



Pengaruh *Steam Rate* Terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia

Tugas Akhir

Oleh:

Nayla Putri Maulana (423221019)

**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 Steam Rate Terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di 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, 06 Juli 2026



Nayla Putri Maulana
NIM: 4232201019

Lembar Pengesahan

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

Oleh:
Nayla Putri Maulana (4232201019)

Tanggal Sidang: 06 Juli 2026

Disetujui oleh:

Nama Penguji I



Muhammad Veven, S.Kom., M.Eng
NIP: 199712272025061005

Nama Pembimbing



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

Nama Penguji II



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

Lembar Pengesahan Industri

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

Disusun oleh: Nayla Putri Maulana (4232201019)

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

Judul Tugas Akhir: Pengaruh *Steam Rate* Terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan
Alumina Indonesia

Perusahaan: PT. Bintan Alumina Indonesia

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing:



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

Pembimbing Industri:



Muhammad Kamal Marsetianto
NIK: 119060020

HRD/Manager



Jeprianto
NIK: 12007003

Pengaruh *Steam Rate* Terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia

Abstrak

Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia merupakan turbin uap jenis *back pressure* berkapasitas 25 MW yang berperan penting dalam menyuplai daya listrik dan uap proses untuk produksi alumina. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi uap masuk turbin, mengevaluasi kinerja turbin berdasarkan data operasi aktual, serta menganalisis hubungan *Actual Steam Rate* pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi terhadap efisiensi internal turbin. Data operasi aktual diperoleh selama 90 hari (Desember 2025–Februari 2026) dari sistem *Distributed Control System* (DCS), dengan nilai entalpi dan entropi uap dihitung menggunakan perangkat lunak *SteamTab*. Parameter yang dihitung meliputi *Actual Steam Rate* (ASR), *Theoretical Steam Rate* (TSR), daya turbin, dan efisiensi internal. Hasil penelitian menunjukkan tekanan uap *inlet* berkisar 8,46–8,90 MPa, dengan 52 hari (57,8%) pada kondisi tekanan rendah ($P_i < 8,75$ MPa) dan 38 hari (42,2%) pada kondisi tekanan tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa). Nilai ASR berada pada rentang 8,996–9,701 kg/kWh (rata-rata 9,306 kg/kWh), di mana seluruh nilai ASR selama periode pengamatan, termasuk nilai terendahnya, tetap lebih tinggi dari nilai desain 8,443 kg/kWh, menunjukkan bahwa turbin tidak pernah mencapai kondisi konsumsi uap sesuai desain sepanjang periode pengamatan. Nilai TSR berkisar 5,953–6,137 kg/kWh (rata-rata 6,055 kg/kWh). Efisiensi internal berada pada rentang 62,17%–67,27% (rata-rata 65,09%), seluruhnya masuk kategori rendah ($\eta < 70\%$) dan berada di bawah nilai desain sebesar 78,67%. Kondisi tekanan *inlet* tinggi menghasilkan ASR rata-rata lebih rendah (9,298 kg/kWh) dibandingkan tekanan rendah (9,312 kg/kWh), membuktikan bahwa operasi pada tekanan lebih tinggi menghasilkan konsumsi uap yang lebih efisien dan kinerja turbin yang lebih optimal.

Kata kunci: *steam rate*, turbin uap *back pressure*, efisiensi internal, PLTU

The Effect of Steam Rate on the Performance of Turbine Unit 05 at PT Bintan Alumina Indonesia Power Plant

Abstract

Turbine Unit 05 at PT Bintan Alumina Indonesia Power Plant is a 25 MW back pressure steam turbine that plays a critical role in supplying electrical power and process steam for alumina production. This study aims to analyze the steam inlet conditions of the turbine, evaluate turbine performance based on actual operational data, and examine the relationship between Actual Steam Rate at low and high inlet pressures and the turbine's internal efficiency. Operational data were collected over 90 days (December 2025–February 2026) from the Distributed Control System (DCS), with steam enthalpy and entropy values calculated using SteamTab software. Parameters calculated include Actual Steam Rate (ASR), Theoretical Steam Rate (TSR), turbine power output, and internal efficiency. Results show that inlet steam pressure ranged from 8.46 to 8.90 MPa, with 52 days (57.8%) under low-pressure conditions ($P_i < 8.75$ MPa) and 38 days (42.2%) under high-pressure conditions ($P_i \geq 8.75$ MPa). ASR ranged from 8.996 to 9.701 kg/kWh with an average of 9.306 kg/kWh, exceeding the design value of 8.443 kg/kWh. TSR ranged from 5.953 to 6.137 kg/kWh with an average of 6.055 kg/kWh. Internal efficiency ranged from 62.17% to 67.27% with an average of 65.09%, all classified as low efficiency ($\eta < 70\%$). High inlet pressure conditions produced a lower average ASR (9.298 kg/kWh) than low inlet pressure (9.312 kg/kWh), confirming that operation at higher inlet pressure yields more efficient steam consumption and improved overall turbine performance.

Keywords: *steam rate, back pressure steam turbine, internal efficiency, power plant*

Kata Pengantar

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Pengaruh *Steam Rate* Terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia**". Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan Tingkat Diploma 4 pada Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam.

Penulis mengucapkan terima kasih atas doa, motivasi, bimbingan, masukan, dan bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan penuh hormat penulis mengucapkan terima kasih dan mendoakan semoga Tuhan memberikan balasan yang terbaik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Kedua Orang Tua Tercinta, Papa dan Mama yang tak pernah berhenti memberikan doa yang tulus di setiap sujudnya, kasih sayang yang luar biasa, serta dukungan moral maupun materil yang tiada henti, sehingga menjadi kekuatan terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
2. Saudara/i Penulis, yang selalu bersedia menjadi *support system* terbaik, mendengarkan keluh kesah penulis, serta memberikan semangat dan energi positif di saat penulis merasa jenuh.
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 Pembimbing sekaligus Dosen Wali penulis, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta nasihat yang sangat berharga, baik dalam perkuliahan maupun selama proses penyusunan laporan ini.
7. Seluruh Karyawan PT Bintang Alumina Indonesia, khususnya karyawan Shift B Departemen PLTU Divisi Turbin, terima kasih atas sambutan yang hangat, ilmu yang dibagikan, serta kerja sama yang luar biasa selama penulis berada di lingkungan kerja.
8. Teman-teman Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Kelas A Angkatan 2022, terkhusus yang perempuan atas doa, dukungan, serta kebersamaan yang telah terjalin dengan baik selama masa perkuliahan. Semoga kesuksesan senantiasa menyertai kita semua di masa depan.

9. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Trio Erangel atas segala dukungan, semangat, dan kebersamaan yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, memberikan hiburan di tengah rasa lelah, serta tanpa bosan mengingatkan dan memotivasi penulis agar tetap produktif ketika rasa malas mulai datang. Dukungan dan kebersamaan tersebut menjadi salah satu penyemangat bagi penulis hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
10. Penulis turut menyampaikan rasa terima kasih kepada seseorang yang memiliki tempat istimewa di hati penulis yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan selama masa magang ini. Terima kasih atas doa, perhatian, dukungan, dan semangat yang tidak pernah putus, serta telah menjadi tempat berbagi cerita dan selalu percaya bahwa penulis mampu menyelesaikan seluruh proses magang dan penyusunan laporan ini dengan baik. Apresiasi terdalam atas waktu, kesabaran, dan dukungan yang tiada henti. Kehadiranmu adalah salah satu alasan terbesar penulis untuk tetap kuat dan merampungkan setiap proses ini dengan sebaik-baiknya.
11. Kucing-kucing Peliharaan Penulis, yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah menjadi healing terbaik, penghibur yang lucu, dan pereda lelah di saat penulis merasa jenuh dengan rutinitas magang dan laporan.
12. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri atas segala usaha, kesabaran, ketekunan, dan semangat yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena telah mampu bertahan, terus belajar, bangkit di setiap kesulitan, serta tidak menyerah hingga akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Semoga setiap proses yang telah dilalui menjadi pengalaman berharga dan langkah awal untuk meraih cita-cita di masa depan.

Batam, 29 Juni 2026

Nayla Putri Maulana

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Pengesahan Industri	iv
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
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	2
1.5. Batasan	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1 Turbin Uap	4
2.2 <i>Back pressure Steam Turbine</i>	5
2.3 <i>Steam Rate</i>	6
2.3.1 <i>Actual Steam Rate</i>	6
2.3.2 <i>Theoretical Steam Rate</i>	6
2.4 Entalpi	7
2.5 Entropi	8
2.6 Daya Turbin	9

2.7 Efisiensi Uap	9
Bab 3. Metodologi Penelitian	10
3.1. Diagram Alir.....	10
3.2 Lokasi Penelitian.....	12
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	13
4.1. Hasil Penelitian	13
4.1.1 Temperatur Uap Masuk (T_i) dan Uap Keluar (T_o) Turbin Unit 05.....	14
4.1.2 Tekanan Uap Masuk (P_i) dan Uap Keluar (P_o) Turbin Unit 05.....	15
4.1.3 Laju Aliran Massa Uap ($\dot{m}$) Turbin Unit 05	16
4.1.4 Daya Listrik Generator (P) Turbin Unit 05.....	16
4.1.5 Hasil Perhitungan ASR, TSR, dan Efisiensi Internal	17
4.2. Pembahasan.....	17
4.2.1. Analisis Kondisi Uap Masuk Turbin Unit 05	17
4.2.2. Hubungan <i>Steam Flow</i> terhadap <i>Electrical power</i>	18
4.2.3. Analisis <i>Actual Steam Rate</i> (ASR) dan <i>Theoretical Steam Rate</i> (TSR)	19
4.2.4. Analisis Efisiensi Internal Turbin Unit 05	21
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	24
5.1. Kesimpulan	24
5.2. Saran	25
Daftar Pustaka	26
Biodata	27
Lampiran	28

Daftar Gambar

Gambar 1. Turbin Uap	4
Gambar 2. <i>Back pressure Steam Turbine</i>	5
Gambar 3. Diagram Alir	10
Gambar 4. Lokasi PT BAI.....	12
Gambar 5. Data Temperatur Uap Masuk dan Uap Keluar	14
Gambar 6. Data Tekanan Uap Masuk dan Uap Keluar	15
Gambar 7. Data Laju Aliran Massa Uap	16
Gambar 8. Data Daya Listrik Generator.....	16
Gambar 9. Grafik Hubungan <i>Steam Flow</i> terhadap <i>Electrical Power</i>	18
Gambar 10. Grafik Hubungan <i>Actual Steam Rate (ASR)</i> terhadap <i>Electrical power</i>	19
Gambar 11. Grafik Hubungan <i>Theoritical Steam Rate (TSR)</i> terhadap <i>Electrical power</i>	20
Gambar 12. Grafik Hubungan Efisiensi Internal Turbin terhadap <i>Electrical power</i>	21
Gambar 13. Grafik Hubungan Tekanan <i>Inlet</i> terhadap <i>Actual Steam Rate (ASR)</i> .22	
Gambar 14. Grafik ASR dengan Efisiensi Turbin pada tekanan <i>inlet</i> rendah dan tinggi	23

Daftar Tabel

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Unit 05 PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.....	13
--	----

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Turbin uap merupakan komponen utama dalam sistem pembangkitan listrik tenaga uap yang berfungsi mengonversi energi termal uap menjadi energi mekanik, kemudian diubah menjadi energi listrik melalui generator. Kinerja turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi uap masuk, khususnya tekanan, temperatur, dan laju aliran massa uap. Variasi pada parameter tersebut dapat menyebabkan perubahan nilai *Steam Rate*, yaitu jumlah uap yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik pada beban tertentu. Peningkatan *Steam Rate* menunjukkan menurunnya efisiensi konversi energi, sehingga konsumsi uap menjadi lebih besar dan kinerja turbin menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang mampu menggambarkan hubungan antara *Steam Rate* dan kinerja turbin berdasarkan kondisi operasi aktual guna mendukung pengoperasian turbin yang efisien dan stabil.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kondisi uap masuk sangat menentukan performa turbin uap. Perbedaan tekanan uap *inlet* menyebabkan variasi nilai *Actual Steam Rate* (ASR), dan semakin besar *electrical power* yang dihasilkan turbin maka efisiensi internal meningkat, yaitu dari 53,26% pada 4,9 MW menjadi 72,04% pada 7,5 MW. Hasil studi tersebut juga menunjukkan bahwa pada daya yang sama, tekanan *inlet* tinggi menghasilkan ASR lebih rendah dibanding tekanan rendah, sehingga konsumsi uap lebih efisien [1].

Selain itu, laju massa uap memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin uap. Dengan rata-rata laju massa 6,70 kg/s dan efisiensi 32,69%, penelitian tersebut menemukan hubungan negatif, yaitu semakin besar laju uap yang masuk, efisiensi cenderung menurun. Temuan ini menegaskan pentingnya menjaga kestabilan debit uap untuk mempertahankan efisiensi kerja turbin [2]. Penelitian lainnya menambahkan bahwa efisiensi isentropik turbin dipengaruhi oleh kondisi termodinamika uap, termasuk temperatur *main steam* dan tekanan *exhaust*. Peningkatan suhu uap masuk meningkatkan efisiensi isentropik, sementara tekanan *exhaust* yang rendah membantu meningkatkan efektivitas proses ekspansi uap. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa laju aliran massa uap merupakan faktor utama yang menentukan besar kecilnya kerja turbin selama beroperasi [3].

Dalam ruang lingkup PLTU PT Bintan Alumina Indonesia penelitian yang dilakukan oleh Tambunan melakukan perhitungan performa Turbin Unit 02 dan mendapati bahwa perubahan beban operasi secara langsung memengaruhi nilai ASR dan efisiensi internal turbin. Selama periode pengamatan, efisiensi turbin bervariasi dari 56,09% hingga 68,38% dipengaruhi oleh *steam flow*, tekanan *inlet*, serta temperatur uap. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa penerapan tekanan uap *inlet* tinggi menghasilkan nilai ASR yang lebih rendah untuk daya yang

sama, sehingga operasi lebih efisien [4].

Dari hasil penjabaran diatas maka pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara *Steam Rate* dan kinerja turbin uap berdasarkan data operasi aktual pada Turbin Unit 05. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik kinerja turbin serta menjadi bahan evaluasi dalam pengoperasian turbin uap agar dapat beroperasi secara lebih efisien. Dengan dasar tersebut, penelitian ini mengambil judul ***“Pengaruh Steam Rate terhadap Kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia.”***

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi *steam* yang masuk ke Turbin Unit 05 dan faktor apa saja yang memengaruhinya?
2. Bagaimana kinerja Turbin Unit 05 berdasarkan data aktual operasi di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia?
3. Bagaimana hubungan *Actual Steam Rate* pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi terhadap efisiensi turbin Unit 05?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kondisi *steam* yang masuk ke Turbin Unit 05 serta faktor-faktor yang memengaruhi perubahan parameter uap.
2. Mengetahui dan mengevaluasi kinerja Turbin Unit 05 berdasarkan data operasi aktual di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia.
3. Mengetahui hubungan antara nilai *Actual Steam Rate* pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi terhadap efisiensi turbin Unit 05.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademik
Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dan wawasan akademik di bidang pembangkitan listrik tenaga uap, khususnya terkait analisis *Steam Rate* dan efisiensi turbin uap tekanan balik.
Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan bahan pembandingan dan rujukan bagi penelitian selanjutnya yang membahas kinerja turbin uap berbasis data operasi aktual.

2. Manfaat bagi Industri

Bagi industri pembangkitan listrik, khususnya PLTU PT Bintan Alumina Indonesia, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi aktual kinerja Turbin Unit 05. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dalam pengambilan keputusan operasional, pengendalian konsumsi uap, serta upaya peningkatan efisiensi dan keandalan turbin pada berbagai kondisi beban.

3. Manfaat Sosial

Secara tidak langsung, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam upaya peningkatan efisiensi pembangkit listrik, yang berdampak pada pemanfaatan energi yang lebih optimal. Efisiensi pembangkitan yang baik diharapkan dapat mendukung keberlanjutan penyediaan energi listrik serta pengurangan pemborosan sumber daya energi.

1.5. Batasan

Agar penelitian lebih terarah dan tidak melebar, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data operasi aktual Turbin Unit 05 yang diperoleh dari *control room* dan *logsheets* PLTU PT Bintan Alumina Indonesia pada periode pengamatan tertentu.
2. Objek penelitian difokuskan pada Turbin Unit 05 dengan jenis turbin uap tekanan balik (*back pressure turbine*).
3. Parameter yang dianalisis meliputi tekanan uap *inlet*, temperatur uap *inlet*, laju aliran massa uap, beban generator, *Actual Steam Rate*, dan efisiensi internal turbin.
4. Perhitungan sifat termodinamika uap, seperti entalpi dan entropi, dilakukan menggunakan *Steam Tab*.
5. Analisis kinerja turbin didasarkan pada kondisi operasi aktual tanpa melakukan pengujian eksperimental langsung di lapangan.
6. Penelitian tidak membahas proses pembentukan uap di boiler, sistem kondensor, maupun analisis siklus PLTU secara keseluruhan.
7. Penelitian tidak membahas aspek ekonomi, pemeliharaan peralatan, serta analisis kerusakan mekanis pada turbin.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Turbin Uap



Gambar 1. Turbin Uap

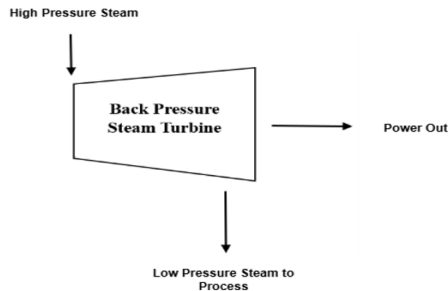
(Sumber: Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* PLTU)

Turbin uap merupakan mesin energi atau penggerak mula yang berfungsi mengubah energi yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Proses ini terjadi ketika uap kering bertekanan dan bertemperatur tinggi dari boiler mengalir melalui nosel atau sudu turbin, sehingga menghasilkan gaya yang menyebabkan poros turbin berputar. Putaran poros tersebut kemudian dihubungkan secara langsung atau melalui roda gigi reduksi dengan peralatan yang digerakkan, seperti generator, untuk menghasilkan energi listrik. Dalam sistem pembangkit tenaga uap, turbin uap merupakan komponen utama yang kinerjanya dipengaruhi oleh kondisi uap masuk, antara lain tekanan, temperatur, dan laju aliran massa uap, serta karakteristik internal turbin. Selain sudu dan poros sebagai komponen utama, turbin uap juga dilengkapi dengan komponen pendukung seperti bantalan, kopling, dan sistem bantu lainnya [5].

Turbin uap dapat diklasifikasikan berdasarkan prinsip kerjanya menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. Selain itu, berdasarkan tekanan uap keluarannya, turbin uap dibedakan menjadi turbin kondensasi dan turbin *back pressure*. Variasi jenis dan konfigurasi turbin ini memengaruhi karakteristik operasi, tekanan uap keluar, efisiensi termodinamika serta kebutuhan uap untuk menghasilkan daya tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi operasi seperti tekanan *inlet* dan temperatur uap memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi dan nilai *Steam Rate* turbin uap secara keseluruhan.

2.2 Back pressure Steam Turbine

Back pressure Steam Turbine merupakan jenis turbin uap yang dirancang agar uap keluarannya masih memiliki tekanan dan temperatur tertentu setelah melewati turbin. Pada turbin uap *back pressure*, uap dari boiler tidak dikondensasikan di kondensor, melainkan dialirkan langsung ke sistem proses setelah melewati turbin. Oleh karena itu, turbin uap *back pressure* banyak diterapkan pada pembangkit listrik dan instalasi industri yang memerlukan pasokan energi listrik dan uap proses secara bersamaan. [6]



Gambar 2. Back pressure Steam Turbine

(Sumber: Dokumen Prosedur Operasi Turbin PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia)

Gambar 2 menunjukkan skema kerja turbin uap *back pressure*. Uap bertekanan tinggi (*high pressure steam*) dari boiler masuk ke turbin dan mengalami ekspansi sebagian di dalam turbin untuk menghasilkan daya (*power out*). Berbeda dengan turbin kondensasi, uap keluar dari turbin *back pressure* tidak dibuang ke kondensor, melainkan dialirkan sebagai uap bertekanan rendah (*low pressure steam to process*) untuk memenuhi kebutuhan proses. Dengan demikian, tekanan uap keluar turbin dijaga pada nilai tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem proses.

Turbin uap *back pressure* umumnya dioperasikan secara paralel dengan turbin kondensasi pada sistem pembangkit yang memerlukan fleksibilitas dalam pemenuhan kebutuhan daya listrik dan uap proses. Pada kondisi beban listrik yang tinggi, turbin kondensasi berperan lebih dominan dalam menyuplai daya, sedangkan turbin *back pressure* berfungsi untuk memenuhi kebutuhan uap proses sekaligus menyumbang daya listrik. Dari sisi konstruksi, turbin uap *back pressure* memiliki desain yang relatif lebih sederhana dibandingkan turbin kondensasi karena tidak memerlukan sistem kondensor dan peralatan vakum.

Dalam kaitannya dengan kinerja turbin, karakteristik tekanan *outlet* pada

turbin uap *back pressure* menjadi parameter penting yang memengaruhi nilai *Steam Rate* dan efisiensi turbin. Peningkatan tekanan *back pressure* cenderung meningkatkan konsumsi uap per satuan daya yang dihasilkan, sehingga nilai aktual *Steam Rate* menjadi lebih besar. Oleh karena itu, analisis kinerja turbin uap *back pressure* perlu mempertimbangkan hubungan antara tekanan *inlet*, tekanan *outlet*, laju aliran uap, dan daya yang dihasilkan berdasarkan data operasi aktual. [7].

2.3 *Steam Rate*

Steam Rate didefinisikan sebagai besarnya kebutuhan uap untuk menghasilkan energi listrik per kWh, yang diperoleh dari rasio laju aliran massa uap terhadap daya output turbin. [8]

Steam Rate sering digunakan sebagai indikator efisiensi pemanfaatan uap dalam pembangkit listrik, di mana semakin rendah nilai *Steam Rate* menunjukkan konsumsi uap yang lebih efisien dalam konversi energi termal menjadi energi listrik. Studi menunjukkan bahwa *Steam Rate* dipengaruhi oleh tekanan *inlet*, laju aliran massa uap, temperatur, serta kondisi operasi turbin. Dengan perubahan beban operasi, nilai *Steam Rate* turbin dapat berfluktuasi dan mencerminkan perubahan efisiensi kerja turbin uap. [9]

2.3.1 *Actual Steam Rate*

Actual Steam Rate adalah *Steam Rate* yang dihitung berdasarkan data operasi aktual turbin dengan mempertimbangkan kerugian non-isentropik. ASR mencerminkan kondisi nyata performa turbin uap dan digunakan untuk membandingkan kinerja aktual dengan kondisi desain atau kondisi ideal isentropik, serta menjadi acuan dalam optimasi operasi turbin. [1]

$$ASR = \frac{\dot{m}}{P} \quad (1)$$

Dengan :

$\dot{m}$ = Laju uap yang dibutuhkan turbin (kg/h)
 P = Daya yang dihasilkan turbin (kW)
 ASR = *Actual Steam Rate* (kg/kWh)

2.3.2 *Theoretical Steam Rate*

Theoretical Steam Rate didefinisikan sebagai jumlah uap yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan daya jika ekspansi uap dilakukan secara ideal (isentropik), tanpa mempertimbangkan kerugian energi. [1]

$$TSR = \frac{3600}{\Delta H_{isentropic}} \quad (2)$$

Dengan :

$\Delta H_{isentropic}$	= $h_i - h_o.s$ (kJ/kg)
H_i	= Entalpi spesifik uap masuk (kJ/kg)
$h_o.s$	= Entalpi spesifik uap keluar isentropis (kJ/Kg)
TSR	= <i>Theoretical Steam Rate</i> (kg/kW)

2.4 Entalpi

Entalpi merupakan salah satu parameter termodinamika yang digunakan untuk menyatakan energi spesifik yang dimiliki oleh fluida kerja dalam sistem aliran terbuka, seperti turbin uap. Dalam sistem pembangkit tenaga uap, entalpi digunakan untuk menggambarkan tingkat energi uap sebelum dan sesudah mengalami proses ekspansi di dalam turbin. Entalpi dilambangkan sebagai ΔH . Sehingga, pada tekanan tetap, perubahan entalpi sama dengan kalor (q) yang diserap maupun kalor yang dilepas. Secara matematis, entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = U + pV \quad (3)$$

Dimana:

H	= entalpi sistem (joule)
U	= energi internal (joule)
P	= tekanan dari sistem (Pa)
V	= volume sistem (m^3)

Parameter tekanan dan temperatur uap yang masuk ke turbin untuk mencari nilai entalpi *inlet* dengan cara interpolasi berdasarkan data pada tabel uap (*superheated steam*). Berikut persamaan entalpi *inlet*:

$$h_i = h_b + (T_i - T_a) \times (h_a - h_b) / (T_a - T_b) \quad (4)$$

Dengan:

h_i	= Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)
h_a	= Entalpi atas pada tabel uap (kJ/kg)
h_b	= Entalpi bawah pada tabel uap (kJ/kg)
T_i	= Temperatur uap masuk turbin ($^{\circ}C$)
T_a	= Temperatur atas pada tabel uap ($^{\circ}C$)
T_b	= Temperatur bawah pada tabel uap ($^{\circ}C$)

Parameter tekanan dan temperatur uap yang keluar dari turbin untuk mencari nilai entalpi *outlet* dengan cara interpolasi berdasarkan data pada tabel uap (*superheated steam*). Berikut persamaan entalpi *outlet*:

$$h_o = h_b + (T_o - T^b) \times (h_a - h_b) / (T_a - T_b) \quad (5)$$

Dengan:

ho	= Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)
ha	= Entalpi atas pada tabel uap (kJ/kg)
hb	= Entalpi bawah pada tabel uap (kJ/kg)
To	= Temperatur uap keluar turbin (°C)
Ta	= Temperatur atas pada tabel uap (°C)
Tb	= Temperatur bawah pada tabel uap (°C)

Pada turbin uap *back pressure*, nilai entalpi uap keluar relatif lebih tinggi dibandingkan dengan turbin kondensasi. Hal ini disebabkan oleh tekanan *outlet* turbin *back pressure* yang dijaga pada nilai tertentu agar uap buang masih dapat dimanfaatkan untuk keperluan proses industri. Kondisi tersebut menyebabkan selisih entalpi antara uap masuk dan uap keluar menjadi lebih kecil, sehingga energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi kerja juga berkurang. Akibatnya, untuk menghasilkan daya yang sama, turbin membutuhkan laju aliran uap yang lebih besar, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai *Steam Rate*. [10]

Dengan demikian, analisis entalpi uap sangat diperlukan dalam penelitian ini untuk memahami pengaruh perubahan kondisi uap terhadap kinerja turbin uap *back pressure*, khususnya dalam kaitannya dengan daya yang dihasilkan dan nilai *Steam Rate*.

2.5 Entropi

Entropi adalah besaran termodinamika yang digunakan untuk mengukur energi dalam suatu sistem per satuan suhu yang tidak dapat dikonversi menjadi usaha. Oleh karena itu, nilai entropi diperlukan untuk menentukan seberapa besar energi yang tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja pada suatu proses termodinamika. [6]

Parameter tekanan dan temperatur uap yang masuk ke turbin untuk mencari nilai entropi *inlet* dengan cara interpolasi berdasarkan data pada tabel uap (*superheated steam*). Berikut persamaan entropi *inlet*:

$$s_i = s_i' + (P_i - P_i') \times (s_i'' - s_i') / (P_i'' - P_i') \quad (6)$$

Dengan:

Si	= Entropi <i>inlet</i> (kJ/kg.°C)
si'	= Entropi <i>inlet</i> bawah (kJ/kg.°C)
si''	= Entropi <i>inlet</i> atas (kJ/kg.°C)
Pi	= Tekanan uap <i>inlet</i> (MPa)
Pi'	= Tekanan uap <i>inlet</i> bawah (MPa)
Pi''	= Tekanan uap <i>inlet</i> atas (MPa)

Entropi *outlet* untuk proses *isentropic* ditentukan bahwa entropi uap tetap konstan sehingga $s_o.isentropic = s_i.aktual$.

2.6 Daya Turbin

Berdasarkan data perhitungan *enthalpy specific inlet* dan *outlet* maka dilakukan perhitungan kerja yang dihasilkan turbin per satuan massa uap. Daya Turbin menggunakan persamaan berikut:

$$w_T = h_i - h_o \quad (7)$$

Dengan :

w_T	= Daya turbin spesifik (kJ/kg)
h_i	= Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)
h_o	= Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Kemudian daya total yang dihasilkan turbin dihitung dengan mengalikan daya spesifik turbin dengan *steam flow*.

$$W_T = \dot{m} \times w_T \quad (8)$$

W_T = Daya turbin yang dihasilkan (kW)

$\dot{m}$ = Laju uap yang dibutuhkan turbin (kg/h)

2.7 Efisiensi Uap

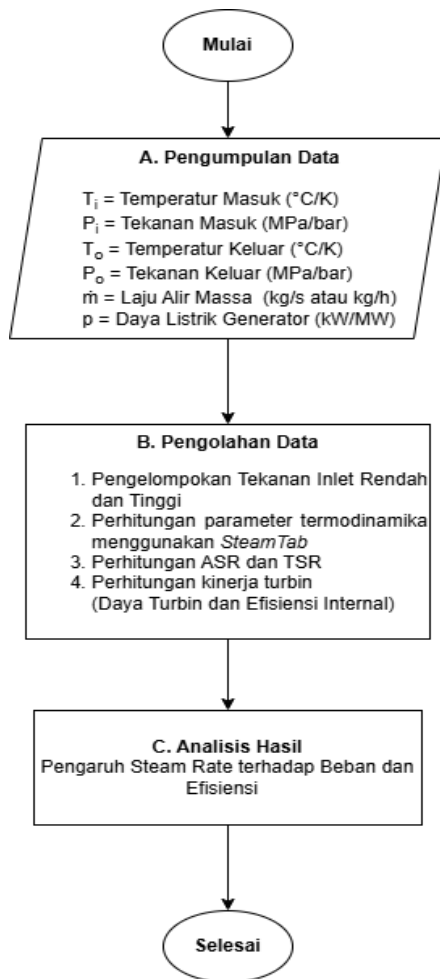
Efisiensi adalah salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui konversi energi atau proses transfer yang terjadi berjalan dengan baik. Jika efisiensi dari suatu unit berjalan dengan baik maka pengoperasiaan pada suatu unit menjadi tidak terganggu

Setelah nilai *Actual Steam Rate* (ASR) dan *Theoretical Steam Rate* (TSR) diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan efisiensi internal turbin. [1] Dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{TSR}{ASR} \times 100\% \quad (9)$$

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Diagram Alir



Gambar 3. Diagram Alir

Diagram alir penelitian terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis hasil.

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung dan tidak langsung pada turbin uap *back pressure* di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia dengan memanfaatkan sistem *Distributed Control System* (DCS) di *control room* untuk mencatat parameter operasi seperti tekanan, temperatur, laju aliran uap, dan daya listrik. Selain itu, digunakan pula data operasi terdahulu yang tersimpan pada sistem serta spesifikasi teknis turbin sebagai data pendukung.

Data yang dikumpulkan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini adalah :

T_i = Temperatur uap masuk turbin ($^{\circ}\text{C}$ atau K)

P_i = Tekanan uap masuk turbin (MPa atau bar)

T_o = Temperatur uap keluar turbin ($^{\circ}\text{C}$ atau K)

P_o = Tekanan uap keluar turbin (MPa atau bar)

$\dot{m}$ = Laju aliran massa uap / *steam flow* (kg/s atau kg/h)

p = Daya listrik generator (kW atau MW)

B. Pengolahan Data

1. Pengolahan data tahap pertama bertujuan untuk menganalisis kondisi uap masuk ke Turbin Unit 05 berdasarkan tekanan *inlet*. Data operasi yang diperoleh dikelompokkan menjadi dua kondisi, yaitu tekanan *inlet* rendah dan tekanan *inlet* tinggi. Tekanan *inlet* rendah menunjukkan kondisi ketika tekanan uap masuk berada di bawah nilai tekanan operasi rata-rata unit, sedangkan tekanan *inlet* tinggi menunjukkan kondisi ketika tekanan uap masuk berada pada atau mendekati tekanan operasi normal unit. Pengelompokan ini dilakukan untuk membedakan karakteristik operasi turbin pada kondisi tekanan yang berbeda sebelum dilakukan perhitungan termodinamika dan *Steam Rate*.
2. Pengolahan Data Tahap 2 Perhitungan Parameter Termodinamika
Pada tahap kedua dilakukan perhitungan parameter termodinamika berupa entalpi dan entropi uap masuk dan keluar turbin. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *SteamTab* berdasarkan data tekanan dan temperatur hasil pengukuran. Parameter yang dihitung pada tahap ini meliputi entalpi uap masuk (h_i), entalpi uap keluar aktual (h_o), dan entropi uap masuk (s_i). Nilai entalpi dan entropi yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam perhitungan *Steam Rate* dan kinerja turbin pada tahap selanjutnya.
3. Pengolahan Data Tahap 3 Perhitungan *Steam Rate*
Pengolahan data tahap ketiga bertujuan untuk menghitung nilai *Actual Steam Rate* (ASR) dan *Theoretical Steam Rate* (TSR). ASR dihitung berdasarkan perbandingan antara laju aliran massa uap dengan daya aktual turbin. TSR dihitung berdasarkan selisih entalpi antara kondisi uap

masuk dan kondisi uap keluar pada keadaan isentropik. Dalam perhitungan kondisi isentropik diasumsikan bahwa entropi uap masuk sama dengan entropi uap keluar isentropik. Pada kondisi tersebut, uap berada pada daerah campuran jenuh sehingga dilakukan perhitungan fraksi uap sebagai langkah perhitungan antara untuk menentukan entalpi *outlet* isentropik.

4. Perhitungan Kinerja Turbin

Berdasarkan nilai ASR dan TSR yang diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan kinerja turbin yang meliputi daya turbin dan efisiensi internal. Daya turbin dihitung berdasarkan selisih entalpi uap masuk dan uap keluar aktual serta laju aliran massa uap. Efisiensi internal turbin ditentukan dengan membandingkan kondisi ideal (isentropik) dengan kondisi aktual turbin.

C. Analisis Hasil

Tahap akhir penelitian adalah analisis hasil perhitungan yang meliputi analisis pengaruh *Steam Rate* terhadap beban generator serta analisis pengaruh *Steam Rate* terhadap efisiensi internal turbin. Hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja Turbin Unit 05 dan menjelaskan hubungan antara kondisi uap masuk, *Steam Rate*, dan kinerja turbin secara keseluruhan.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Bintan Alumina Indonesia dengan alamat Gn. Kijang, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau. PT. Bintan Alumina Indonesia merupakan salah satu Perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan bauksit menjadi alumina sehingga membutuhkan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik dan menggunakan uap keluaran untuk proses produksi alumina.



Gambar 4. Lokasi PT BAI
(Sumber : Google Maps)

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh dari proses pengumpulan data operasi aktual Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia selama periode pengamatan 90 hari. Data yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu data spesifikasi turbin berdasarkan buku operasi turbin dan data operasi harian yang diperoleh dari sistem *Distributed Control System* (DCS) di *control room* serta *logsheets* harian. Nilai entalpi dan entropi uap dihitung menggunakan perangkat lunak *SteamTab* berdasarkan data tekanan dan temperatur yang diperoleh. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sebagai hasil pengolahan data primer.

A. Data Spesifikasi Turbin Unit 05

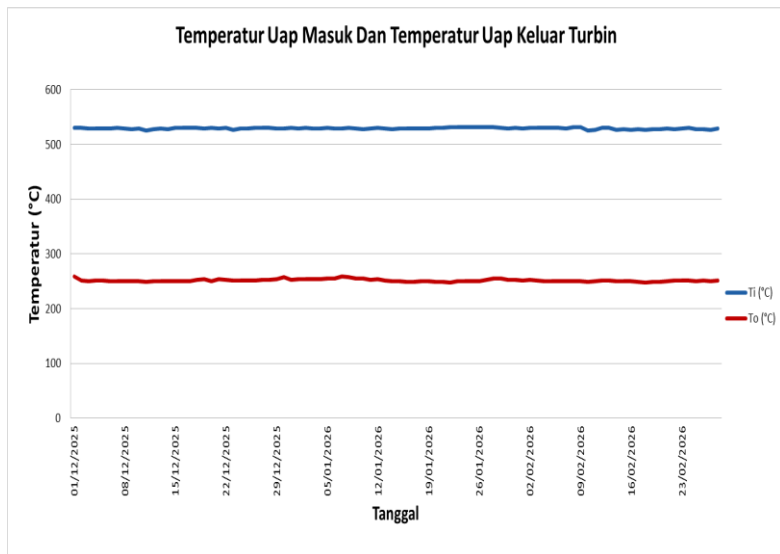
Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia merupakan turbin uap jenis *back pressure* dengan kapasitas sebesar 25 MW. Spesifikasi teknis turbin Unit 05 disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Unit 05 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia

Parameter	Satuan	Nilai
Daya Terpasang (Rated Power)	MW	25
Main Steam Flow	t/h	211,08
Main Steam Pressure	MPa	8,83
Main Steam Temperature	°C	535
Exhaust Steam Pressure	MPa	1,1
Exhaust Steam Temperature	°C	282,8
Total Stages	Stage	10
Rated Speed	r/min	3000
Tipe	-	Back pressure, Single Cylinder, Impulse

Data operasi harian Turbin Unit 05 diperoleh selama 90 hari periode pengamatan, mulai dari 1 Desember 2025 hingga 28 Februari 2026. Parameter yang dicatat meliputi temperatur uap masuk (Ti), tekanan uap masuk (Pi), temperatur uap keluar (To), tekanan uap keluar (Po), laju aliran massa uap ($\dot{m}$), dan daya listrik generator (P). Seluruh data merupakan nilai rata-rata harian yang diperoleh dari pencatatan DCS dan *logsheets* di *control room* PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.

4.1.1 Temperatur Uap Masuk (Ti) dan Uap Keluar (To) Turbin Unit 05



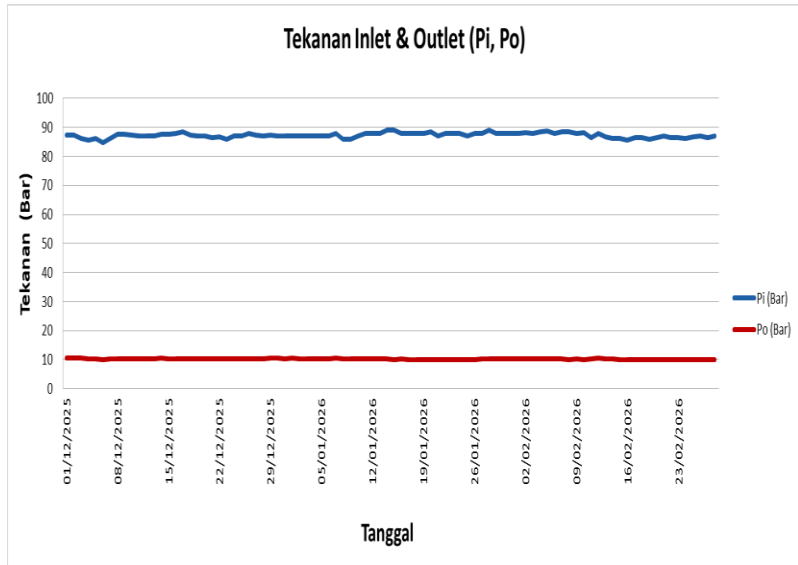
Gambar 5. Data Temperatur Uap Masuk dan Uap Keluar

Dari Gambar 5. terlihat bahwa temperatur uap masuk (Ti) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 526 °C hingga 532 °C dengan rata-rata 529,2 °C. Nilai Ti relatif stabil sepanjang periode pengamatan dan tidak menunjukkan pola fluktuasi yang signifikan. Kestabilan temperatur uap masuk ini disebabkan oleh sistem kontrol pembakaran pada boiler yang menjaga temperatur uap keluaran pada nilai yang mendekati spesifikasi desain turbin sebesar 535 °C.

Sedangkan temperatur uap keluar (To) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 248 °C hingga 259 °C. Nilai To menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dibandingkan Ti karena temperatur uap keluar dipengaruhi oleh kondisi tekanan *outlet* dan beban operasi yang bervariasi setiap harinya. Uap keluar turbin

masih berada pada kondisi *superheated* di semua kondisi operasi, yang merupakan karakteristik khas turbin uap *back pressure* di mana uap keluaran dimanfaatkan langsung untuk proses produksi alumina.

4.1.2 Tekanan Uap Masuk (Pi) dan Uap Keluar (Po) Turbin Unit 05

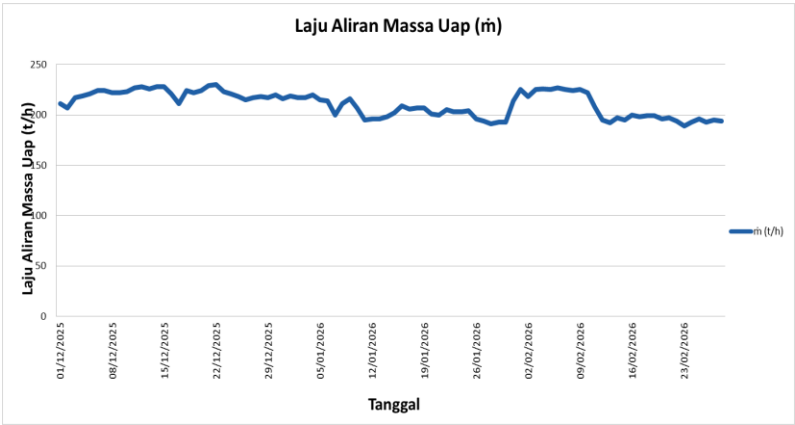


Gambar 6. Data Tekanan Uap Masuk dan Uap Keluar

Dari Gambar 6. terlihat bahwa tekanan uap masuk (Pi) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 8,46 MPa hingga 8,90 MPa dengan rata-rata 8,728 MPa. Grafik ini secara langsung menggambarkan pengelompokan data berdasarkan tekanan *inlet*, di mana titik-titik berwarna biru menunjukkan hari-hari dengan kondisi tekanan rendah ($P_i < 8,75$ MPa) sebanyak 52 hari (57,8%), sedangkan titik-titik berwarna merah menunjukkan kondisi tekanan tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa) sebanyak 38 hari (42,2%). Fluktuasi tekanan *inlet* yang terjadi sepanjang periode pengamatan dipengaruhi oleh kebutuhan beban produksi alumina yang bervariasi setiap harinya.

Sedangkan tekanan uap keluar (Po) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 0,99 MPa hingga 1,06 MPa. Nilai Po relatif stabil dan dijaga pada kisaran tertentu sesuai kebutuhan tekanan uap proses produksi alumina. Sebagai turbin uap jenis *back pressure*, tekanan uap keluar tidak dikondensasikan melainkan langsung dialirkan ke sistem proses, sehingga nilai Po merupakan parameter operasi yang dikendalikan sesuai permintaan proses produksi.

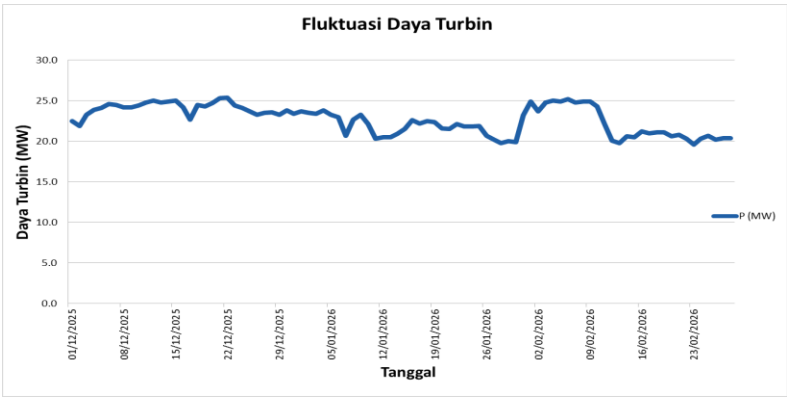
4.1.3 Laju Aliran Massa Uap ($\dot{m}$) Turbin Unit 05



Gambar 7. Data Laju Aliran Massa Uap

Dari Gambar 7. terlihat bahwa laju aliran massa uap ($\dot{m}$) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 189 t/h hingga 230 t/h dengan rata-rata 210,82 t/h. Nilai $\dot{m}$ berfluktuasi mengikuti kebutuhan beban listrik dan proses produksi alumina. Periode dengan nilai $\dot{m}$ tinggi umumnya terjadi pada hari-hari dengan beban listrik yang besar, sedangkan nilai $\dot{m}$ yang rendah terjadi pada hari-hari dengan beban listrik yang kecil, mencerminkan hubungan proporsional antara laju aliran uap dan daya yang dihasilkan turbin.

4.1.4 Daya Listrik Generator (P) Turbin Unit 05



Gambar 8. Data Daya Listrik Generator

Dari Gambar 8. terlihat bahwa daya listrik generator (P) selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 19,6 MW hingga 25,4 MW dengan rata-rata 22,69 MW. Daya listrik yang dihasilkan turbin berfluktuasi setiap harinya mengikuti kebutuhan beban produksi alumina. Nilai daya tidak pernah mencapai kapasitas desain penuh 25 MW secara konsisten, yang mengindikasikan bahwa turbin beroperasi di bawah kapasitas desainnya selama sebagian besar periode pengamatan. Kondisi ini menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya efisiensi internal turbin dibandingkan nilai desain.

4.1.5 Hasil Perhitungan ASR, TSR, dan Efisiensi Internal

Berdasarkan data operasi aktual 90 hari dan hasil perhitungan parameter termodinamika menggunakan *SteamTab*, diperoleh nilai *Actual Steam Rate* (ASR), *Theoretical Steam Rate* (TSR), dan efisiensi internal turbin. Nilai ASR selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 8,996 kg/kWh hingga 9,701 kg/kWh dengan rata-rata sebesar 9,306 kg/kWh. Nilai TSR berada pada rentang 5,953 kg/kWh hingga 6,137 kg/kWh dengan rata-rata sebesar 6,055 kg/kWh. Efisiensi internal turbin berada pada rentang 62,17% hingga 67,27% dengan rata-rata sebesar 65,09%, di mana seluruh 90 hari pengamatan masuk dalam kategori efisiensi rendah ($\eta < 70\%$). Seluruh hasil perhitungan lengkap 90 hari disajikan pada Tabel Lampiran.

4.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis dan pembahasan terhadap kinerja Turbin Unit 05 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia. Pembahasan meliputi analisis kondisi uap masuk, analisis *Actual Steam Rate* dan *Theoretical Steam Rate*, efisiensi internal turbin, serta hubungan tekanan *inlet* terhadap nilai ASR dan efisiensi turbin.

4.2.1. Analisis Kondisi Uap Masuk Turbin Unit 05

Uap yang masuk ke Turbin Unit 05 merupakan uap kering *superheated* bertekanan dan bertemperatur tinggi yang dihasilkan oleh boiler. Berdasarkan data operasi selama 90 hari pengamatan, tekanan uap *inlet* berada pada rentang 8,46 MPa hingga 8,90 MPa dengan temperatur *inlet* berkisar antara 527 °C hingga 536 °C. Kondisi uap *superheated* ini menghasilkan nilai entalpi masuk (h_i) yang berada pada rentang 3.454,55 kJ/kg hingga 3.469,61 kJ/kg.

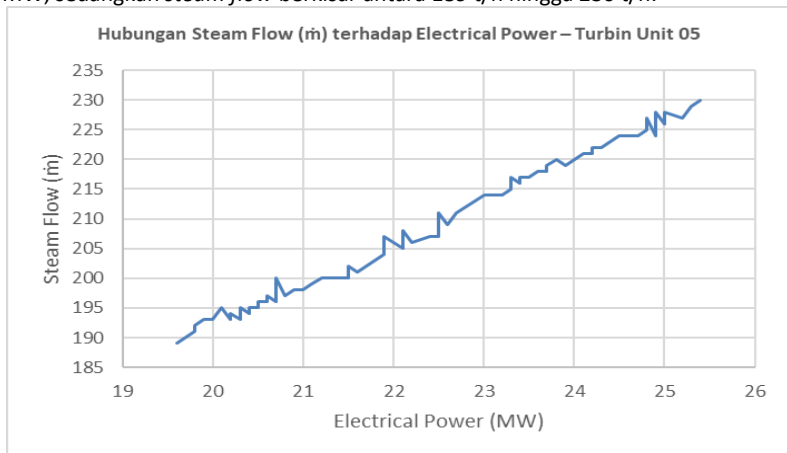
Tekanan uap *inlet* merupakan parameter utama yang memengaruhi kinerja turbin. Data operasi menunjukkan bahwa tekanan *inlet* berfluktuasi mengikuti kebutuhan proses produksi alumina. Berdasarkan pengelompokan data, sebanyak 52 hari (57,8%) beroperasi pada kondisi tekanan *inlet* rendah ($P_i < 8,75$ MPa) dengan rata-rata tekanan 8,668 MPa, sedangkan 38 hari (42,2%) beroperasi pada kondisi tekanan *inlet* tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa) dengan rata-rata tekanan 8,811 MPa.

Secara teknis, tekanan uap *inlet* perlu dijaga dalam rentang tertentu karena berkaitan langsung dengan keandalan komponen turbin. Apabila tekanan uap *inlet* terlalu rendah, tekanan kerja di dalam turbin ikut menurun sehingga dapat memengaruhi sistem sealing pada poros turbin dan menurunkan tekanan vakum pada sisi keluaran. Kondisi vakum yang rendah berisiko menyebabkan udara luar masuk ke dalam sistem turbin, yang dapat menurunkan efisiensi ekspansi uap. Sebaliknya, apabila tekanan uap *inlet* terlalu tinggi, gaya tekan yang diterima oleh sudu (*blade*) turbin menjadi lebih besar, sehingga berpotensi mempercepat kelelahan material dan merusak sudu apabila berlangsung dalam jangka panjang. Oleh karena itu, rentang tekanan *inlet* 8,46–8,90 MPa pada Turbin Unit 05 selama periode pengamatan masih berada pada batas operasi yang aman, namun pengelompokan menjadi kondisi rendah dan tinggi tetap relevan untuk dianalisis pengaruhnya terhadap konsumsi uap dan efisiensi turbin.

Faktor-faktor yang memengaruhi kondisi uap masuk ke Turbin Unit 05 antara lain adalah kualitas pembakaran bahan bakar pada boiler, kondisi feedwater yang masuk ke boiler, serta kebutuhan beban produksi alumina yang bervariasi setiap harinya. Perubahan tekanan dan temperatur *inlet* secara langsung memengaruhi nilai entalpi dan entropi uap masuk, yang selanjutnya berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan dan efisiensi internal turbin.

4.2.2. Hubungan *Steam Flow* terhadap *Electrical power*

Hubungan antara laju aliran uap (*steam flow*) dengan daya listrik yang dihasilkan (*electrical power*) ditunjukkan pada Gambar 4.2.2. Selama 90 hari pengamatan, nilai *electrical power* berada pada rentang 19,6 MW hingga 25,4 MW, sedangkan *steam flow* berkisar antara 189 t/h hingga 230 t/h.

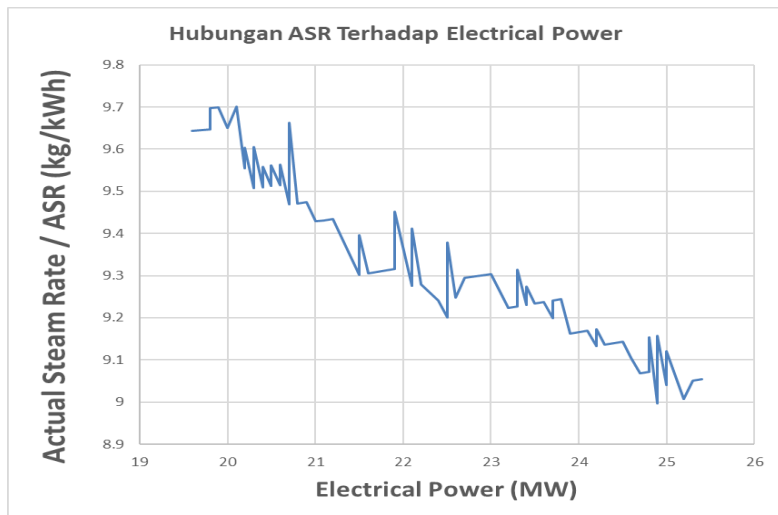


Gambar 9. Grafik Hubungan *Steam Flow* terhadap *Electrical Power*

Dari Gambar 9 terlihat bahwa terdapat hubungan yang positif antara *steam flow* dan *electrical power*, yaitu semakin besar beban listrik yang dihasilkan maka semakin besar pula laju aliran uap yang dibutuhkan oleh turbin. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja turbin uap, di mana jumlah uap yang masuk ke turbin harus disesuaikan dengan beban yang akan diterima.

4.2.3. Analisis *Actual Steam Rate* (ASR) dan *Theoretical Steam Rate* (TSR)

Nilai *Actual Steam Rate* (ASR) mencerminkan kebutuhan uap aktual per satuan daya yang dihasilkan turbin. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai ASR Turbin Unit 05 selama 90 hari pengamatan berada pada rentang 8,996 kg/kWh hingga 9,701 kg/kWh dengan rata-rata sebesar 9,306 kg/kWh. Nilai ASR aktual ini lebih tinggi dibandingkan nilai *steam consumption* berdasarkan data desain turbin sebesar 8,443 kg/kWh, yang menunjukkan bahwa konsumsi uap aktual lebih besar dari kondisi desain akibat adanya beragam rugi-rugi operasional.



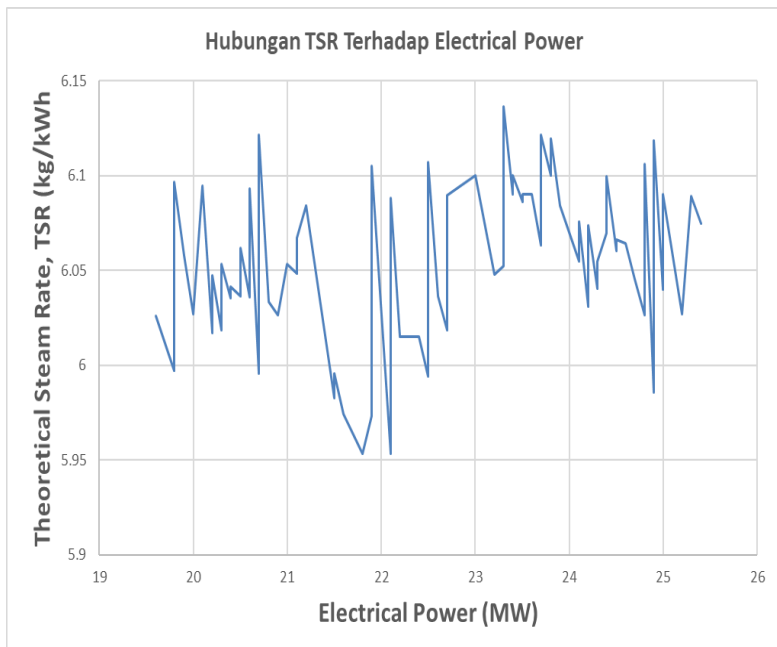
Gambar 10. Grafik Hubungan *Actual Steam Rate* (ASR) terhadap *Electrical power*

Dari Gambar 10. terlihat bahwa nilai ASR cenderung menurun seiring dengan peningkatan *electrical power*. Pada beban rendah sekitar 19,6 MW, nilai ASR mencapai 9,701 kg/kWh, sedangkan pada beban tinggi sekitar 25,4 MW, nilai ASR turun hingga 8,996 kg/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa turbin bekerja lebih efisien dalam memanfaatkan energi uap pada beban yang lebih tinggi, karena rugi-rugi tetap seperti rugi-rugi pada nozzle dan rugi-rugi gesekan proporsinya menjadi

relatif lebih kecil terhadap total daya yang dihasilkan.

Perbandingan antara kondisi tekanan *inlet* rendah dan tinggi pada gambar menunjukkan bahwa pada nilai *electrical power* yang sama, kondisi tekanan *inlet* tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa) menghasilkan nilai ASR yang lebih rendah dibandingkan kondisi tekanan *inlet* rendah ($P_i < 8,75$ MPa). Rata-rata ASR pada kondisi tekanan tinggi sebesar 9,298 kg/kWh lebih rendah dibandingkan rata-rata ASR pada kondisi tekanan rendah sebesar 9,312 kg/kWh. Hasil ini membuktikan bahwa operasi pada tekanan *inlet* yang lebih tinggi menghasilkan konsumsi uap yang lebih efisien untuk menghasilkan daya listrik yang sama.

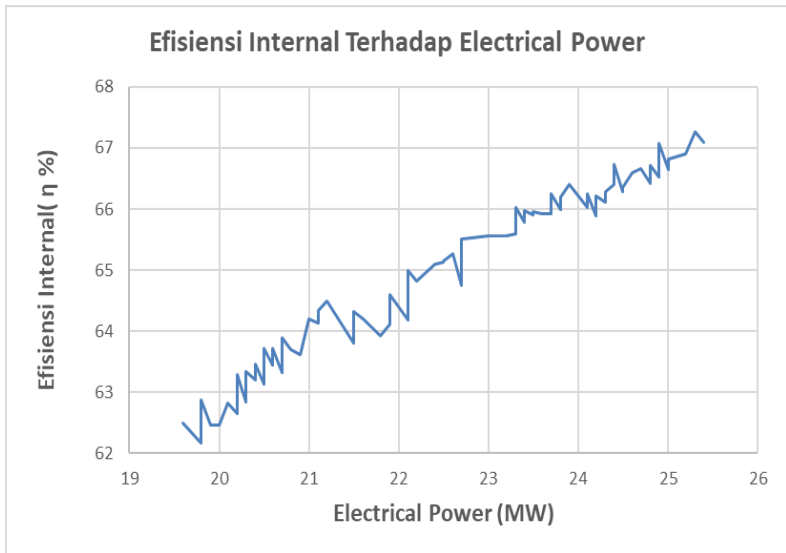
Sementara itu, nilai *Theoretical Steam Rate* (TSR) yang merepresentasikan konsumsi uap ideal pada kondisi isentropis berada pada rentang 5,953 kg/kWh hingga 6,137 kg/kWh dengan rata-rata 6,055 kg/kWh. Nilai TSR lebih rendah dari ASR pada semua kondisi operasi, yang merupakan kondisi yang wajar karena TSR mencerminkan kondisi kerja turbin yang ideal tanpa rugi-rugi. Hubungan nilai TSR terhadap *electrical power* ditunjukkan pada gambar 11. dibawah ini



Gambar 11. Grafik Hubungan *Theoretical Steam Rate* (TSR) terhadap *Electrical power*

4.2.4. Analisis Efisiensi Internal Turbin Unit 05

Efisiensi internal turbin mencerminkan seberapa baik kinerja turbin dalam mengkonversi energi uap menjadi energi mekanik dibandingkan dengan kondisi ideal isentropis. Berdasarkan hasil perhitungan selama 90 hari pengamatan, nilai efisiensi internal Turbin Unit 05 berada pada rentang 62,17% hingga 67,27% dengan rata-rata sebesar 65,09%. Hubungan antara efisiensi internal dengan *electrical power* ditunjukkan pada Gambar 12.



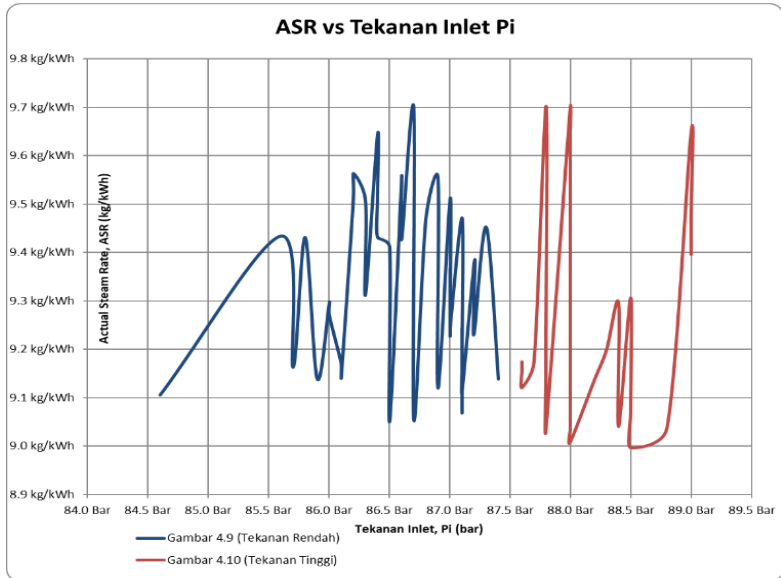
Gambar 12. Grafik Hubungan Efisiensi Internal Turbin terhadap *Electrical power*

Dari Gambar 12. terlihat bahwa semakin meningkat *electrical power* maka efisiensi internal turbin cenderung meningkat. Pada beban terendah 19,6 MW, nilai efisiensi internal mencapai nilai minimum sebesar 62,17%, sedangkan pada beban tertinggi 25,4 MW, efisiensi internal mencapai nilai maksimum sebesar 67,27%. Peningkatan efisiensi seiring kenaikan beban terjadi karena pada beban tinggi, turbin beroperasi lebih mendekati kondisi desainnya sehingga rugi-rugi relatif menjadi lebih kecil dan kerja turbin menjadi lebih optimal.

Nilai efisiensi aktual rata-rata sebesar 65,09% ini lebih rendah dibandingkan nilai efisiensi internal berdasarkan data desain turbin sebesar 78,67%. Selisih tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain beban operasi aktual yang tidak selalu berada pada titik desain 25 MW, adanya rugi-rugi operasional seperti

rugi-rugi pada nozzle, rugi-rugi celah, rugi-rugi gesekan, serta variasi kondisi uap yang dipengaruhi oleh fluktuasi kebutuhan proses produksi alumina.

Hubungan antara tekanan *inlet* terhadap nilai ASR pada kedua kondisi tekanan ditunjukkan pada gambar 13.

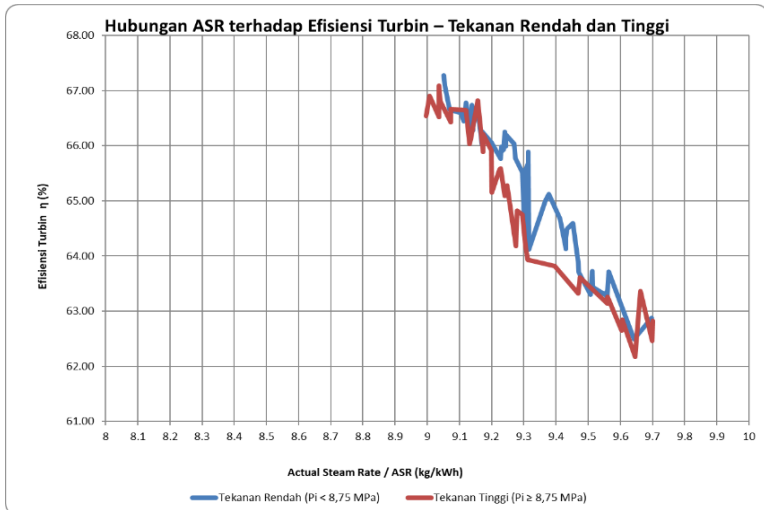


Gambar 13. Grafik Hubungan Tekanan *Inlet* terhadap Actual Steam Rate (ASR)

Dari Gambar ini terlihat bahwa secara umum titik-titik data pada kondisi tekanan *inlet* tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa) berada pada posisi ASR yang lebih rendah dibandingkan kondisi tekanan *inlet* rendah ($P_i < 8,75$ MPa). Hal ini mengonfirmasi bahwa operasi Turbin Unit 05 pada tekanan *inlet* yang lebih tinggi menghasilkan konsumsi uap yang lebih hemat per satuan daya yang dihasilkan, sehingga kinerja turbin secara keseluruhan lebih efisien. Dengan demikian, untuk menghasilkan nilai daya listrik yang sama, pengoperasian turbin pada tekanan *inlet* yang lebih tinggi memberikan kondisi yang lebih optimal dari sisi konsumsi uap dan efisiensi energi.

Semakin rendah nilai ASR, semakin tinggi efisiensi turbin yang dicapai. Hubungan ini bersifat konsisten untuk kedua kelompok tekanan, yaitu tekanan rendah maupun tekanan tinggi.

Hubungan antara Actual Steam Rate (ASR) dengan Efisiensi Turbin pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi, ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik ASR dengan Efisiensi Turbin pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi

Titik-titik data kelompok tekanan tinggi ($P_i \geq 8,75\text{MPa}$) cenderung terkonsentrasi pada posisi ASR yang lebih rendah dengan efisiensi yang lebih tinggi, sedangkan titik-titik data kelompok tekanan rendah ($P_i < 8,75\text{ MPa}$) berada pada posisi ASR yang lebih tinggi dengan efisiensi yang lebih rendah. Pola ini mengkonfirmasi bahwa tekanan *inlet* berperan signifikan dalam menentukan nilai ASR dan pada akhirnya memengaruhi efisiensi turbin.

Secara keseluruhan, kelompok tekanan tinggi ($P_i \geq 8,75\text{ MPa}$) menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan kelompok tekanan rendah ($P_i < 8,75\text{ MPa}$) dalam hal ASR dan efisiensi turbin. Rata-rata efisiensi pada kelompok tekanan tinggi lebih tinggi dibandingkan kelompok tekanan rendah, meskipun keduanya beroperasi pada rentang beban daya listrik yang serupa.

Hasil analisis ini mengimplikasikan bahwa untuk mengoptimalkan kinerja Turbin Unit 05, operasi sebaiknya dilakukan pada tekanan *inlet* yang lebih tinggi ($P_i \geq 8,75\text{ MPa}$). Dengan mempertahankan tekanan *inlet* pada kondisi yang lebih tinggi, nilai ASR dapat ditekan sehingga efisiensi turbin meningkat. Hal ini dapat dicapai melalui optimasi operasional boiler agar menghasilkan *steam* dengan tekanan yang lebih konsisten dan optimal.

Dengan demikian, kondisi tekanan *inlet steam* yang lebih tinggi memberikan dampak positif ganda, yaitu menurunkan konsumsi uap aktual per satuan daya (ASR lebih rendah) sekaligus meningkatkan efisiensi konversi energi turbin secara keseluruhan. Temuan ini menjadi landasan rekomendasi operasional untuk meningkatkan efisiensi Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap kinerja Turbin Unit 05 di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia selama 90 hari periode pengamatan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi uap masuk Turbin Unit 05 berupa uap kering *superheated* dengan tekanan *inlet* berkisar antara 8,46–8,90 MPa dan temperatur *inlet* 527–536 °C. Sebanyak 52 hari (57,8%) operasi berlangsung pada kondisi tekanan *inlet* rendah ($P_i < 8,75$ MPa) dan 38 hari (42,2%) pada kondisi tekanan *inlet* tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa). Fluktuasi tekanan dan temperatur *inlet* dipengaruhi oleh kualitas pembakaran boiler, kondisi feedwater, serta variasi kebutuhan beban produksi alumina, namun keseluruhan kondisi masih berada pada batas operasi yang aman.
2. Kinerja Turbin Unit 05 berdasarkan data operasi aktual menunjukkan nilai *Actual Steam Rate* (ASR) berada pada rentang 8,996–9,701 kg/kWh dengan rata-rata 9,306 kg/kWh, lebih tinggi dari nilai desain sebesar 8,443 kg/kWh. Nilai *Theoretical Steam Rate* (TSR) berada pada rentang 5,953–6,137 kg/kWh dengan rata-rata 6,055 kg/kWh. Efisiensi internal turbin berada pada rentang 62,17%–67,27% dengan rata-rata 65,09%, seluruhnya tergolong dalam kategori efisiensi rendah ($\eta < 70\%$) dan lebih rendah dibandingkan efisiensi desain sebesar 78,67%. Selisih ini disebabkan oleh beban operasi yang tidak selalu mencapai kapasitas desain 25 MW serta adanya rugi-rugi operasional seperti rugi-rugi nozzle, celah, dan gesekan.
3. Hubungan *Actual Steam Rate* pada tekanan *inlet* rendah dan tinggi terhadap efisiensi turbin menunjukkan bahwa pada nilai *electrical power* yang sama, kondisi tekanan *inlet* tinggi ($P_i \geq 8,75$ MPa) menghasilkan ASR rata-rata lebih rendah (9,298 kg/kWh) dibandingkan kondisi tekanan *inlet* rendah (9,312 kg/kWh), yang berbanding lurus dengan efisiensi internal yang lebih tinggi pada kelompok tekanan tinggi. Dengan demikian, operasi Turbin Unit 05 pada tekanan *inlet* yang lebih tinggi terbukti menghasilkan konsumsi uap yang lebih efisien dan kinerja turbin yang lebih optimal dibandingkan operasi pada tekanan *inlet* rendah.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, berikut saran yang dapat diberikan untuk perbaikan operasional dan penelitian selanjutnya.

1. Turbin Unit 05 sebaiknya dioperasikan pada beban yang mendekati kapasitas desain 25 MW semaksimal mungkin, karena operasi pada beban tinggi terbukti menghasilkan nilai ASR yang lebih rendah dan efisiensi internal yang lebih baik.
2. Perlu dilakukan upaya menjaga stabilitas tekanan uap *inlet* pada nilai yang tinggi dan konsisten melalui optimasi kinerja boiler dan pengawasan ketat parameter tekanan di *control room*, mengingat tekanan *inlet* yang lebih tinggi terbukti menghasilkan konsumsi uap yang lebih efisien.
3. Mengingat terdapat selisih efisiensi $\pm 13,58\%$ dari nilai desain, disarankan dilakukan inspeksi dan perawatan berkala terhadap komponen internal turbin seperti sudu, *nozzle*, dan sistem perapat untuk meminimalkan rugi-rugi dan mengembalikan efisiensi mendekati nilai desain.

Daftar Pustaka

- [1] T. M. Anggraini, A. S. Sanjaya, and R. A. Wikanswasto, "Perhitungan Asr dan Efisiensi Internal *Steam* Turbine (*Back pressure*)," *J. Chemurg.*, vol. 2, no. 2, p. 1, 2019, doi: 10.30872/cmg.v2i2.2231.
- [2] I. Yanti, Z. Effendi, and I. U. P. Rangkuti, "Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.24127/trb.v13i1.3301.
- [3] I. Darren Alber, B. Fajar Tamtomo Kiono, and U. Harmoko, "Analisa Efisiensi Isentropik Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *J. Syntax Admiration*, vol. 4, no. 8, 2023, doi: 10.46799/jsa.v4i8.679.
- [4] T. F. Tambunan, "Analisis *Actual Steam Rate* dan Efisiensi Internal Turbin Unit 02 di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia," Tugas Akhir, Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam, Batam, 2022.
- [5] J. Stephen, E. Manullang, and D. Lumbantobing, "PLTU GROWTH ASIA," vol. 04, no. 02, pp. 45–58, 2023.
- [6] Y. A. Cengel, M. A. Boles, and M. Kanoglu, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 10th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2024.
- [7] P. Shlyakhin, *Turbin Uap (Steam Turbines) Teori dan Rancangan*. 2018.
- [8] A. K. Sitompul, R. I. Sianturi, and F. F. Hasan, "ANALISIS PERFORMANCE BACK PRESSURE TURBIN SEBELUM DAN SESUDAH TURBIN WASHING PADA PEMBANGKIT LISTRIK," vol. 03, no. 02, pp. 1–9, 2022.
- [9] C. Buana, Y. Klistafani, S. Maarif, and A. M. Ilmunandar, "Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul Pada Unit 1 PLTU Mamuju," vol. 22, no. 1, pp. 77–89, 2024.
- [10] B. L. S. Turbine, "Energy Analysis of Cascade Heating with High," 2018, doi:10.3390/en11010119.
- [11] R. Apriandi and A. Mursadin, "Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU PT. Indocement P-12 Tarjun," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 1, no. 1, pp. 37-46

Biodata



Nama : Nayla Putri Maulana
TTL : Batam, 25 November 2004
Agama : Islam
Alamat : Tanjung Teritip RT 01 RW 10 No.12A

Email : naylaputrimaulana25@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMA : MAN 2 BATAM
SMP : SMPIT ELYASIN BATAM

Lampiran

DATA OPERASI HARIAN TURBIN UNIT 05 – PLTU PT BINTAN ALUMINA INDONESIA												
Hari ke-	Tanggal	P (MW)	rh (t/h)	INLET		OUTLET		ENTALPI (SteamTab)		si (kJ/kg-°C)	Kelompok Tekanan	Δh Aktual hi-ho (kJ/kg)
				Pi (Bar)	Ti (°C)	Po (Bar)	To (°C)	hi (kJ/kg)	ho (kJ/kg)			
1	01/12/2025	22,5	211	87,2	530	10,5	259	3465,53	2961,19	6,77305	Tekanan Rendah	504,34
2	02/12/2025	21,9	207	87,3	530	10,5	251	3465,42	2943,49	6,77242	Tekanan Rendah	521,93
3	03/12/2025	23,3	217	86,3	529	10,5	250	3464,02	2941,26	6,77568	Tekanan Rendah	522,76
4	04/12/2025	23,9	219	85,7	529	10,2	251	3464,67	2944,60	6,77951	Tekanan Rendah	520,07
5	05/12/2025	24,1	221	86,1	529	10,2	251	3464,24	2944,60	6,77695	Tekanan Rendah	519,64
6	06/12/2025	24,6	224	84,6	529	10	250	3465,84	2943,12	6,78660	Tekanan Rendah	522,72
7	07/12/2025	24,5	224	86,1	530	10,2	250	3466,70	2942,38	6,78003	Tekanan Rendah	524,32
8	08/12/2025	24,2	222	87,6	529	10,2	250	3462,62	2942,38	6,76745	Tekanan Tinggi	520,24
9	09/12/2025	24,2	222	87,7	528	10,3	250	3460,04	2942,01	6,76373	Tekanan Tinggi	518,03
10	10/12/2025	24,4	223	87,4	529	10,3	250	3462,84	2942,01	6,76871	Tekanan Rendah	520,83
11	11/12/2025	24,8	227	87,1	526	10,3	249	3455,74	2939,79	6,76133	Tekanan Rendah	515,95
12	12/12/2025	25,0	228	86,9	528	10,3	250	3460,91	2942,01	6,76878	Tekanan Rendah	518,90
13	13/12/2025	24,8	226	87,1	529	10,2	250	3463,16	2942,38	6,77060	Tekanan Rendah	520,78
14	14/12/2025	24,9	228	87,6	528	10,5	250	3460,15	2941,26	6,76436	Tekanan Tinggi	518,89
15	15/12/2025	25,0	228	87,6	530	10,4	250	3465,10	2941,64	6,77053	Tekanan Tinggi	523,46
16	16/12/2025	24,2	221	87,8	530	10,2	250	3464,88	2942,38	6,76927	Tekanan Tinggi	522,50
17	17/12/2025	22,7	211	88,4	530	10,2	250	3464,24	2942,38	6,76551	Tekanan Tinggi	521,86
18	18/12/2025	24,5	224	87,4	530	10,3	253	3465,31	2948,66	6,77179	Tekanan Rendah	516,65
19	19/12/2025	24,3	222	87,1	529	10,2	254	3463,16	2951,23	6,77060	Tekanan Rendah	511,93
20	20/12/2025	24,7	224	87,1	530	10,2	250	3465,63	2942,38	6,77368	Tekanan Rendah	523,25
21	21/12/2025	25,3	229	86,5	529	10,3	254	3463,81	2950,87	6,77441	Tekanan Rendah	512,94
22	22/12/2025	25,4	230	86,7	530	10,3	253	3466,06	2948,66	6,77621	Tekanan Rendah	517,40
23	23/12/2025	24,4	223	85,9	527	10,2	251	3459,52	2944,60	6,77207	Tekanan Rendah	514,92
24	24/12/2025	24,1	221	87,1	529	10,2	251	3463,16	2944,60	6,77060	Tekanan Rendah	518,56
25	25/12/2025	23,7	218	87,1	529	10,3	252	3463,16	2946,44	6,77060	Tekanan Rendah	516,72
26	26/12/2025	23,3	215	87,8	530	10,3	252	3464,88	2946,44	6,76927	Tekanan Tinggi	518,44
27	27/12/2025	23,5	217	87,2	530	10,4	253	3465,53	2948,29	6,77305	Tekanan Rendah	517,24
28	28/12/2025	23,6	218	87	530	10,4	253	3465,74	2948,29	6,77431	Tekanan Rendah	517,45
29	29/12/2025	23,3	217	87,2	529	10,5	254	3463,05	2982,31	6,76997	Tekanan Rendah	480,74
30	30/12/2025	23,8	220	87,1	529	10,5	257	3463,16	2988,29	6,77060	Tekanan Rendah	474,87
31	31/12/2025	23,4	216	87	530	10,4	253	3465,74	2948,29	6,77431	Tekanan Rendah	517,45

32	01/01/2026	23,7	219	87	529	10,5	254	3463,27	2950,14	6,77123	Tekanan Rendah	513,13
33	02/01/2026	23,5	217	87	530	10,4	254	3465,74	2950,51	6,77431	Tekanan Rendah	515,23
34	03/01/2026	23,4	217	87	529	10,4	254	3463,27	2950,51	6,77123	Tekanan Rendah	512,76
35	04/01/2026	23,8	220	87	529	10,4	254	3463,27	2950,51	6,77123	Tekanan Rendah	512,76
36	05/01/2026	23,3	215	87	530	10,3	255	3465,74	2953,08	6,77431	Tekanan Rendah	512,66
37	06/01/2026	23,0	214	87	529	10,4	255	3463,27	2952,72	6,77123	Tekanan Rendah	510,55
38	07/01/2026	20,7	200	88	529	10,6	259	3462,19	2960,85	6,76493	Tekanan Tinggi	501,34
39	08/01/2026	22,7	211	86	530	10,3	258	3466,81	2959,69	6,78066	Tekanan Rendah	507,12
40	09/01/2026	23,3	216	86	529	10,4	255	3464,34	2952,72	6,77759	Tekanan Rendah	511,62
41	10/01/2026	22,1	207	87	528	10,3	255	3460,80	2953,08	6,76815	Tekanan Rendah	507,72
42	11/01/2026	20,3	195	88	529	10,2	253	3462,19	2949,02	6,76493	Tekanan Tinggi	513,17
43	12/01/2026	20,5	196	88	530	10,3	254	3464,67	2950,87	6,76802	Tekanan Tinggi	513,80
44	13/01/2026	20,5	196	88	529	10,2	251	3462,19	2944,60	6,76493	Tekanan Tinggi	517,59
45	14/01/2026	20,9	198	89	528	10,2	250	3458,64	2942,38	6,75560	Tekanan Tinggi	516,26
46	15/01/2026	21,5	202	89	529	10,1	250	3461,12	2942,75	6,75869	Tekanan Tinggi	518,37
47	16/01/2026	22,6	209	88	529	10,2	249	3462,19	2940,16	6,76493	Tekanan Tinggi	522,03
48	17/01/2026	22,2	206	88	529	10,1	249	3462,19	2940,54	6,76493	Tekanan Tinggi	521,65
49	18/01/2026	22,5	207	88	529	10	250	3462,19	2943,12	6,76493	Tekanan Tinggi	519,07
50	19/01/2026	22,4	207	88	529	10,1	250	3462,19	2942,75	6,76493	Tekanan Tinggi	519,44
51	20/01/2026	21,6	201	88,5	530	10	249	3464,13	2940,91	6,76489	Tekanan Tinggi	523,22
52	21/01/2026	21,5	200	87	530	9,9	249	3465,74	2941,28	6,77431	Tekanan Rendah	524,46
53	22/01/2026	22,1	205	88	531	9,9	248	3467,14	2939,07	6,77109	Tekanan Tinggi	528,07
54	23/01/2026	21,8	203	88	531	9,9	250	3467,14	2943,49	6,77109	Tekanan Tinggi	523,65
55	24/01/2026	21,8	203	88	531	9,9	250	3467,14	2943,49	6,77109	Tekanan Tinggi	523,65
56	25/01/2026	21,9	204	87	531	9,9	250	3468,21	2943,49	6,77738	Tekanan Rendah	524,72
57	26/01/2026	20,7	196	88	531	10,1	250	3467,14	2942,75	6,77109	Tekanan Tinggi	524,39
58	27/01/2026	20,2	194	88	531	10,2	253	3467,14	2949,02	6,77109	Tekanan Tinggi	518,12
59	28/01/2026	19,8	191	89	531	10,2	255	3466,07	2953,43	6,76486	Tekanan Tinggi	512,64
60	29/01/2026	20,0	193	88	530	10,2	255	3464,67	2953,43	6,76802	Tekanan Tinggi	511,24
61	30/01/2026	19,9	193	88	529	10,3	253	3462,19	2948,66	6,76493	Tekanan Tinggi	513,53
62	31/01/2026	23,2	214	88	530	10,3	253	3464,67	2948,66	6,76802	Tekanan Tinggi	516,01
63	01/02/2026	24,9	225	87,8	529	10,3	252	3462,41	2946,44	6,76619	Tekanan Tinggi	515,97
64	02/02/2026	23,7	218	88,3	530	10,4	253	3464,35	2948,29	6,76614	Tekanan Tinggi	516,06
65	03/02/2026	24,8	225	88	530	10,3	252	3464,67	2946,44	6,76802	Tekanan Tinggi	518,23
66	04/02/2026	25,0	226	88,4	530	10,3	250	3464,24	2942,01	6,76551	Tekanan Tinggi	522,23
67	05/02/2026	24,9	225	88,8	530	10,2	250	3463,81	2942,38	6,76302	Tekanan Tinggi	521,43
68	06/02/2026	25,2	227	88	530	10,2	250	3464,67	2942,38	6,76802	Tekanan Tinggi	522,29
69	07/02/2026	24,8	225	88,5	529	10,2	250	3461,66	2942,38	6,76180	Tekanan Tinggi	519,28

70	08/02/2026	24,9	224	88,5	531	10,1	250	3466,61	2942,75	6,76797	Tekanan Tinggi	523,86
71	09/02/2026	24,9	225	88	532	10,3	250	3469,61	2942,01	6,77417	Tekanan Tinggi	527,60
72	10/02/2026	24,3	222	88,2	526	10,1	249	3454,55	2940,54	6,75440	Tekanan Tinggi	514,01
73	11/02/2026	22,1	208	86,5	527	10,2	250	3458,87	2942,38	6,76824	Tekanan Rendah	516,49
74	12/02/2026	20,1	195	87,8	530	10,5	251	3464,88	2943,49	6,76927	Tekanan Tinggi	521,39
75	13/02/2026	19,8	192	86,7	530	10,4	252	3466,06	2946,07	6,77621	Tekanan Rendah	519,99
76	14/02/2026	20,6	197	86,2	527	10,2	250	3459,19	2942,38	6,77015	Tekanan Rendah	516,81
77	15/02/2026	20,5	195	86,2	528	10,1	250	3461,66	2942,75	6,77324	Tekanan Rendah	518,91
78	16/02/2026	21,2	200	85,6	527	10,1	250	3459,84	2942,75	6,77400	Tekanan Rendah	517,09
79	17/02/2026	21,0	198	86,6	528	10,1	249	3461,23	2940,54	6,77069	Tekanan Rendah	520,69
80	18/02/2026	21,1	199	86,4	527	10,1	248	3458,98	2938,32	6,76888	Tekanan Rendah	520,66
81	19/02/2026	21,1	199	85,8	528	10	249	3462,09	2940,91	6,77579	Tekanan Rendah	521,18
82	20/02/2026	20,6	196	86,4	528	10	249	3461,45	2940,91	6,77196	Tekanan Rendah	520,54
83	21/02/2026	20,8	197	87,1	529	10,1	250	3463,16	2942,75	6,77060	Tekanan Rendah	520,41
84	22/02/2026	20,3	194	86,6	528	10,1	252	3461,23	2947,17	6,77069	Tekanan Rendah	514,06
85	23/02/2026	19,6	189	86,4	529	10	251	3463,91	2945,33	6,77504	Tekanan Rendah	518,58
86	24/02/2026	20,3	193	86,3	530	10	251	3466,49	2945,33	6,77875	Tekanan Rendah	521,16
87	25/02/2026	20,7	196	86,8	528	10,1	250	3461,01	2942,75	6,76942	Tekanan Rendah	518,26
88	26/02/2026	20,2	193	86,9	528	10,1	251	3460,91	2944,96	6,76878	Tekanan Rendah	515,95
89	27/02/2026	20,4	195	86,6	527	10	250	3458,76	2943,12	6,76760	Tekanan Rendah	515,64
90	28/02/2026	20,4	194	87	529	10,1	251	3463,27	2944,96	6,77123	Tekanan Rendah	518,31

DATA UNTUK GRAFIK – TURBIN UNIT 05							
Hari ke-	P (MW)	m (t/h)	Pi (MPa)	ASR (kg/kWh)	TSR (kg/kWh)	η (%)	Kelompok
1	22,5	211	87,200	9,378	6,107	65,13	Tekanan Rendah
2	21,9	207	87,300	9,452	6,105	64,59	Tekanan Rendah
3	23,3	217	86,300	9,313	6,137	65,89	Tekanan Rendah
4	23,9	219	85,700	9,163	6,084	66,40	Tekanan Rendah
5	24,1	221	86,100	9,170	6,076	66,26	Tekanan Rendah
6	24,6	224	84,600	9,106	6,064	66,60	Tekanan Rendah
7	24,5	224	86,100	9,143	6,066	66,35	Tekanan Rendah
8	24,2	222	87,600	9,174	6,045	65,89	Tekanan Tinggi
9	24,2	222	87,700	9,174	6,074	66,21	Tekanan Tinggi
10	24,4	223	87,400	9,139	6,069	66,41	Tekanan Rendah
11	24,8	227	87,100	9,153	6,106	66,71	Tekanan Rendah
12	25,0	228	86,900	9,120	6,090	66,78	Tekanan Rendah
13	24,8	226	87,100	9,113	6,055	66,44	Tekanan Rendah
14	24,9	228	87,600	9,157	6,119	66,82	Tekanan Tinggi
15	25,0	228	87,600	9,120	6,077	66,64	Tekanan Tinggi
16	24,2	221	87,800	9,132	6,031	66,04	Tekanan Tinggi
17	22,7	211	88,400	9,295	6,019	64,75	Tekanan Tinggi
18	24,5	224	87,400	9,143	6,060	66,28	Tekanan Rendah
19	24,3	222	87,100	9,136	6,055	66,28	Tekanan Rendah
20	24,7	224	87,100	9,069	6,045	66,66	Tekanan Rendah
21	25,3	229	86,500	9,051	6,089	67,27	Tekanan Rendah
22	25,4	230	86,700	9,055	6,075	67,09	Tekanan Rendah
23	24,4	223	85,900	9,139	6,100	66,74	Tekanan Rendah
24	24,1	221	87,100	9,170	6,055	66,03	Tekanan Rendah
25	23,7	218	87,100	9,198	6,076	66,06	Tekanan Rendah

26	23,3	215	87,800	9,227	6,052	65,59	Tekanan Tinggi
27	23,5	217	87,200	9,234	6,086	65,91	Tekanan Rendah
28	23,6	218	87,000	9,237	6,090	65,93	Tekanan Rendah
29	23,3	217	87,200	9,313	6,117	65,68	Tekanan Rendah
30	23,8	220	87,100	9,244	6,119	66,20	Tekanan Rendah
31	23,4	216	87,000	9,231	6,090	65,98	Tekanan Rendah
32	23,7	219	87,000	9,241	6,121	66,25	Tekanan Rendah
33	23,5	217	87,000	9,234	6,090	65,95	Tekanan Rendah
34	23,4	217	87,000	9,274	6,100	65,78	Tekanan Rendah
35	23,8	220	87,000	9,244	6,100	65,99	Tekanan Rendah
36	23,3	215	87,000	9,227	6,069	65,77	Tekanan Rendah
37	23,0	214	87,000	9,304	6,100	65,56	Tekanan Rendah
38	20,7	200	88,000	9,662	6,122	63,36	Tekanan Tinggi
39	22,7	211	86,000	9,295	6,090	65,52	Tekanan Rendah
40	23,3	216	86,000	9,270	6,121	66,03	Tekanan Rendah
41	22,1	207	87,000	9,367	6,088	65,00	Tekanan Rendah
42	20,3	195	88,000	9,606	6,037	62,84	Tekanan Tinggi
43	20,5	196	88,000	9,561	6,048	63,26	Tekanan Tinggi
44	20,5	196	88,000	9,561	6,037	63,14	Tekanan Tinggi
45	20,9	198	89,000	9,474	6,026	63,61	Tekanan Tinggi
46	21,5	202	89,000	9,395	5,995	63,81	Tekanan Tinggi
47	22,6	209	88,000	9,248	6,037	65,28	Tekanan Tinggi
48	22,2	206	88,000	9,279	6,015	64,82	Tekanan Tinggi
49	22,5	207	88,000	9,200	5,994	65,15	Tekanan Tinggi
50	22,4	207	88,000	9,241	6,015	65,09	Tekanan Tinggi
51	21,6	201	88,500	9,306	5,974	64,20	Tekanan Tinggi
52	21,5	200	87,000	9,302	5,983	64,31	Tekanan Rendah
53	22,1	205	88,000	9,276	5,953	64,18	Tekanan Tinggi

54	21,8	203	88,000	9,312	5,953	63,93	Tekanan Tinggi
55	21,8	203	88,000	9,312	5,953	63,93	Tekanan Tinggi
56	21,9	204	87,000	9,315	5,973	64,12	Tekanan Rendah
57	20,7	196	88,000	9,469	5,996	63,32	Tekanan Tinggi
58	20,2	194	88,000	9,604	6,017	62,65	Tekanan Tinggi
59	19,8	191	89,000	9,646	5,997	62,17	Tekanan Tinggi
60	20,0	193	88,000	9,650	6,027	62,45	Tekanan Tinggi
61	19,9	193	88,000	9,698	6,058	62,46	Tekanan Tinggi
62	23,2	214	88,000	9,224	6,048	65,57	Tekanan Tinggi
63	24,9	225	87,800	9,036	6,062	67,08	Tekanan Tinggi
64	23,7	218	88,300	9,198	6,063	65,91	Tekanan Tinggi
65	24,8	225	88,000	9,073	6,048	66,66	Tekanan Tinggi
66	25,0	226	88,400	9,040	6,040	66,81	Tekanan Tinggi
67	24,9	225	88,800	9,036	6,011	66,52	Tekanan Tinggi
68	25,2	227	88,000	9,008	6,027	66,90	Tekanan Tinggi
69	24,8	225	88,500	9,073	6,026	66,42	Tekanan Tinggi
70	24,9	224	88,500	8,996	5,986	66,54	Tekanan Tinggi
71	24,9	225	88,000	9,036	6,029	66,72	Tekanan Tinggi
72	24,3	222	88,200	9,136	6,040	66,12	Tekanan Tinggi
73	22,1	208	86,500	9,412	6,087	64,67	Tekanan Rendah
74	20,1	195	87,800	9,701	6,095	62,82	Tekanan Tinggi
75	19,8	192	86,700	9,697	6,097	62,87	Tekanan Rendah
76	20,6	197	86,200	9,563	6,093	63,72	Tekanan Rendah
77	20,5	195	86,200	9,512	6,062	63,73	Tekanan Rendah
78	21,2	200	85,600	9,434	6,084	64,49	Tekanan Rendah
79	21,0	198	86,600	9,429	6,053	64,20	Tekanan Rendah
80	21,1	199	86,400	9,431	6,067	64,33	Tekanan Rendah
81	21,1	199	85,800	9,431	6,048	64,13	Tekanan Rendah

82	20,6	196	86,400	9,515	6,036	63,44	Tekanan Rendah
83	20,8	197	87,100	9,471	6,033	63,70	Tekanan Rendah
84	20,3	194	86,600	9,557	6,053	63,34	Tekanan Rendah
85	19,6	189	86,400	9,643	6,026	62,49	Tekanan Rendah
86	20,3	193	86,300	9,507	6,018	63,30	Tekanan Rendah
87	20,7	196	86,800	9,469	6,049	63,89	Tekanan Rendah
88	20,2	193	86,900	9,554	6,047	63,29	Tekanan Rendah
89	20,4	195	86,600	9,559	6,041	63,20	Tekanan Rendah
90	20,4	194	87,000	9,510	6,035	63,46	Tekanan Rendah