga uap sisa (*exhaust steam*) yang keluar dari LP Turbin mengalami perubahan fase dari campuran uap menjadi fase cair.

Untuk meningkatkan efisiensi kerja PLTU, kondisi tekanan di dalam kondensor harus dijaga serendah mungkin atau dalam keadaan vakum. Tingkat kevakuman ini diperoleh dengan cara menghisap ruang kondensor menggunakan *vacuum pump* serta membuang gas-gas yang tidak dapat terkondensasi, sehingga kondisi vakum dapat dipertahankan secara optimal. Air hasil proses pengembunan uap tersebut disebut sebagai air kondensat (*condensate water*). Selanjutnya, air kondensat ini dialirkan kembali menuju boiler untuk digunakan kembali dalam proses pembentukan uap. Pada kondensor, uap mengalir pada sisi luar pipa (*shell side*), sedangkan air pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Air pendingin yang digunakan berasal dari sumber air dengan ketersediaan besar, yaitu air laut.[10]

2.4. Sistem Air Pendingin

Pada satu sistem unit pembangkit termal khususnya untuk PLTU diperlukan sistem pendingin utama, fungsi utama dari sistem air pendingin utama adalah menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk menyerap panas uap keluaran dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbin*) kemudian mengkondensasikan uap keluaran tersebut di dalam kondensor. Jumlah dan temperatur air pendingin yang tersedia akan menentukan kerja kondensor yang dapat dicapai, oleh karena itu PLTU dibangun di tepi pantai (laut) karena berhubungan dengan tersedianya sumber air yang tak terbatas. Kinerja pendinginan air laut dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan suhu air laut yang digunakan.[11]

2.4.1. Karakteristik Fisik Air Laut

Karakteristik fisik utama air laut yang memengaruhi proses pendinginan meliputi salinitas, temperatur, dan densitas. Salinitas air laut yang relatif tinggi memengaruhi sifat termofisika, terutama densitas. Densitas air laut dipengaruhi oleh salinitas dan temperatur, di mana densitas meningkat pada temperatur yang lebih rendah. Temperatur air laut menjadi parameter paling dominan karena menentukan kemampuan air laut dalam menyerap panas pada kondensor.[12]

2.4.2. Pengaruh Suhu Air Laut Terhadap Vakum Kondensor

Suhu air laut berpengaruh langsung terhadap penyerapan panas pada kondensor. Semakin rendah suhu air laut, semakin besar perbedaan temperatur antara uap buang dan air pendingin, sehingga proses perpindahan panas berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, peningkatan suhu air laut menyebabkan penurunan kemampuan pendinginan, yang berdampak pada penurunan vakum kondensor dan efisiensi PLTU.[13]

2.5. Vakum Kondensor

Tekanan yang berada di bawah tekanan atmosfer dikenal sebagai tekanan vakum. Dalam sistem kondensor PLTU, tekanan vakum didefinisikan sebagai tekanan uap air di dalam kondensor yang nilainya lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer. Kondisi vakum pada kondensor memiliki pengaruh penting terhadap kinerja sistem pembangkit, khususnya dalam dua aspek utama. Pertama, tingkat vakum kondensor berpengaruh terhadap besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh turbin uap. Semakin tinggi tingkat vakum yang dicapai, maka dengan energi uap masuk yang sama, turbin mampu menghasilkan beban yang lebih besar. Kedua, vakum kondensor berperan dalam meningkatkan efisiensi pembangkitan listrik, karena efisiensi berkaitan langsung dengan jumlah energi yang berhasil dikonversikan menjadi daya listrik. Semakin besar energi yang dibangkitkan, maka efisiensi sistem pembangkit juga semakin meningkat.[14]

2.5.1. Pompa Vakum Kondensor

Pompa vakum pada kondensor berperan untuk mengeluarkan gas-gas *non-kondensabel* yang dapat terbawa atau terakumulasi di dalam ruang kondensor. Gas-gas tersebut bercampur dengan uap air namun tidak dapat mengalami proses pengembunan. Keberadaan gas non-kondensabel ini dapat menurunkan kinerja kondensor karena menghambat proses perpindahan panas dengan mengurangi luas efektif kontak antara uap dan media pendingin. Oleh karena itu, gas-gas tersebut harus disingkirkan dari sistem. Selain itu, pemeliharaan tingkat kevakuman kondensor merupakan hal yang sangat krusial, sebab penurunan vakum dapat menyebabkan meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) uap pada turbin, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan efisiensi operasi turbin uap.[15]

2.5.2. Jenis – Jenis pompa vakum kondensor

a. Pompa Vakum Cincin Air

Pompa vakum cincin air (*water ring vacuum pump*) adalah jenis pompa vakum yang menggunakan cairan, biasanya air, sebagai media untuk menciptakan vakum. Pompa ini sering digunakan untuk aplikasi industri yang memerlukan proses pemindahan gas atau uap dalam kondisi vakum.

Pompa vakum cincin air bekerja menggunakan rotor yang berputar secara eksentrik di dalam rumah pompa yang sebagian terisi air. Putaran rotor menyebabkan air terdorong ke dinding pompa dan membentuk cincin air akibat gaya sentrifugal. Perbedaan posisi rotor terhadap pusat rumah pompa mengakibatkan perubahan volume ruang antar bilah selama proses putaran, sehingga memungkinkan terjadinya proses penghisapan dan pemampatan udara. Campuran air dan udara yang memiliki massa jenis lebih rendah bergerak ke arah pusat rotor, sedangkan air terkumpul di bagian tepi pompa.[16]



Gambar 5. Pompa Vakum Cincin Air (Dokumentasi Lapangan)

b. Pompa Vakum *Roots*

Pompa vakum *Roots* adalah jenis pompa vakum kering (*dry vacuum pump*) yang menggunakan dua rotor berbentuk angka 8 yang berputar sinkron secara berlawanan di dalam casing untuk mengisap dan mengeluarkan gas *non - kondensabel* dari sistem kondensor. Pompa vakum *Roots* berpendingin gas utamanya terdiri dari badan pompa dan pendingin udara. Pompa vakum *Roots* dilengkapi sistem pendingin pada saluran buangnya sehingga pompa dan rotor dapat beroperasi secara stabil dalam waktu lama pada kondisi perbedaan tekanan dan rasio kompresi yang tinggi. Gas pendingin dialirkan ke ruang hisap dari kedua sisi pompa untuk mencegah kenaikan temperatur akibat proses kompresi tanpa mengurangi kemampuan hisap pompa. Sistem pendingin dan motor merupakan komponen penting yang spesifikasinya disesuaikan dengan kondisi operasi. Pompa *Roots* berpendingin gas dapat dioperasikan secara mandiri maupun dikombinasikan secara seri dengan pompa lainnya, seperti pompa vakum cincin air, guna mencapai tingkat kevakuman yang lebih tinggi. Pada unit PLTU PT BAI, pompa vakum *Roots* dipasang seri dengan pompa vakum cincin air untuk mempertahankan kondisi vakum kondensor secara optimal.



Gambar 6. Pompa Vakum *Roots* (Dokumentasi Lapangan)

2.5.3. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Vakum Kondensor

1. Temperatur Air Pendingin

Temperatur air pendingin merupakan faktor utama yang memengaruhi tingkat vakum kondensor. Semakin rendah temperatur air pendingin masuk, semakin rendah temperatur kondensasi uap, sehingga tekanan jenuh uap di dalam kondensor menjadi lebih kecil dan vakum meningkat.

2. Laju Alir Air Pendingin

Laju alir air pendingin menentukan jumlah panas yang dapat diserap oleh kondensor. Peningkatan laju alir air pendingin akan meningkatkan kapasitas perpindahan panas, sehingga membantu menjaga temperatur kondensasi tetap rendah dan vakum tetap tinggi.

3. *Fouling / Scaling* pada *Tube* Kondensor

Fouling atau *scaling* pada permukaan *tube* kondensor akan meningkatkan tahanan termal dan menurunkan efektivitas perpindahan panas antara uap dan air pendingin. Akibatnya, uap tidak terkondensasi secara optimal, temperatur kondensasi meningkat, dan tekanan di dalam kondensor naik sehingga vakum menurun.

2.6. Perhitungan Selisih Temperatur Air Laut

Selisih temperatur air laut digunakan untuk mengetahui kemampuan air pendingin dalam menyerap panas dari uap di dalam kondensor. Selisih temperatur dihitung dengan persamaan:

$$\Delta T = T_{\text{out}} - T_{\text{in}} \quad (1)$$

Dimana:

ΔT = selisih temperatur air laut (°C)

T_{out} = temperatur air laut keluar kondensor (°C)

T_{in} = temperatur air laut masuk kondensor (°C)

2.7. Perhitungan Nilai Rata – Rata Parameter

Data tekanan vakum kondensor dan temperatur air laut pada kondisi siang dan malam hari dibandingkan untuk melihat perbedaan kinerja kondensor akibat perubahan temperatur lingkungan.

Nilai rata-rata masing-masing parameter dihitung menggunakan persamaan:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

Dimana:

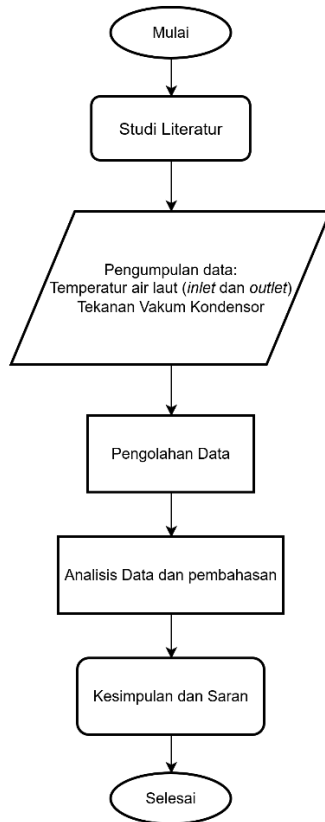
X = nilai rata-rata parameter,

$\sum X$ = jumlah seluruh data hasil pengukuran,

n = jumlah data pengamatan.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan

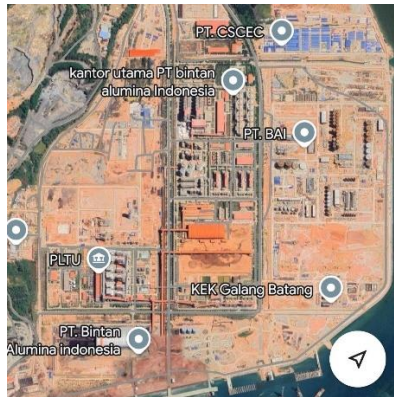


Gambar 7. Diagram Alir Proses Penelitian

3.2. Tempat Dan Jadwal Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Bintang Alumina Indonesia yang beralamat Gn. Kijang, Kabupaten Bintang, Provinsi Kepulauan Riau. PT Bintang Alumina Indonesia merupakan satu satunya perusahaan pengelolaan bauksit menjadi alumina di kepulauan riau.



Gambar 8. Lokasi PT Bintang Alumina Indonesia

3.2.2 Jadwal Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan mencatat parameter operasional setiap jam (*hourly*) selama 24 jam penuh. Pengambilan data ini dilaksanakan selama periode 1 Januari 2026 hingga 7 Januari 2026.

3.3. Objek Penelitian

Penulis melakukan penelitian ini di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia melalui *Distributed Control System (DCS)*. *Distributed Control System (DCS)* PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia, diperlihatkan pada Gambar 7.

Pada *Distributed Control System (DCS)* penulis melakukan pencatatan nilai Data harian, yaitu Temperatur *Inlet* Air Laut dan Temperatur *Outlet* Air Laut (°C) dan Tekanan vakum kondensor (kPa), Pengambilan data dilakukan selama 24 jam dalam periode waktu 1 Januari hingga 7 Januari 2026.



Gambar 9. Distributed Control System (DCS) Unit 4 PT BAI
(Dokumentasi Pribadi)

Table 1. Spesifikasi Kondensor PT Bintang Alumina Indonesia

Item	Satuan	Data
Model	/	N2500A
Jenis	/	Jenis permukaan aliran ganda dua
Area pendinginan	m ²	2500
Suhu air pendingin	°C	30
Tekanan desain sisi air	MPa	0.35
Debit air pendingin	t/h	6851
Tekanan sisi uap	kPa	7.6
Jumlah pipa air pendingin	Akar	4398

Item	Satuan	Data
Diameter pipa air pendingin	mm	$\phi 22 \times 0.7$ (Zona kondensasi) $\phi 22 \times 0.5$ (Area pendinginan udara)
Bahan pipa air pendingin	/	TA1
Ketahanan air total dari kondensor	mH ₂ O	≤ 6.0
Pabrikan	Shandong Jinan Pabrik Co, Ltd.	

Table 2. Spesifikasi Pompa Vakum Cincin Air PT Bintang Alumina Indonesia

Item	Satuan	Data
Jenis	/	Pompa vakum kerucut Dua level
Model	/	AT706E
Outlet operasi pompa tunggal (kondisi kondensasi murni terukur)	kg/h	20
Waktu penghisapan vakum unit (7,6kPa)	min	6 (2 unit pompa beroperasi)
Batas hisap tekanan balik operasi pompa tunggal	kPa	3.4 (Sesuai dengan suhu air pendingin 15°C)
Batas kapasitas hisap operasi pompa tunggal	kg/h	14 (Sesuai dengan tekanan balik hisap)
Kecepatan putaran pompa	r/min	980
Debit kerja pompa vakum	kg/h	7000
Arah putaran (Dilihat dari ujung muka)	/	
Kuantitas	buah	2
Pabrikan Pompa Vakum	Jidinishi Machinery Co., Ltd.	
Jenis motor	/	YE3 250M-6
Daya motor	kW	37
Arus	A	71.7
Tegangan	V	380
Pabrikan motor	Xiangtan Electric Co., Ltd.	

Table 3. Spesifikasi Pompa Vakum Roots PT Bintang Alumina Indonesia

Item	Pompa vakum Root	Pompa sirkulasi
Model	ZIL-300	2BW6E103-OEK4
Kecepatan putaran (r/min)	2950	1450
Tekanan hisap minimum <i>Inlet</i> pompa (kPa)	1.7	
Kapasitas pemompaan set pompa (kg/jam)	15.5	
Efisiensi (%)	33	
Jenis penukar panas	Tabung	
Area penukaran panas (m ²)	8/8	
Suhu air pendingin penukar panas (°C)	28~33	
Kuantitas (buah)	1	1
Pabrikan	Jiangyin Tiantian Vacuum Equipment Manufacturing Co, Ltd.	Wuhan Weilong Pump Industry Co., Ltd.
Model motor	YE3 160M1-2 TH	YE3 160M-4 TH
Tegangan (V)	380	380
Arus (A)	20.6	21.5
Daya (kw)	11	11
Kecepatan putaran motor (r/min)	2950	1470

Item	Pompa vakum <i>Root</i>	Pompa sirkulasi
Pabrikan motor	Anhui Wannan Electric Motor Co., Ltd.	Anhui Wannan Electric Motor Co., Ltd.

3.4. Variabel

Adapun variabel yang akan di analisis penulis sebagai berikut:

3.4.1. Variabel Bebas

1. Temperatur *Inlet* Air Laut
2. Temperatur *Outlet* Air Laut

3.4.2. Variabel Tetap

1. Waktu pengambilan data
2. Tekanan Vakum Kondensor

3.5. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data parameter aktual *hourly* (setiap jam), yaitu data temperatur *Inlet* dan *Outlet* air laut (°C) dan tekanan vakum kondensor (kPa). Data tersebut diperoleh dari data observasi melalui *log sheet* harian pada *Distributed Control System (DCS)* di PT Bintang Alumina Indonesia.

3.6. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan berdasarkan data hasil pencatatan pada sistem *Distributed Control System (DCS)* Unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia. Data diolah untuk mengetahui pengaruh temperatur air laut terhadap kinerja vakum kondensor. Tahapan pengolahan data dilakukan sebagai berikut:

Data yang telah diperoleh disusun ke dalam tabel secara kronologis berdasarkan tanggal dan jam pengambilan data selama 24 jam penuh.

Table 4. Data Operasional Kondensor

Tanggal	Waktu	TI <i>Inlet</i> Air Laut	TO <i>Outlet</i> Air Laut	Tekanan Vakum Kondensor (kPa)
01/01/2026	00.00			
01/01/2026	01.00			
01/01/2026	02.00			
01/01/2026	03.00			
01/01/2026	04.00			
01/01/2026	05.00			
01/01/2026	06.00			
01/01/2026	07.00			
01/01/2026	08.00			
01/01/2026	09.00			

3.7. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur air laut terhadap kinerja vakum kondensor Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia. Metode analisis yang digunakan meliputi analisis sensitivitas dan analisis korelasi, dengan menggunakan data operasional yang diperoleh dari sistem *Distributed Control System (DCS)*.

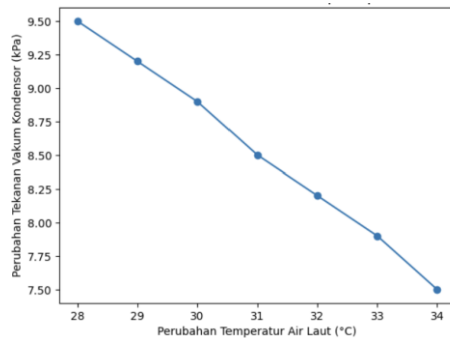
3.7.1. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui seberapa besar perubahan tekanan vakum kondensor akibat perubahan temperatur air laut sebagai variabel bebas. Analisis ini bertujuan untuk melihat tingkat kepekaan (sensitivitas) tekanan vakum kondensor terhadap variasi temperatur air laut pada kondisi operasi yang berbeda, khususnya pada waktu siang dan malam hari.

analisis sensitivitas dilakukan dengan membandingkan perubahan temperatur air laut terhadap perubahan tekanan vakum kondensor berdasarkan data hasil pengukuran. Parameter yang dianalisis meliputi temperatur *Inlet* air laut dan tekanan vakum kondensor. Perubahan nilai

tekanan vakum dianalisis terhadap perubahan temperatur air laut untuk mengetahui kecenderungan pengaruh yang terjadi.

Hasil analisis sensitivitas diharapkan dapat menunjukkan apakah perubahan kecil pada temperatur air laut memberikan dampak yang signifikan terhadap tekanan vakum kondensor, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem pendingin kondensor serta pengambilan keputusan operasional.



Gambar 10. Contoh Grafik Sensitivitas Tekanan Vakum Terhadap Temperatur Air Laut

3.7.2. Analisis Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara temperatur air laut dengan tekanan vakum kondensor, baik dari segi arah hubungan maupun tingkat keeratan hubungan antar variabel. Analisis ini bertujuan untuk menentukan apakah hubungan antara temperatur air laut dan tekanan vakum kondensor bersifat searah atau berbanding terbalik.

Metode analisis korelasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah korelasi *Pearson*, karena data yang dianalisis berupa data numerik kontinu yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung pada sistem *Distributed Control System (DCS)*. Nilai koefisien korelasi (r) berada pada rentang -1 hingga $+1$, di mana nilai mendekati $+1$ menunjukkan hubungan positif yang kuat, nilai mendekati -1 menunjukkan hubungan negatif yang kuat, dan nilai mendekati 0 menunjukkan hubungan yang lemah.

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

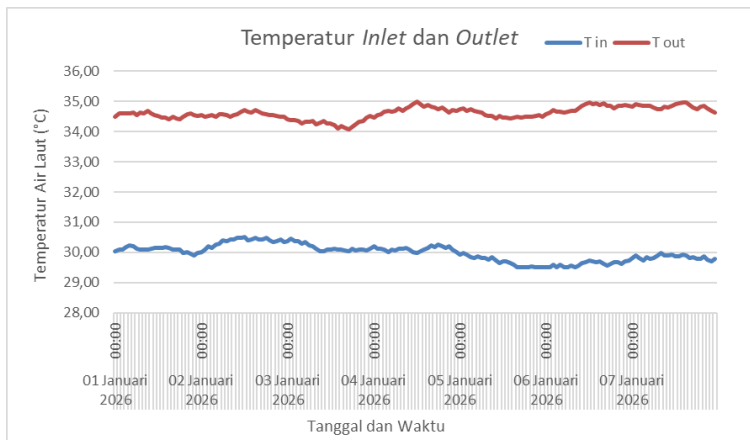
4.1. Data Hasil Penelitian

Pada sub bab ini disajikan data operasional kondensor yang diperoleh secara aktual melalui pemantauan sistem *Distributed Control System* (DCS) pada Unit 4 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia. Pengambilan data dilakukan secara periodik setiap jam (hourly) selama tujuh hari penuh, yaitu pada tanggal 01 Januari 2026 hingga 07 Januari 2026. Seluruh rekapitulasi data secara lengkap dilampirkan pada **Lampiran A**.

Untuk memudahkan analisis tren operasional dan melihat pengaruh perubahan waktu (siang dan malam) terhadap parameter sistem, data tersebut divisualisasikan ke dalam bentuk grafik *time-series* (waktu terhadap parameter) sebagai berikut.

4.1.1. Grafik Temperatur Air Laut (*Inlet* dan *Outlet*)

Grafik pada Gambar 11. menunjukkan fluktuasi temperatur air laut saat memasuki kondensor (*Inlet*) dan setelah menyerap panas dari uap (*Outlet*) selama periode observasi.



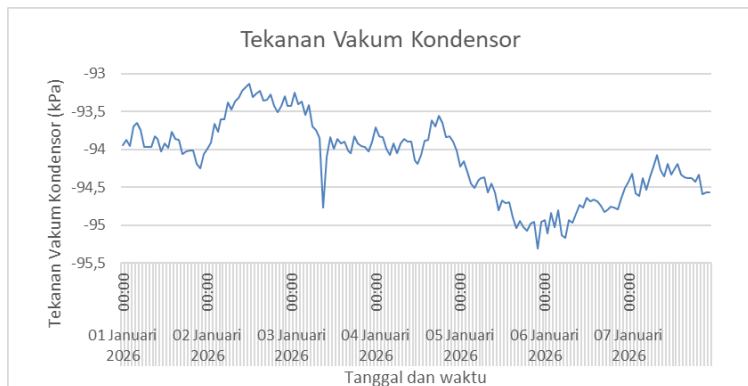
Gambar 11. Grafik Fluktuasi Temperatur Air Laut *Inlet* dan *Outlet*

Berdasarkan Gambar 11, terlihat siklus yang berulang setiap harinya. Kurva temperatur *Inlet* (T_{in}) bergerak naik pada siang hari akibat pemanasan sinar matahari dan berangsur turun saat malam hari. Temperatur *Inlet* tertinggi tercatat menyentuh angka 30,5 °C pada 2 Januari 2026 pukul 12:00, sedangkan temperatur

terendah berada di angka 29,5 °C yang terjadi pada malam hari. Sejalan dengan itu, temperatur air laut keluar (T Out) juga mengikuti pola fluktuasi yang serupa, dengan rentang suhu keluaran yang lebih tinggi karena telah menyerap beban panas dari proses kondensasi uap buang turbin.

4.1.2. Grafik Tekanan Vakum Kondensor (kPa)

Perubahan kondisi temperatur lingkungan secara langsung memberikan respon terhadap kinerja kevakuman kondensor, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 12.

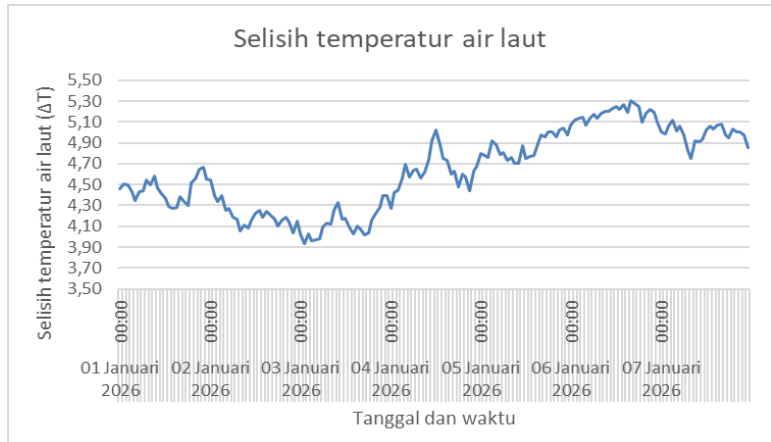


Gambar 12. Grafik Tekanan Vakum Kondensor

Grafik di atas memperlihatkan pergerakan nilai tekanan vakum yang diukur dalam satuan kPa. Saat kurva pada siang hari menunjukkan titik puncak temperatur lingkungan, kurva tekanan vakum bergerak naik mendekati titik nol, yang berarti kualitas kevakuman di dalam kondensor mengalami penurunan. Kondisi paling kritis terjadi bertepatan dengan suhu *Inlet* tertinggi, di mana tekanan vakum turun secara signifikan ke angka -93,13 kPa. Sebaliknya, performa kondensor menjadi sangat optimal pada malam hari. Hal ini terlihat pada tren grafik yang bergerak turun mencapai kevakuman terdalam di angka -95,31 kPa, menunjukkan bahwa tekanan absolut di dalam kondensor sangat rendah dan ideal untuk efisiensi turbin.

4.1.2. Grafik Selisih Temperatur Air Laut (ΔT)

Kemampuan air laut dalam menyerap panas uap buang turbin direpresentasikan oleh nilai selisih temperatur (ΔT) antara air pendingin keluar (*Outlet*) dan masuk (*Inlet*). Profil perubahan nilai (ΔT) selama tujuh hari pengamatan disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Fluktuasi Selisih Temperatur Air Laut (ΔT)

Berdasarkan Gambar 13, nilai selisih temperatur menunjukkan pola yang berkebalikan dengan profil suhu lingkungan. Pada siang hari saat temperatur *Inlet* air laut memanaskan, grafik menunjukkan terjadinya penyempitan nilai ΔT . Penyempitan paling tajam terjadi pada tanggal 2 Januari 2026 pukul 12:00, di mana nilai ΔT mengecil hingga 4,22 °C. Sebaliknya, saat suhu laut mendingin pada malam hari, kemampuan penyerapan panas meningkat yang ditandai dengan melebarnya nilai ΔT , mencapai puncaknya di angka 5,31 °C pada 6 Januari 2026 pukul 16:00.

Secara termodinamika, mengecilnya selisih temperatur (ΔT) di siang hari membuktikan bahwa laju perpindahan panas (*heat transfer*) dari uap ke air pendingin menjadi kurang optimal. Akibatnya, sebagian uap gagal terkondensasi secara sempurna dan menumpuk di dalam kondensor, yang pada akhirnya memicu kenaikan tekanan absolut dan menurunkan kualitas kevakuman.

4.2. Perhitungan Data

Berdasarkan Data, diambil salah satu sampel data dengan kondisi temperatur air laut tertinggi (*upnormal*) yang terjadi pada tanggal 2 Januari 2026 pukul 12:00 untuk dilakukan perhitungan manual.

a. Menentukan Selisih Temperatur Air Laut

Diketahui:

$$T_{out} = 34,72 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{in} = 30,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_{out} - T_{in}$$

$$\Delta T = 34,72 \text{ }^{\circ}\text{C} - 30,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 4,22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

b. Menentukan Rata – Rata Parameter Pada Siang Dan Malam Hari

Untuk membandingkan kinerja vakum kondensor berdasarkan fluktuasi suhu lingkungan, data operasional harian dibagi menjadi dua periode waktu, yaitu kondisi siang hari (pukul 07:00 WIB hingga 17:00 WIB = 11 jam) dan kondisi malam hari (pukul 18:00 WIB hingga 06:00 WIB = 13 jam). Perhitungan nilai rata-rata didasarkan pada Persamaan (2).

Diketahui:

ΣX = jumlah seluruh data hasil pengukuran,

n = jumlah data pengamatan.

$$\bar{X}_{Tin} = \frac{\Sigma x}{n}$$

$$\bar{X}_{Tin} = \frac{30,10+30,10+30,10+30,13+30,15+30,16+30,16+30,18+30,14+30,10+30,10}{11}$$

$$\bar{X}_{Tin} = 30,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama untuk keseluruhan hari pengamatan, diperoleh hasil rekapitulasi perbandingan rata-rata nilai parameter siang dan malam hari selama satu minggu penuh yang disajikan pada Tabel 5.

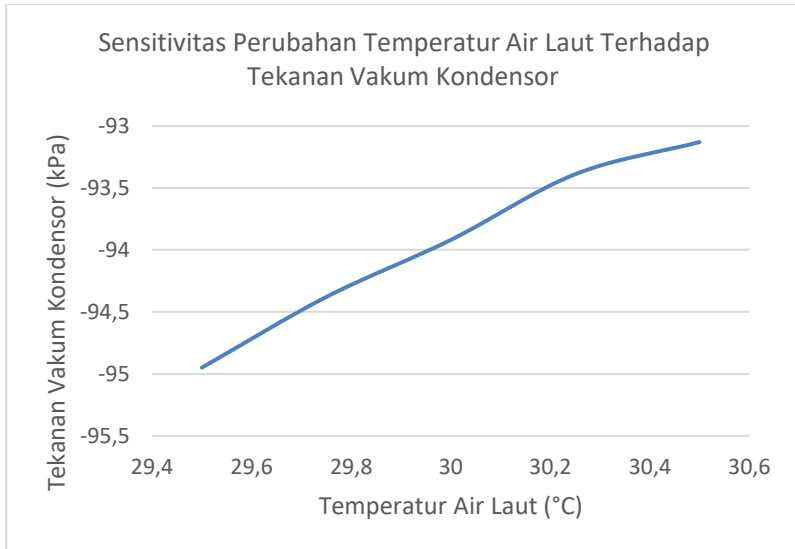
Table 5. Perbandingan Rata-Rata Temperatur air laut dan Vakum Kondensor

Tanggal	Rata - Rata Temperatur <i>Inlet</i> Siang (°C)	Rata-Rata Tekanan Vakum Siang (kPa)	Rata - Rata Temperatur <i>Inlet</i> Malam (°C)	Rata-Rata Tekanan Vakum Malam (kPa)
01 Januari 2026	30,15	-93,92	30,06	-93,95
02 Januari 2026	30,44	-93,29	30,3	-93,56
03 Januari 2026	30,08	-94	30,24	-93,67
04 Januari 2026	30,1	-93,91	30,13	-93,86
05 Januari 2026	29,98	-94,70	29,71	-94,67
06 Januari 2026	29,64	-94,77	29,59	-94,87
07 Januari 2026	29,89	-94,27	29,8	-94,47

Berdasarkan data pada table 5, kondisi ekstrim berupa penurunan performa kondensor terjadi ketika tekanan vakum menyentuh rentang -93 kPa, khususnya terpantau pada tanggal 1, 2, dan 4 Januari 2026. Penurunan tingkat kevakuman ini berkorelasi langsung dengan kenaikan temperatur air laut (*Inlet*) yang menembus angka 30°C. Puncak anomali tercatat pada siang hari tanggal 2 Januari 2026, di mana temperatur air laut mencapai titik tertinggi yaitu 30,44°C dan menyebabkan tekanan vakum memburuk secara signifikan hingga -93,29 kPa. Tingginya temperatur media pendingin ini menyebabkan laju perpindahan panas (*heat transfer*) di dalam kondensor menurun, sehingga proses kondensasi uap buang menjadi kurang optimal dan menaikkan tekanan di dalam kondensor.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis Sensitivitas



Gambar 14. Grafik Sensitivitas Temperatur Air Laut Terhadap Vakum Kondensor

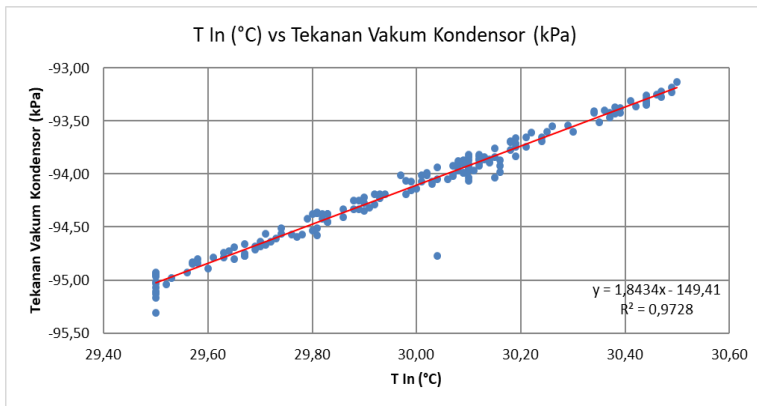
Berdasarkan Grafik 14 Sensitivitas Tekanan Vakum Terhadap Temperatur Air Laut dan pengolahan data operasional harian, terlihat jelas bahwa tekanan vakum kondensor memiliki tingkat kepekaan (sensitivitas) yang tinggi terhadap fluktuasi temperatur air laut. Secara keseluruhan, analisis sensitivitas ini menunjukkan adanya hubungan yang berbanding terbalik antara temperatur air laut masuk (*Inlet*) dengan kinerja vakum kondensor. Grafik pada gambar 11 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur air laut akan mengakibatkan penurunan tingkat kevakuman. Hal ini dibuktikan, di mana temperatur air laut menyentuh angka tertinggi yaitu 30,5 °C dan tekanan vakum turun ke angka -93,13 kPa. Sebaliknya, temperatur air laut yang lebih rendah akan menghasilkan kevakuman kondensor yang lebih baik. Di mana temperatur air laut menyentuh titik terendahnya yakni 29,5 °C dan tekanan vakum mencapai kondisi terbaiknya di angka -95,31 kPa.

Berdasarkan standar operasional pada alat, kinerja vakum kondensor dinilai paling optimal dan ideal untuk menjaga efisiensi turbin ketika berada di angka -94 kPa hingga -95 kPa. Kondisi ideal operasional ini dapat dicapai seiring dengan menurunnya temperatur air laut.

4.3.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk menguji sejauh mana keeratan hubungan antara berbagai parameter operasional pendingin terhadap fluktuasi tekanan vakum kondensor. Untuk melihat hubungan tersebut secara visual dan matematis, sebanyak 168 titik data observasi diplot ke dalam grafik pencar (*scatter plot*) dan dianalisis menggunakan metode korelasi *Pearson* (r). Analisis ini ditinjau berdasarkan tiga parameter utama, yaitu temperatur *Inlet*, temperatur *Outlet*, dan selisih temperatur (ΔT).

4.3.2.1 Korelasi Temperatur *Inlet* Terhadap Tekanan Vakum Kondensor



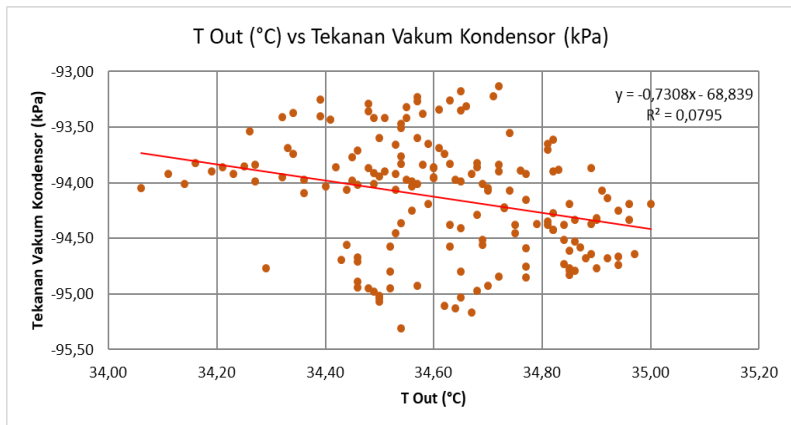
Gambar 15. Grafik Korelasi Temperatur *Inlet* Terhadap Vakum Kondensor

Berdasarkan Gambar 15 di atas, sebaran titik data menunjukkan pola kumpulan yang sangat rapat dan membentuk tren linier yang mengarah naik. Hasil perhitungan statistik korelasi *Pearson* mendapatkan nilai koefisien (r) sebesar **0,9863**. Nilai yang sangat mendekati angka +1 ini membuktikan secara kuantitatif bahwa terdapat korelasi positif yang sangat kuat dan signifikan antara temperatur air laut masuk dengan tekanan ruang kondensor.

Dalam konteks operasional, "korelasi positif" berarti bahwa setiap kali temperatur air laut *Inlet* mengalami kenaikan (semakin panas), nilai tekanan vakum juga ikut naik mendekati tekanan atmosfer (contoh: dari -95,31 kPa memburuk menjadi (-93,13 kPa). Hal ini membuktikan bahwa peningkatan suhu media pendingin dari lingkungan secara langsung merugikan kualitas dan tingkat kevakuman ruang kondensor.

Namun, pada grafik tersebut juga terlihat satu titik anomali (*outlier*) di bawah garis tren utama, yakni pada temperatur 30,04 °C dengan tekanan vakum mencapai -94,77 kPa. Peningkatan kevakuman secara drastis pada titik ini bukan disebabkan oleh pengaruh suhu air pendingin, melainkan karena bertepatan dengan jadwal pengetesan pompa vakum (*vacuum pump testing*). Pengoperasian pompa tersebut secara langsung menyedot gas di dalam kondensor, sehingga menyebabkan penurunan tekanan vakum secara signifikan untuk sementara waktu.

4.3.2.2 Korelasi Temperatur *Outlet* Terhadap Tekanan Vakum Kondensor

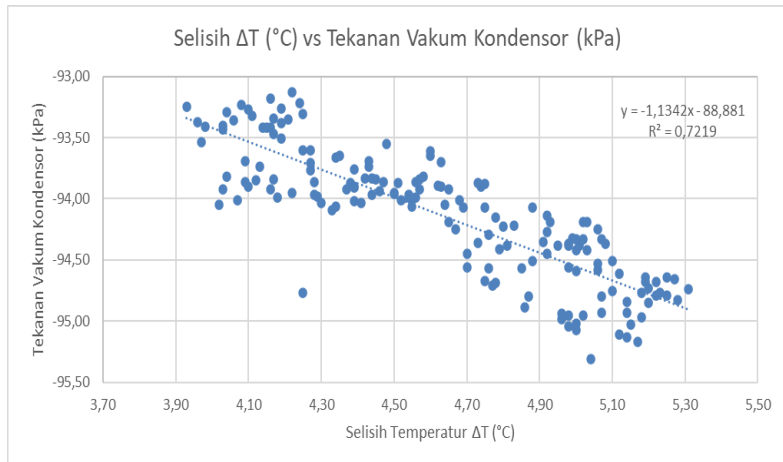


Gambar 16. Grafik Korelasi Temperatur *Outlet* Terhadap Vakum Kondensor

Berbeda dengan temperatur *Inlet*, sebaran data pada Gambar 16 menunjukkan pola yang lebih menyebar. Hasil perhitungan korelasi *Pearson* menunjukkan angka (*r*) sebesar **-0,2819**. Nilai ini mengindikasikan adanya hubungan negatif yang lemah antara temperatur air laut keluar (*Outlet*) dengan tekanan vakum.

Lemahnya korelasi ini secara teknis membuktikan bahwa temperatur keluaran bukanlah indikator utama dari kondisi kevakuman. Suhu *Outlet* merupakan suhu resultan yang sangat dipengaruhi oleh seberapa banyak uap yang berhasil diembunkan. Jika vakum memburuk akibat gagalnya pengembunan, jumlah panas yang ditransfer ke air laut juga menjadi tidak maksimal, sehingga suhu *Outlet* tidak berfluktuasi sejalan dengan turunnya vakum.

4.3.2.3 Korelasi Selisih Temperatur (ΔT) Terhadap Tekanan Vakum Kondensor



Gambar 17. Grafik Korelasi Selisih Temperatur Terhadap Vakum Kondensor

Gambar 17 memperlihatkan bagaimana kemampuan penyerapan panas oleh sistem pendingin berdampak pada kevakuman. Sebaran titik pada grafik tersebut menunjukkan pola linier yang mengarah turun. Hal ini diperkuat oleh nilai koefisien korelasi *Pearson* (r) yang berada di angka **-0,8497**, yang menandakan adanya korelasi negatif yang kuat.

Korelasi negatif pada grafik ini berarti bahwa semakin besar atau lebar nilai selisih temperatur (ΔT) yang menandakan air pendingin berhasil menyerap banyak panas maka nilai tekanan vakum akan bergerak ke arah yang lebih rendah atau semakin negatif. Secara termodinamika, ini menegaskan bahwa daya serap panas (ΔT) yang maksimal dan optimal akan menghasilkan proses kondensasi yang sempurna, sehingga menjaga tekanan absolut di dalam kondensor tetap rendah.

4.3.3 Langkah Operasional Yang Perlu Dilakukan Untuk Mengatasi Penurunan Tekanan Pada Vakum Kondensor

1. Mengatur Beban Pada Unit

Tindakan ini merupakan langkah proteksi dan stabilisasi yang sangat krusial. Jika kevakuman kondensor terus menurun dan mendekati ambang batas kritis, operator harus menurunkan beban pembangkitan unit (MW). Penurunan beban secara langsung akan mengurangi laju aliran uap utama yang masuk ke turbin, yang pada akhirnya meminimalkan jumlah uap buang (*exhaust steam*) yang masuk ke kondensor. Dengan berkurangnya volume uap yang harus didinginkan, beban kerja termal kondensor menjadi lebih ringan sehingga sistem pendingin dapat lebih mudah menstabilkan dan memulihkan tekanan vakum.

2. Membersihkan *Tube* atau *Scaling*

Terjadinya *fouling* (penumpukan kotoran/lumpur/biota laut) atau *scaling* (pembentukan kerak mineral) pada permukaan dalam pipa-pipa (*tube*) kondensor akan menciptakan lapisan isolator baru. Lapisan ini secara drastis meningkatkan tahanan termal dan merusak efektivitas perpindahan panas antara uap bertemperatur tinggi dan air laut pendingin. Uap menjadi sulit mengembun, menyebabkan penumpukan tekanan di dalam ruang kondensor. Pembersihan *tube*, baik secara *online* menggunakan *Condenser Tube Cleaning System* (seperti *sponge ball*) maupun *offline* saat unit *shutdown*, yang umumnya memakan waktu pengerjaan selama 4 sampai 5 hari kerja agar seluruh lapisan yang menghambat perpindahan panas dapat terangkat sempurna.

3. Mengatur Katup Diafragma (*Diaphragm Valve*)

Ketika tingkat kevakuman kondensor menurun, katup diafragma ini diatur untuk mengoptimalkan uap yang masuk ke kondensor. Dengan mengatur katup ini secara tepat, volume uap yang menuju tingkat akhir turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*) yang dibuang ke ruang kondensor menjadi berkurang. Penurunan volume uap buang (*exhaust steam*) ini secara langsung mengurangi beban kerja termal pada kondensor, sehingga proses kondensasi di dalam kondensor dapat berjalan lebih efektif dan tekanan vakum dapat kembali meningkat.

4. Mengatur Tekanan *Sealing* pada Turbin

Pengaturan tekanan uap penyekat (*gland seal steam pressure*) pada poros turbin sangat krusial untuk mencegah terjadinya kebocoran udara luar (atmosfer) ke dalam sistem turbin dan kondensor. Pada bagian turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*), kondisi di dalam *casing* berada dalam keadaan vakum yang sangat tinggi. Oleh karena itu, poros turbin harus selalu disuplai dengan uap penyekat (*sealing steam*) pada tekanan yang dikondisikan sedikit di atas tekanan atmosfer agar udara tidak masuk ke bagian kondensor.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil observasi, pengolahan data, dan analisis yang telah dilakukan pada Turbin Uap Unit 4 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan rekapitulasi data operasional selama satu minggu penuh, fluktuasi temperatur lingkungan memberikan perbedaan karakteristik kinerja yang sangat jelas, di mana pada kondisi siang hari (07:00–17:00 WIB) tingginya rata-rata temperatur *Inlet* air laut pada rentang 29,64 °C hingga 30,44 °C mengakibatkan tekanan vakum kondensor melemah di kisaran rata-rata -94,77 kPa hingga -93,29 kPa, dengan titik kinerja terburuk di angka -93,13 kPa saat suhu memuncak ke 30,5 °C pada 2 Januari 2026 pukul 12:00. Sementara pada kondisi malam hari (18:00–06:00 WIB), rata-rata suhu berada di kisaran 29,59 °C hingga 30,30 °C mampu memulihkan kinerja kondensor ke tingkat optimal pada rentang vakum rata-rata -94,87 kPa hingga -93,56 kPa, hingga berhasil mencapai titik kevakuman terdalam di angka -95,31 kPa ketika suhu air menyentuh titik terendahnya sebesar 29,5 °C pada 5 Januari 2026 pukul 22:00.
2. Terdapat hubungan korelasi yang sangat kuat (koefisien $r = 0,986$) antara temperatur air laut dan tekanan vakum kondensor. Secara teknis, hubungan ini menunjukkan korelasi yang saling memengaruhi, setiap terjadi peningkatan suhu air laut, tekanan absolut didalam ruang kondensor akan ikut naik. Kenaikan tekanan absolut ini menandakan tingkat kevakuman didalam kondensor mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh mengecilnya selisih temperatur (ΔT) antara air pendingin dan uap buang turbin, yang menghambat laju perpindahan panas dan membuat uap gagal terkondensasi secara sempurna.
3. Untuk mengatasi masalah penurunan tekanan pada vakum kondensor, langkah operasional yang harus dilakukan meliputi pengaturan beban unit pembangkit, pembersihan *tube* dari *fouling* atau *scaling*, penyesuaian bukaan katup diafragma, serta pengaturan tekanan uap penyekat (*sealing*) pada poros turbin.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat diberikan untuk peningkatan operasional pembangkit maupun penelitian selanjutnya adalah:

1. Disarankan kepada pihak manajemen operasional untuk merutinkan jadwal pembersihan *tube* kondensor secara berkala. Pembersihan total dari *fouling* dan *scaling* ini dapat dilakukan pada saat pemeliharaan unit dengan estimasi waktu pengerjaan optimal selama 4 sampai 5 hari kerja, guna memulihkan laju perpindahan panas yang terdampak oleh tingginya fluktuasi temperatur air laut.
2. Kestabilan pada tekanan vakum kondensor di PT Bintang Alumina Indonesia sebaiknya perlu dijaga pada nilai -95 Kpa, untuk dapat menghasilkan air kondensat yang maksimal dan menjaga efektivitas kondensor yang maksimal.
3. Penelitian ini membatasi pada hubungan temperatur dan kinerja vakum. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan analisis dengan menghitung seberapa besar dampak finansial atau kerugian daya keluaran (MW) pada generator, serta penurunan efisiensi termal siklus *Rankine* secara keseluruhan akibat turunnya vakum kondensor di siang hari.

Daftar Pustaka

- [1] F. Maulana *et al.*, "Analisis Kinerja Kondensor Terhadap Perubahan Tekanan Vakum Di Pt Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Pltgu Cilegon," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 10, no. 1, hal. 29–34, 2014.
- [2] Atoni dan K. H. Mahmud, "Pengaruh Variasi Temperatur Air Pendingin Kondensor," *J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 2, no. 1, hal. 1–10, 2015.
- [3] Sri Wuryanti, Salma Halimatu Sya'diah, dan Alvera Apridialianti Melkias, "Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Performa Turbin Uap," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 15, no. 1, hal. 82–89, 2024, doi: 10.35313/irwns.v15i1.6281.
- [4] S. S. Dirmanto dan A. R. Effendi, "Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo," *J. Powerpl.*, vol. 8, no. 1, hal. 1–29, 2020.
- [5] U. Muhamadiyah malang, "BAB 2 Tinjauan Pustaka," *Pontif. Univ. Catol. del Peru*, vol. 8, no. 33, hal. 44, 2019.
- [6] D. M. Putra & Alfauzain, "Tinjauan Pustaka Tinjauan Pustaka," *Conv. Cent. Di Kota Tegal*, vol. 1, no. 938, hal. 6–37, 2021.
- [7] J. R. Material dan M. Energi, "FT-UMSU FT-UMSU," vol. 8, no. 1, hal. 13–22, 2025.
- [8] M. Ridwan, R. Yuherlina, dan D. A. Putra, "Analisa dan Penanganan Terjadinya Penurunan Kevakuman pada Kondensor Utama Terhadap Kinerja Turbin Uap Di Kapal LNG," *Pros. Semin. Pelayaran dan Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, hal. 130–139, 2020, doi: 10.36101/pcsa.v2i1.134.
- [9] R. Pahlevi, "Bab II Landasan Teori," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, 2019.
- [10] Gunarto, Riyanto, dan D. Irawan, "Studi Kasus Variasi Perubahan Tekanan Vakum Terhadap Performance Kondensor Pada Pltu Di Pt. Ica Tayan Kalimantan Barat," *Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 3, hal. 182–186, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.ubb.ac.id/snppm/article/view/1345>
- [11] A. Sukarno, Bono, dan B. Prasetyo, "Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kinerja Kondensor di PLTU Tanjung Jati B Unit 1," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 10, no. 2, hal. 65–71, 2014.
- [12] I. Gunawan, W. S. Pranowo, dan N. Budi Sukoco, "Study of Seawater Mass Characteristics in Eastern Indonesian Waters by Utilizing Argo Float Data," *J. Chart Datum*, vol. 5, no. 2, hal. 130–142, 2022.

- [13] N. H. Teguh, L. Yuliati, dan D. B. Darmadi, "Effect of seawater temperature rising to the performance of Northern Gorontalo small scale power plant," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 32, no. February, hal. 101858, 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.101858.
- [14] N. Hidayatullah *et al.*, "PENGARUH TEKANAN VACUUM CONDENSER TERHADAP KINERJA STEAM TURBINE GENERATOR The Effect of Vacuum Condenser Pressure on Steam Turbine Generator Performance," vol. 7, no. 1, hal. 13–19, 2023.
- [15] P. T. Pln, N. Power, dan U. P. K. Nagan, "Studi Efektivitas Vacuum Pump Pada Kondensor Unit 1," vol. 21, no. 2, hal. 82–88, 2024.
- [16] R. E. N. Rongcai, W. U. Guoxiong, dan C. A. I. Ming, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title".

Biodata

Pas Foto
2 x 3

Nama : Bima Yunarsha Saputra
TTL : Sleman, 24 September 2004
Agama : Islam
Alamat : Lobam Mas Asri II, Blok R 64, Tanjung Permai, Seri Kuala Lobam, Bintan
Email : bimayunarsha24@gmail.com
Riwayat Pendidikan :
SMA/SMK : SMK N 1 Bintan Utara
SMP : SMP N 12 Bintan

Lampiran

DATA KONDENSOR TANGGAL 01 JANUARI 2026 - 07 JANUARI 2026					
Tanggal	Waktu	T In (°C)	T Out (°C)	Tekanan Vakum Kondensor (kPa)	Selisih Temperatur Air Laut (ΔT)
01 Januari 2026	00:00	30,04	34,50	-93,94	4,46
	01:00	30,09	34,60	-93,87	4,51
	02:00	30,10	34,60	-93,95	4,50
	03:00	30,18	34,61	-93,69	4,43
	04:00	30,24	34,59	-93,65	4,35
	05:00	30,19	34,62	-93,74	4,43
	06:00	30,11	34,55	-93,97	4,44
	07:00	30,10	34,64	-93,97	4,54
	08:00	30,10	34,60	-93,96	4,50
	09:00	30,10	34,68	-93,82	4,58
	10:00	30,13	34,60	-93,86	4,47
	11:00	30,15	34,56	-94,03	4,41
	12:00	30,16	34,53	-93,92	4,37
	13:00	30,16	34,45	-93,98	4,29
	14:00	30,18	34,45	-93,77	4,27
	15:00	30,14	34,42	-93,86	4,28
	16:00	30,10	34,48	-93,87	4,38
	17:00	30,10	34,44	-94,06	4,34
	18:00	30,10	34,40	-94,03	4,30
	19:00	29,97	34,49	-94,01	4,52
	20:00	30,02	34,57	-94,01	4,55
	21:00	29,94	34,59	-94,19	4,65
	22:00	29,89	34,56	-94,25	4,67
	23:00	29,98	34,53	-94,06	4,55

02 Januari 2026	00:00	30,02	34,56	-93,99	4,54
	01:00	30,10	34,49	-93,91	4,39
	02:00	30,19	34,53	-93,66	4,34
	03:00	30,15	34,54	-93,76	4,39
	04:00	30,25	34,50	-93,6	4,25
	05:00	30,30	34,57	-93,6	4,27
	06:00	30,39	34,58	-93,38	4,19
	07:00	30,37	34,54	-93,47	4,17
	08:00	30,42	34,48	-93,36	4,06
	09:00	30,44	34,55	-93,32	4,11
	10:00	30,49	34,57	-93,23	4,08
	11:00	30,49	34,65	-93,18	4,16
	12:00	30,50	34,72	-93,13	4,22
	13:00	30,41	34,66	-93,31	4,25
	14:00	30,44	34,63	-93,26	4,19
	15:00	30,47	34,71	-93,22	4,24
	16:00	30,44	34,65	-93,35	4,21
	17:00	30,44	34,61	-93,34	4,17
	18:00	30,47	34,57	-93,27	4,10
	19:00	30,39	34,55	-93,42	4,16
	20:00	30,35	34,54	-93,51	4,19
	21:00	30,37	34,51	-93,42	4,14
	22:00	30,44	34,48	-93,29	4,04
	23:00	30,34	34,49	-93,42	4,15
03 Januari 2026	00:00	30,38	34,41	-93,43	4,03
	01:00	30,46	34,39	-93,25	3,93
	02:00	30,36	34,39	-93,4	4,03
	03:00	30,38	34,34	-93,37	3,96
	04:00	30,29	34,26	-93,54	3,97
	05:00	30,34	34,32	-93,41	3,98
	06:00	30,24	34,33	-93,69	4,09
	07:00	30,21	34,34	-93,74	4,13

	08:00	30,13	34,25	-93,85	4,12
	09:00	30,04	34,29	-94,77	4,25
	10:00	30,03	34,36	-94,09	4,33
	11:00	30,10	34,27	-93,84	4,17
	12:00	30,09	34,27	-93,99	4,18
	13:00	30,12	34,21	-93,86	4,09
	14:00	30,08	34,11	-93,92	4,03
	15:00	30,09	34,19	-93,9	4,10
	16:00	30,07	34,14	-94,01	4,07
	17:00	30,04	34,06	-94,05	4,02
	18:00	30,12	34,16	-93,82	4,04
	19:00	30,07	34,23	-93,92	4,16
	20:00	30,10	34,32	-93,95	4,22
	21:00	30,08	34,36	-93,97	4,28
	22:00	30,07	34,46	-94,02	4,39
	23:00	30,12	34,51	-93,9	4,39
04 Januari 2026	00:00	30,19	34,46	-93,71	4,27
	01:00	30,12	34,54	-93,83	4,42
	02:00	30,13	34,58	-93,84	4,45
	03:00	30,09	34,65	-93,99	4,56
	04:00	30,01	34,70	-94,07	4,69
	05:00	30,10	34,67	-93,92	4,57
	06:00	30,06	34,70	-94,05	4,64
	07:00	30,12	34,77	-93,92	4,65
	08:00	30,12	34,68	-93,86	4,56
	09:00	30,14	34,76	-93,89	4,62
	10:00	30,08	34,82	-93,9	4,74
	11:00	30,00	34,92	-94,14	4,92
	12:00	29,98	35,00	-94,19	5,02
	13:00	30,03	34,91	-94,07	4,88
	14:00	30,08	34,83	-93,88	4,75
	15:00	30,16	34,89	-93,87	4,73

	16:00	30,22	34,82	-93,61	4,60
	17:00	30,18	34,81	-93,7	4,63
	18:00	30,26	34,74	-93,55	4,48
	19:00	30,21	34,81	-93,65	4,60
	20:00	30,15	34,72	-93,84	4,57
	21:00	30,19	34,63	-93,83	4,44
	22:00	30,09	34,72	-93,9	4,63
	23:00	30,01	34,69	-94,01	4,68
05 Januari 2026	00:00	29,93	34,73	-94,23	4,80
	01:00	29,99	34,77	-94,15	4,78
	02:00	29,92	34,68	-94,29	4,76
	03:00	29,83	34,75	-94,45	4,92
	04:00	29,81	34,69	-94,51	4,88
	05:00	29,86	34,65	-94,41	4,79
	06:00	29,82	34,63	-94,38	4,81
	07:00	29,81	34,54	-94,36	4,73
	08:00	29,76	34,52	-94,57	4,76
	09:00	29,83	34,53	-94,45	4,70
	10:00	29,74	34,44	-94,56	4,70
	11:00	29,65	34,52	-94,8	4,87
	12:00	29,71	34,46	-94,67	4,75
	13:00	29,69	34,46	-94,71	4,77
	14:00	29,65	34,43	-94,69	4,78
	15:00	29,60	34,46	-94,89	4,86
	16:00	29,52	34,50	-95,04	4,98
	17:00	29,50	34,46	-94,94	4,96
	18:00	29,50	34,50	-95,02	5,00
	19:00	29,50	34,50	-95,07	5,00
	20:00	29,53	34,49	-94,98	4,96
	21:00	29,50	34,52	-94,95	5,02
	22:00	29,50	34,54	-95,31	5,04
	23:00	29,50	34,48	-94,95	4,98

06 Januari 2026	00:00	29,50	34,57	-94,93	5,07
	01:00	29,50	34,62	-95,11	5,12
	02:00	29,58	34,72	-94,84	5,14
	03:00	29,50	34,65	-95,03	5,15
	04:00	29,58	34,65	-94,8	5,07
	05:00	29,50	34,64	-95,13	5,14
	06:00	29,50	34,67	-95,17	5,17
	07:00	29,56	34,70	-94,93	5,14
	08:00	29,50	34,68	-94,97	5,18
	09:00	29,57	34,77	-94,85	5,20
	10:00	29,64	34,84	-94,73	5,20
	11:00	29,67	34,90	-94,77	5,23
	12:00	29,72	34,97	-94,64	5,25
	13:00	29,70	34,92	-94,68	5,22
	14:00	29,67	34,94	-94,66	5,27
	15:00	29,69	34,88	-94,68	5,19
	16:00	29,63	34,94	-94,74	5,31
	17:00	29,57	34,85	-94,83	5,28
	18:00	29,61	34,86	-94,79	5,25
	19:00	29,67	34,77	-94,75	5,10
	20:00	29,67	34,85	-94,77	5,18
	21:00	29,63	34,85	-94,79	5,22
	22:00	29,70	34,89	-94,64	5,19
	23:00	29,74	34,84	-94,51	5,10
07 Januari 2026	00:00	29,82	34,82	-94,42	5,00
	01:00	29,91	34,90	-94,32	4,99
	02:00	29,81	34,87	-94,58	5,06
	03:00	29,73	34,85	-94,61	5,12
	04:00	29,83	34,84	-94,38	5,01
	05:00	29,80	34,86	-94,53	5,06
	06:00	29,81	34,79	-94,37	4,98
	07:00	29,90	34,73	-94,22	4,83

	08:00	29,99	34,74	-94,07	4,75
	09:00	29,90	34,82	-94,27	4,92
	10:00	29,90	34,81	-94,35	4,91
	11:00	29,92	34,85	-94,19	4,93
	12:00	29,88	34,90	-94,33	5,02
	13:00	29,88	34,94	-94,25	5,06
	14:00	29,93	34,96	-94,19	5,03
	15:00	29,89	34,96	-94,33	5,07
	16:00	29,81	34,89	-94,37	5,08
	17:00	29,83	34,81	-94,38	4,98
	18:00	29,80	34,75	-94,38	4,95
	19:00	29,79	34,82	-94,42	5,03
	20:00	29,86	34,86	-94,33	5,00
	21:00	29,77	34,77	-94,59	5,00
	22:00	29,71	34,69	-94,56	4,98
	23:00	29,78	34,63	-94,57	4,85