

## ANALISI PENGARUH SUHU DAN TEKANAN TERHADAP KINERJA TURBIN BOTTOMING OEC PADA PLTP SARULLA OPERATIONS L.td UNIT NAMORA I LANGIT (NIL) DENGAN MENGGUNAKAN METODE REGRESI LINIER BERGANDA

Rina Handayani<sup>1</sup>, Debora Panggabean<sup>2</sup>

1. Fakultas Teknik Universitas Sisingamangaraja XII Tapanuli  
Email : [handayanirina12@gmail.com](mailto:handayanirina12@gmail.com)
2. Fakultas Teknik Universitas Sisingamangaraja XII Tapanuli  
Email : [panggabeandebora7@gmail.com](mailto:panggabeandebora7@gmail.com)

### Abstract

*This study analyzes the effect of temperature and pressure on the performance of the Bottoming Ormat Energy Converter (OEC) Turbine at the Sarulla Geothermal Power Plant, Namora I Langit (NIL) Unit. Data were collected from field observations, interviews, and SCADA operational records. The analysis used multiple linear regression with classical assumption tests and hypothesis testing. Results show that both temperature ( $t = 2.167$ ;  $p = 0.040$ ) and pressure ( $t = 5.095$ ;  $p = 0.000$ ) significantly affect turbine performance. Simultaneously, temperature and pressure have a significant effect ( $F = 51.902$ ;  $p = 0.000$ ) with a determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.778, meaning 77.8% of performance variation is explained by these factors. The study concludes that controlling steam temperature and pressure within optimal limits is essential to maintain turbine efficiency and stability.*

**Keywords:** Temperature, Pressure, Turbine Performance

### Abstrak

*Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu dan tekanan terhadap kinerja Turbin Bottoming OEC di PLTP Sarulla Unit Namora I Langit (NIL). Data diperoleh melalui observasi, wawancara, dan catatan SCADA, lalu dianalisis dengan regresi linier berganda. Hasil menunjukkan bahwa suhu ( $t = 2,167$ ;  $p = 0,040$ ) dan tekanan ( $t = 5,095$ ;  $p = 0,000$ ) berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin. Secara simultan, keduanya juga signifikan ( $F = 51,902$ ;  $p = 0,000$ ) dengan nilai  $R^2 = 0,778$ . Artinya, 77,8% variasi kinerja turbin dipengaruhi oleh suhu dan tekanan. Kesimpulannya, pengendalian suhu dan tekanan uap sangat penting untuk menjaga efisiensi dan kestabilan pembangkit.*

**Kata kunci:** Suhu, Tekanan, Kinerja Turbin

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. PLTP Sarulla di Sumatra Utara merupakan salah satu proyek panas bumi terbesar di dunia dengan total kapasitas 330 MW. Salah satu unitnya, Turbin Bottoming Ormat Energy Converter (OEC), memanfaatkan sisa energi panas untuk meningkatkan efisiensi. Kinerja turbin sangat dipengaruhi suhu dan tekanan uap yang masuk. Variasi pada kedua faktor ini memengaruhi efisiensi dan output daya. Penelitian ini menganalisis

secara kuantitatif pengaruh suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin OEC menggunakan metode regresi linier berganda.

#### Rumusan Masalah

Dari fokus penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin Bottoming OEC di Sarulla Operations L.td?

2. Bagaimana kolerasi antara suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin Bottoming OEC?
3. Bagaimana mengontrol kelebihan dan kekurangan suhu dan tekanan uap pada inlet turbin?

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis suhu dan tekanan terhadap turbin Bottoming OEC dengan menggunakan metode Regresi Linier dan Regresi Linier Berganda.
2. Menganalisis korerasi antara suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin Bottoming OEC dengan menggunakan metode Regresi Linier dan Regresi Linier Berganda.
3. Mengetahui batas aman dan optimal suhu dan tekanan uap pada inlet turbin agar kinerja turbin tetap stabil dan efisien.

### Manfaat Penelitian

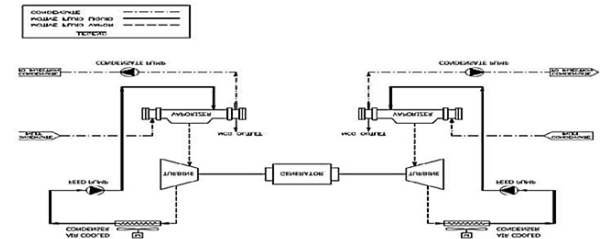
1. Penulis dapat memahami sebagian dari penjelasan bab 1 bahwa energi listrik sangat berpengaruh terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat serta mendorong berjalanya roda perekonomian nasional.
2. penulis juga dapat memahami jenis turbin yang digunakan di PLTP Sarulla Operations L.td unit Namora I Langit.

## LANDASAN TEORI

### Pengertian Bottoming OEC

Bottoming pada sistem geothermal adalah salah satu metode dalam siklus pembangkit Listrik untuk memanfaatkan sisa energi panas dari fluida geothermal setelah digunakan di sistem utama (Top Cycle). Konsep ini mirip dengan sistem Combined Cycle Power Plant yang digunakan dalam pembangkit Listrik berbasis gas atau uap. *Ormat Energy Converter Bottoming* merupakan sistem combine cycle yang dirancang Ormat dimana kondensasi dari exhausting turbin digunakan lagi untuk memanaskan fluida n-pentane untuk menggerakkan turbin dari sistem OEC. Pada OEC sistem ini terdapat *Heat Exchanger*, pada sistem ini digunakan 3 jenis *Heat Exchanger* yaitu *vaporizer*, *preheater*, dan

*condensor*. Menurut <sup>1</sup>Imran 2020: Bottoming ORC adalah sistem yang menggunakan siklus Rankine organik untuk menghasilkan listrik dari panas yang dihasilkan oleh proses industri, dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional. Organic Rankine Cycle (ORC) menurut <sup>2</sup>Herath 2020, diidentifikasi sebagai suatu sistem yang dapat menghasilkan listrik dari sumber panas yang bersuhu rendah. ORC beroperasi pada suhu dan tekanan rendah dibandingkan dengan siklus Rankine konvensional sehingga fluida organik atau refrigeran akan digunakan sebagai fluida kerja, tidak seperti air yang lebih sesuai untuk pemakaian pada sistem yang bertekanan dan bersuhu tinggi.



**Gambar alir energi turbin Bottoming OEC**

Uap keluaran dari steam turbine generator (STG) masih memiliki energi panas yang dapat digunakan untuk memanaskan fluida kedua yaitu pentane. Heat Exchanger (vaporizer) digunakan sebagai media penukar panas antara steam dan pentane. Steam yang telah dimanfaatkan kemudian terkondensasi menjadi kondensat, dan steam yang tidak terkondensasi di vaporizer dikeluarkan melalui jalur NCG (Non condensable gas). Sedangkan pentane yang sebelumnya merupakan fase likuid berubah menjadi fase gas/vapor setelah menyerap energi panas dari steam. Vapour pentane yang bertemperatur sekitar 37°C akan memutar turbin. turbin terdapat dua sisi yaitu sisi Clock wise (CW) dan Counter clock wise (CCW). Vapour pentane yang keluar sekitar 90 °C dari turbine kemudian diinginkan di condenser sehingga terjadi perubahan fase gas menjadi fase likuid. Pentane fase likuid dipompakan menuju vaporizer untuk dipanaskan kembali sehingga dapat memutar turbin dan menghasilkan listrik pada generator yang berkapasitas sekitar 8, 5 MW. Sehingga

siklus pentane di dalam buttoming OEC adalah siklus tertutup.

**Pengertian suhu**

Menurut <sup>3</sup> Bergman dan Lavine 2020: Suhu adalah sifat termodinamika yang menentukan keadaan termal suatu sistem. Sedangkan menurut <sup>4</sup> Moran dan Shapiro 2020: Suhu adalah sifat termodinamika yang menentukan arah aliran panas antara dua sistem.

**Pengertian Tekanan**

Menurut <sup>5</sup>Incropera dan DeWitt 2020: Tekanan adalah gaya yang bekerja pada suatu permukaan per satuan luas, yang terkait dengan perpindahan panas dan massa, sedangkan menurut <sup>3</sup>Bergman dan Lavine 2020: Tekanan adalah sifat termodinamika yang menentukan keadaan suatu sistem, yang terkait dengan perpindahan panas dan massa.

**Pengertian Regresi Linier Berganda**

Menurut <sup>8</sup> Gujarati dan porter 2017 Metode Regresi linear berganda adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel

Rumus umum korelasi

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Dimana :

- r = Koefisien korelasi
- xi = Nilai x ke-i
- yi = Nilai y ke-i
- $\bar{y}$  = Rata- rata nilai y
- $\bar{x}$  = Rata- rata nilai x
- $\Sigma$  = Simbol sigma yang menunjukkan penjumlahan

terikat dan beberapa variabel bebas, dengan tujuan untuk memprediksi nilai variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas untuk memahami bagaimana variabel bebas mempengaruhi variabel terikat.

Untuk melakukan Regresi Linier Berganda, model persamaannya adalah

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n$$

Dimana :

- Y = Variabel terikat (hasil eksperimen)
- $X_1, X_2, \dots, X_n$  = Nilai prediator (Variabel bebas)
- a = Konstanta (intersep)
- $b_1, b_2, \dots, b_n$  = Koefisien regresi (slope)

$\epsilon$  = Kesalahan eksperimen (error)

**Pengertian Kolerasi**

Korelasi adalah cara yang digunakan untuk menentukan keeratan hubungan antara dua atau lebih variabel berbeda yang digambarkan dengan ukuran koefisien korelasi. Koefisien korelasi merupakan koefisien yang menggambarkan kedekatan hubungan antara dua atau lebih variabel.

**2.6 Kajian Penelitian Sebelumnya**

**Tabel 2.6 Kajian Penelitian sebelumnya**

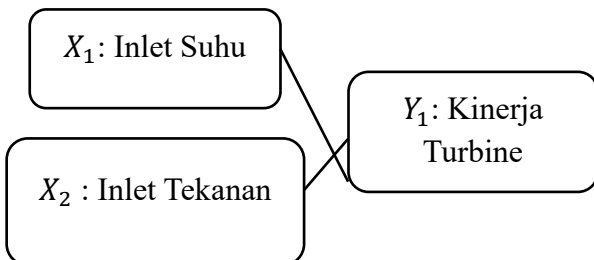
No	Nama	Judul	Tahun	Hasil
1.	Piekutowska, dari Universitas Pomeranian di Syupsk, Polandi.	“Penerapan Regresi Linier Berganda dan Model Jaringan Model Jaringan Syaraf Tiruan untuk Prediksi Hasil Panen Sangat Dini Kultivar Kentang Sebelum Panen”.	2021	Dalam penelitian ini, 2peramalanhasil panen merupakan pendekatan yang rasional dan ilmiah untuk memprediksi peristiwa di masa depan dalam konteks pertanian, khususnya dampak produksi. Tujuan utamanya adalah mengurangi risiko dalam pengambilan

No	Nama	Judul	Tahun	Hasil
				keputusan yang memengaruhi hasil panen, baik dari segi kuantitas maupun
2.	Flores, Departemen Ekologi Terapan, Universitas Negeri Carolina Utara, Raleigh, NC 27695-7608, AS.	“Metodologi Pembelajaran Mesin dan Penambangan Data untuk Memprediksi Nilai Performa Nominal dan Numerik Berat Badan Menggunakan Kumpulan Data Kalkun Jantan Putih Besar	2023	pembelajaran mesin telah menjadi alat yang digunakan untuk memprediksi fenomena dan mengevaluasi hubungan dalam kumpulan data yang kurang sesuai untuk metode statistik tradisional. alat Pembelajaran Mesin dan Penambangan Data ini dapat diterapkan dalam penelitian dan sistem produksi kalkun dengan menganalisis kumpulan data besar guna memprediksi kinerja pertumbuhan.
3.	Deniz, Universitas Hitit, Departemen Teknik Polimer, 19100, Corum/Turki ISSN 1643-1049	"Penerapan Analisis Regresi Linier Berganda (MLR) Untuk Konsentrasi Tailing Kromit Dengan Flotasi".	2020	konsentrasi mineral kromit menggunakan metode flotasi amina pada tailing kromit (lendir) dengan kandungan 23,84% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dari YeşilovaBurdur (Turki) bahwa persamaan Regresi Linier Berganda telah dikembangkan untuk memprediksi perolehan dan kadar konsentrat kromit. Koefisien regresi antara nilai percobaan dan nilai prediksi menunjukkan tingkat kesesuaian yang memuaskan.
4.	Tusakdiah & Farida	Aplikasi Rancang Bangun Prediksi Produksi Roti Sumber Makmur Menggunakan Metode Regresi Linier Berbasis Website.	2017	Dapat Memprediksi jumlah roti yang akan diproduksi pada tahun berikutnya

No	Nama	Judul	Tahun	Hasil
5.	Hijriani, Maludi, & Andini.	Implementasi Metode Regresi Linier Sederhana Pada Penyajian Hasil Prediksi Pemakaian Air Bersih PDAM Way Rilau Kota	2016	Penyajian dapat dilihat berdasarkan jumlah pelanggan dalam bentuk peta, tabel, dan grafik

### Kerangka Pemikiran

Berdasarkan pemahaman ini, dilakukan analisis hubungan antara suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin bottoming OEC, baik secara parsial maupun simultan, menggunakan data operasional dari PLTP Sarulla. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk optimasi kinerja turbin. maka penulis dapat menyusun kerangka pemikiran sebagai berikut.



### Hipotesis Penelitian

- H1 : Suhu berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin Bottoming OEC pada PLTP Sarulla.
- H2 : Tekanan berpengaruh signifikan terhadap kinerja Turbin Bottoming OEC pada PLTP Sarulla.
- H3 : Suhu dan Tekanan secara simultan berpengaruh signifikan terhadap kinerja Turbin Bottoming OEC Sarulla.

### METODE PENELITIAN

#### Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sarulla Operations L,td Unit Namora I Langit yang terletak di desa Simataniari kecamatan Pahae Julu. Pengambilan data dilakukan pada periode Agustus- Oktober 2024 melalui sistem SCADA.

### Variabel Penelitian

- Variabel Independen (X):  
 $X_1$  : Suhu uap masuk turbin (°C)  
 $X_2$  : Tekanan uap masuk turbin (bar)
- Variabel dependen (Y)  
 Kinerja turbin uap (MW)

### Teknik Analisa Data

1. Uji Normalitas Uji normalitas adalah suatu metode statistik yang digunakan untuk menguji apakah suatu data (terutama residual atau variabel terikat) memiliki distribusi normal atau tidak.

2. Analisis Regresi Linier Berganda

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Dimana:

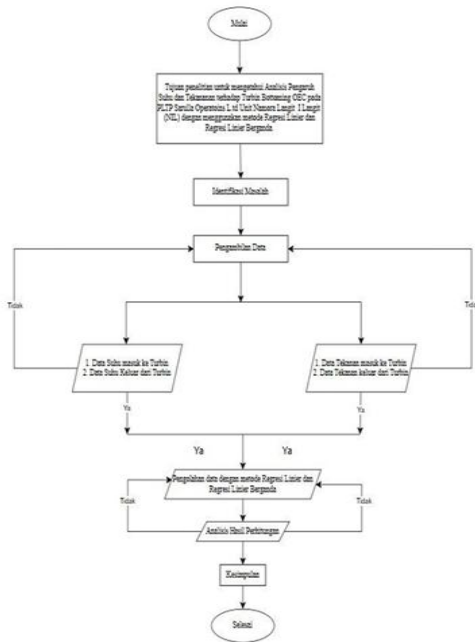
- Y= Kinerja turbin (MW)
- a = Konstanta
- $b_1, b_2$  = Koefisien regresi
- $X_1$  = Suhu (°C)
- $X_2$  = Tekanan (bar)
- e = error

3. Uji t Uji hipotesis secara parsial (Uji t) dilakukan untuk mengetahui pengaruh secara parsial.

4. Uji F Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel Suhu dan Tekanan terhadap Kinerja Turbin. Dengan taraf signifikansi 0,05 dan nilai Fhitung > Ftabel.

5. Uji koefisien determinasi Uji koefisien determinasi ( $R^2$ ) dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi variabel bebas Suhu ( $X_1$ ), Tekanan ( $X_2$ ) secara bersama-sama terhadap variabel terikat Kinerja Turbin (Y).

### 3.5 Flow Chart Penelitian



### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis pengaruh suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Sarulla Operations Ltd Unit Namora I Langit (NIL). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis regresi linear berganda. Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri atas Suhu ( $X_1$ ) dan Tekanan ( $X_2$ ), sedangkan variabel terikat adalah Kinerja Turbin ( $Y$ ).

#### Deskripsi tabel penelitian

Tanggal	Pukul	Inlet		Output Turbin (MW)
		Suhu	Tekanan	
01/07/2025	00.00	21,37	4,90	6,77
	01.00	21,04	4,89	6,81
	02.00	20,88	4,87	6,83
	03.00	20,59	4,85	6,85
	04.00	20,24	4,83	6,88
	05.00	19,99	4,82	6,91
	06.00	19,74	4,81	6,94
	07.00	20,03	4,82	6,87
	08.00	21,31	4,83	6,59
	09.00	23,18	4,87	6,23
	10.00	24,83	4,95	6,94
	11.00	25,79	4,98	5,67
	12.00	26,56	5,00	5,42
	13.00	27,04	4,98	5,27
	14.00	27,00	4,93	5,2
	15.00	26,94	4,90	5,22
	16.00	26,87	4,90	5,23
	17.00	26,60	4,90	5,29
	18.00	25,36	4,89	5,5
	19.00	23,75	4,87	5,79
	20.00	22,98	4,86	6
	21.00	22,58	4,90	6,26
	22.00	22,14	4,94	6,55
23.00	21,62	4,93	6,66	
02/07/2025	00.00	21,24	4,92	6,72
	01.00	21,00	4,90	6,72
	02.00	20,73	4,86	6,71
	03.00	20,51	4,84	6,72
	04.00	20,27	4,83	6,76
	05.00	20,08	4,82	6,76
	06.00	20,28	4,82	6,62
	07.00	20,53	4,82	6,6
	08.00	21,12	4,83	6,51
	09.00	22,04	4,84	6,33
	10.00	22,72	4,86	6,29
	11.00	23,63	4,93	6,18
	12.00	25,12	4,99	5,73
	13.00	26,47	5,01	5,29
	14.00	26,95	4,98	5,21
	15.00	26,78	4,92	5,26
	16.00	26,32	4,90	5,37
	17.00	25,65	4,89	5,51
	18.00	24,89	4,87	5,74
	19.00	24,04	4,86	6,03
	20.00	23,28	4,85	6,22
	21.00	22,68	4,88	6,41
	22.00	22,04	4,93	6,59
23.00	21,61	4,93	6,68	

03/07/2025	00.00	21,37	4,92	6,7
	01.00	21,35	4,91	6,68
	02.00	21,41	4,90	6,65
	03.00	21,32	4,90	6,66
	04.00	21,22	4,89	6,69
	05.00	21,16	4,88	6,7
	06.00	21,03	4,86	6,7
	07.00	21,02	4,83	6,65
	08.00	21,08	4,83	6,58
	09.00	21,83	4,83	6,42
	10.00	23,33	4,88	6,14
	11.00	24,69	4,95	5,91
	12.00	26,28	4,98	5,51
	13.00	27,56	5,00	5,11
	14.00	27,69	5,01	5,06
	15.00	27,07	4,97	5,07
	16.00	26,20	4,90	5,17
	17.00	25,38	4,88	5,54
	18.00	24,62	4,86	5,8
	19.00	24,02	4,86	5,9
	20.00	23,63	4,85	6,08
	21.00	23,04	4,88	6,3
	22.00	22,52	4,93	6,48
23.00	22,12	4,93	6,55	

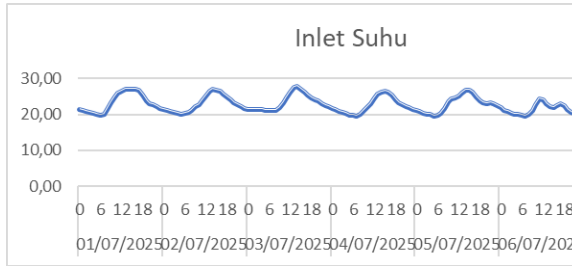
04/07/2025	00.00	21,71	4,92	6,58
	01.00	21,30	4,92	6,58
	02.00	20,93	4,91	6,66
	03.00	20,61	4,89	6,79
	04.00	20,21	4,88	6,88
	05.00	19,85	4,86	6,91
	06.00	19,63	4,83	6,91
	07.00	19,59	4,81	6,89
	08.00	20,00	4,81	6,81
	09.00	21,06	4,83	6,62
	10.00	21,96	4,88	6,51
	11.00	22,97	4,93	6,35
	12.00	24,60	4,95	5,94
	13.00	25,62	4,97	5,62
	14.00	26,09	4,95	5,38
	15.00	26,37	4,90	5,15
	16.00	26,15	3,95	5,3
	17.00	25,25	1,98	5,65
	18.00	24,09	0,89	5,85
	19.00	23,26	0,80	5,97
	20.00	22,62	0,76	6,08
	21.00	22,22	2,56	6,09
	22.00	21,89	3,57	6,24
	23.00	21,46	2,93	6,36

05/07/2025	00.00	21,18	3,96	6,45
	01.00	20,77	4,82	6,66
	02.00	20,31	4,82	6,69
	03.00	20,13	4,83	6,7
	04.00	19,88	4,84	6,8
	05.00	19,52	4,86	6,93
	06.00	19,75	4,88	6,84
	07.00	20,38	4,87	6,67
	08.00	21,70	4,85	6,43
	09.00	23,37	4,86	6,02
	10.00	24,19	4,88	5,72
	11.00	24,64	4,93	5,59
	12.00	25,17	4,97	5,52
	13.00	26,00	4,99	5,32
	14.00	26,64	5,01	5,16
	15.00	26,74	4,98	5,13
	16.00	26,11	4,93	5,23
	17.00	24,96	4,88	5,54
	18.00	23,86	4,86	5,85
	19.00	23,19	4,86	6,02
	20.00	23,06	4,85	6,11
	21.00	23,10	4,88	6,21
	22.00	22,92	4,92	6,31
	23.00	22,44	4,93	6,4

06/07/2025	00.00	21,75	4,91	6,49
	01.00	21,07	4,89	6,57
	02.00	20,70	4,88	6,68
	03.00	20,23	4,87	6,78
	04.00	19,99	4,86	6,79
	05.00	19,98	4,83	6,79
	06.00	19,67	4,81	6,83
	07.00	19,53	4,81	6,84
	08.00	20,05	4,82	6,74
	09.00	21,08	4,83	6,57
	10.00	22,57	4,86	6,29
	11.00	24,23	4,95	5,86
	12.00	24,10	4,99	5,75
	13.00	22,97	3,95	5,57
	14.00	22,22	1,83	4,88
	15.00	21,81	0,72	4,5
	16.00	22,33	0,72	4,61
	17.00	22,96	0,72	4,89
	18.00	22,39	1,42	5,25
	19.00	21,25	3,48	5,94
	20.00	20,60	4,82	6,57
	21.00	20,25	4,86	6,81
	22.00	19,91	4,90	6,97
	23.00	19,50	4,90	7,02

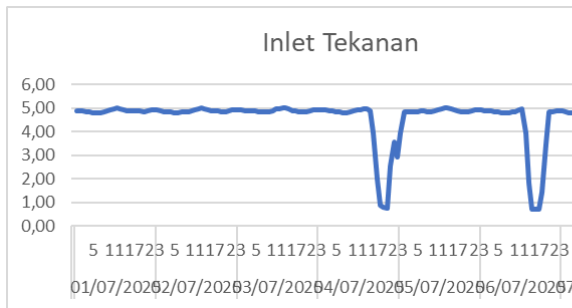
07/07/2025	00.00	19,35	4,87	6,91
	01.00	19,29	4,83	6,86
	02.00	19,40	4,81	6,87
	03.00	19,52	4,81	6,84
	04.00	19,52	4,81	6,85
	05.00	19,57	4,81	6,85
	06.00	19,49	4,81	6,88
	07.00	19,74	4,81	6,83
	08.00	21,20	4,82	6,51
	09.00	23,01	4,84	6,13
	10.00	24,60	4,86	5,82
	11.00	26,70	4,88	5,34
	12.00	27,85	4,91	4,95
	13.00	27,85	4,92	4,86
	14.00	27,52	4,91	4,92
	15.00	27,00	4,90	5,07
	16.00	26,69	4,87	5,32
	17.00	25,82	4,85	5,56
	18.00	24,40	4,84	5,86
	19.00	23,15	4,84	6,1
	20.00	22,38	4,84	6,24
	21.00	21,76	4,89	6,46
	22.00	21,17	4,94	6,67
	23.00	20,82	4,93	6,81

Data dicatat setiap satu jam sekali selama tujuh hari berturut-turut, yaitu mulai dari tanggal 1 Juli 2025 hingga 7 Juli 2025, dengan total 168 observasi. Setiap hari terdiri dari 24 data observasi, yang merepresentasikan kondisi operasional turbin per jam. Pencatatan dilakukan secara real-time melalui sistem pengukuran otomatis (digital monitoring system) yang terhubung langsung dengan sensor suhu dan tekanan pada saluran inlet serta sistem pencatatan daya output turbin. Untuk memahami karakteristik data pada penelitian ini, ditampilkan grafik time series dari tiga variabel utama, yaitu output daya turbin, suhu inlet, dan tekanan inlet selama periode 1 hingga 7 Juli 2025. Visualisasi ini bertujuan untuk melihat pola fluktuasi harian, kestabilan operasional memengaruhi kinerja turbin.



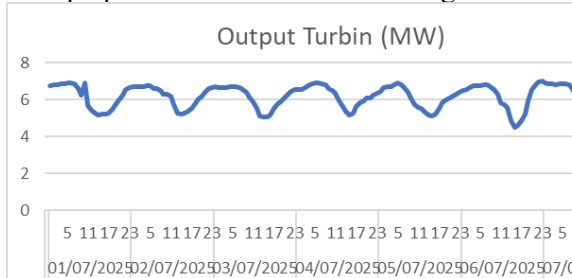
**Grafik Inlet Suhu (X1)**

Nilai suhu tertinggi umumnya terjadi pada siang hingga sore hari, dengan kisaran maksimum mencapai sekitar 27–28°C, sedangkan nilai terendah berkisar antara 19–21°C dan terjadi pada malam hingga dini hari.



**Grafik Inlet Tekanan (X2)**

Secara umum, tekanan fluida cenderung stabil dalam rentang antara 4,7 hingga 4,9 bar sepanjang periode pengamatan, yang mengindikasikan kondisi operasi yang normal dan terkendali pada sebagian besar waktu. Namun demikian, terdapat anomali yang signifikan pada tanggal 4, 5, dan 6 Juli 2025, di mana tekanan inlet turun drastis hingga mendekati 0,5 bar sebelum kembali stabil di titik normal. Fluktuasi tajam tersebut hanya bersifat sementara dan segera kembali ke kondisi semula, menunjukkan bahwa sistem mampu pulih dalam waktu relatif singkat.



**Grafik Output Turbin (Y)**

Secara umum, kurva menunjukkan pola yang konsisten dari hari ke hari, di mana

output turbin cenderung berada pada nilai tertinggi di pagi hari sekitar pukul 05.00 hingga 11.00, kemudian mengalami penurunan pada siang hingga malam hari, dan kembali meningkat di hari berikutnya. Output daya berada dalam kisaran antara 4,5 MW hingga mendekati 7 MW, dengan nilai maksimum secara konsisten terjadi pada awal hari, dan nilai minimum terjadi pada malam hari.

Variabel	N	Minimum	Maksimum	Mean	Standar Deviasi
Suhu (°C)	168	19,29	27,85	22,72	2,44
Tekanan (Bar)	168	0,72	5,01	4,62	0,92
Kinerja Turbin (MW)	168	4,5	7,02	6,17	0,64

Pada tabel menyajikan statistik deskriptif dari variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian, yaitu suhu (X<sub>1</sub>), tekanan (X<sub>2</sub>), dan kinerja turbin (Y). Data yang dianalisis berjumlah 168 data. Berdasarkan hasil data diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

- Suhu memiliki nilai minimum sebesar 19,29°C, nilai maksimum sebesar 27,85°C, dengan nilai rata-rata (mean) sebesar 22,72°C dan standar deviasi sebesar 2,44°C. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar suhu berada pada kisaran yang relatif stabil dengan variasi yang moderat.
- Tekanan tercatat memiliki nilai minimum sebesar 0,72 bar dan maksimum sebesar 5,01 bar, dengan rata-rata sebesar 4,62 bar dan standar deviasi sebesar 0,90 bar. Ini mengindikasikan bahwa tekanan dalam sistem turbin cukup konsisten dengan tingkat penyimpangan yang tidak terlalu besar.
- Kinerja Turbin memiliki output minimum sebesar 4,5 MW dan maksimum sebesar 7,02 MW. Nilai rata-ratanya adalah sebesar 6,17 MW dengan standar deviasi sebesar 0,64 MW, yang menunjukkan bahwa secara umum, performa turbin berada dalam kisaran yang cukup tinggi dan stabil.

### Uji Normalitas

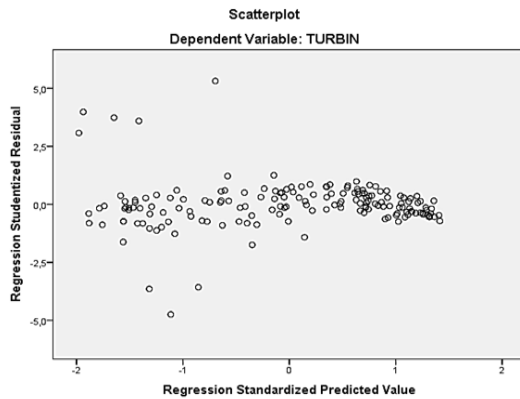
**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Unstandardized Residual
N		168
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	,0000000
	Std. Deviation	3,88521410
	Most Extreme Differences	Absolute: ,060 Positive: ,069 Negative: -,068
Test Statistic		,069
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 <sup>c,d</sup>

a. Test distribution is Normal.  
 b. Calculated from data.  
 c. Lilliefors Significance Correction.

Dari tabel diatas pada One-Sampel *Kolmogorov-Smirnov* diketahui besar nilai asymp. Sig (2-tailed) sebesar 0.200. dapat dilihat bahwa  $0.200 > 0.05$ , maka dapat disimpulkan data penelitian ber distribusi Normal.

### Uji Heterokedastisitas



Berdasarkan hasil scatterplot yang ditampilkan pada Gambar terlihat bahwa titik-titik residual menyebar secara acak di atas dan di bawah garis nol pada sumbu Y serta tidak membentuk pola tertentu, seperti pola menyebar mengerucut atau melebar. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model regresi yang digunakan dalam penelitian ini tidak mengalami masalah heteroskedastisitas dan telah memenuhi asumsi klasik mengenai kesamaan varians (homoskedastisitas).

### Uji Multikolinieritas

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	10,434	,183		56,947	,000		
	SUHU	,234	,007	,891	32,831	,000	,999	1,001
	TEKANAN	,226	,019	,319	11,739	,000	,999	1,001

a. Dependent Variable: TURBIN

Berdasarkan tabel diatas bahwa nilai VIF untuk variabel suhu adalah  $1.001 < 10$  sedangkan nilai untuk seberapa besar (*Tolerance*) variabel tekanan sebesar  $0.999 > 0.10$ . nilai VIF untuk variabel minat berwirausaha sebesar  $1.001 < 10$  sedangkan nilai *tolerance* untuk variabel suhu dan tekanan  $0.999 > 0.10$ . sehingga dapat disimpulkan bahwa antar variabel bebas tidak memiliki multikolinieritas.

### Uji Autokorelasi

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,937 <sup>a</sup>	,879	,877	,22462	1,508

a. Predictors: (Constant), TEKANAN, SUHU  
 b. Dependent Variable: TURBIN

Berdasarkan hasil uji yang ditunjukkan pada Tabel diperoleh nilai Durbin-Watson sebesar 1,508. Nilai tersebut berada dalam rentang -2 hingga +2, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat autokorelasi dalam model regresi yang digunakan.

### Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui sejauh mana variabel suhu ( $X_1$ ) dan Tekanan ( $X_2$ ) berpengaruh terhadap Kinerja Turbin (Y). Tujuan dari analisis ini adalah untuk menguji hipotesis secara parsial dan simultan, serta mengukur kemampuan prediktif dari model regresi yang dibentuk.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10,434	,183		56,947	,000
	SUHU	,234	,007	,891	32,831	,000
	TEKANA	,226	,019	,319	11,739	,000

a. Dependent Variable: TURBIN

Persamaan regresinya adalah sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 10,434 + 0,234X_1 + 0,226X_2$$

Berdasarkan model regresi tersebut diperoleh :

1. Konstanta sebesar 10,434 artinya jika Suhu (X<sub>1</sub>) Dan Tekanan sebesar nol, maka perolehan Kinerja Turbin (Y) 10,434.
2. Kemudian nilai koefisien Suhu b<sub>1</sub> sebesar 0,234 artinya adalah jika Suhu (X<sub>1</sub>) mengalami kenaikan sebesar satu persen (1%), maka Kinerja Turbin (Y) akan mengalami peningkatan sebesar 0,234 dengan syarat variabel bebas lainnya bernilai tetap.
3. Nilai koefisien Tekanan b<sub>2</sub> adalah 0,226 artinya jika Tekanan (X<sub>2</sub>) mengalami kenaikan sebesar satu persen (1%) maka Tekanan akan mengalami peningkatan sebesar 0,226 dengan syarat variabel bebas lainnya bernilai tetap.

### Uji Parsial (Uji T)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error			
1 (Constant)	10,434	,183		56,947	,000
SUHU	,234	,007	,891	32,831	,000
TEKANA	,226	,019	,319	11,739	,000

a. Dependent Variable: TURBIN

Berdasarkan tabel diatas, hasil yang diperoleh adalah nilai thitung variabel Suhu (X<sub>1</sub>) adalah sebesar 32,831 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 . Sedangkan nilai ttabel dengan derajat kebebasan (df) = N – K (168-3) =165, adalah sebesar 1,654 pada taraf signifikan 95% atau  $\alpha = 0,05$ . Maka dari hasil tersebut nilai thitung > ttabel ( 32,831>1,654) dan nilai signifikansi  $\alpha$  (0,000<0,05). Dengan demikian ada pengaruh positif dan signifikan Suhu (X<sub>1</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y) Pada PLTP Sarulla Operations L.Td Unit Namora I Langit (Nil).

Dan variabel Tekanan (X<sub>2</sub>) diperoleh nilai thitung adalah sebesar 11,739 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000. Sedangkan nilai ttabel dengan derajat kebebasan (df) = N – K (168-3) = 165, adalah sebesar 1,654 pada taraf signifikansi 95%  $\alpha = 0,05$ . Maka dari hasil tersebut nilai thitung >ttabel (11,739>1,654) dan nilai signifikansi  $\alpha$  (0,000<0,05). Dengan

demikian ada pengaruh positif dan signifikan Tekanan (X<sub>2</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y) Pada PLTP Sarulla Operations L.Td Unit Namora I Langit (Nil).

### 4.2.2. Uji Simultan (Uji F)

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	60,267	2	30,133	597,235	,000 <sup>b</sup>
	Residual	8,325	165	,050		
	Total	68,592	167			

a. Dependent Variable: TURBIN

b. Predictors: (Constant), TEKANAN, SUHU

Dari tabel diatas, nilai Fhitung adalah sebesar 59,723 dan nilai signifikansi  $\alpha$  adalah 0,000. Dengan nilai Ftabel pada derajat kebebasan df (N<sub>1</sub>) = K-1 = 2, derajat kebebasan df (N<sub>2</sub>) = n-k-1 = 168-2-1 = 165 dengan taraf signifikansi 95% atau  $\alpha = 0,05$ , maka Ftabel adalah sebesar 3,05. Dengan demikian, Fhitung > Ftabel (59,723>3,05 dan nilai signifikan  $\alpha$  (0,000<0,05), artinya ada pengaruh positif dan signifikan Suhu (X<sub>1</sub>) dan Tekanan (X<sub>2</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y) pada PLTP Sarulla Operations L.Td Unit Namora I Langit (Nil).

### Uji Koefisien Determinasi (Uji R)

Model Summary <sup>a</sup>				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,937 <sup>a</sup>	,879	,877	,22462

a. Predictors: (Constant), TEKANAN, SUHU

b. Dependent Variable: TURBIN

Sumber: Pengolahan data dengan program spss 22

Dari tabel diatas, diperoleh nilai koefisien determinasi (R Square) sebesar 0,879 yang artinya sebesar 87,90% Suhu (X<sub>1</sub>) Dan Tekanan (X<sub>2</sub>) dapat menjelaskan Kinerja Turbin (Y).

### Pengaruh Suhu (X<sub>1</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y)

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda yang telah dilakukan, diketahui bahwa variabel suhu (X<sub>1</sub>) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja turbin (Y). Hal ini ditunjukkan oleh nilai *signifikansi* sebesar 0,000 < 0,05 dan nilai t hitung > t tabel sebesar (31,831>1,654) Artinya, setiap kenaikan satu satuan suhu akan meningkatkan kinerja turbin sebesar 31,831, dengan asumsi variabel tekanan tetap.

Secara teknis, suhu yang optimal akan mempercepat proses pembakaran bahan bakar dan pemanasan fluida kerja pada turbin, sehingga menghasilkan dorongan yang lebih besar dan meningkatkan efisiensi kerja turbin. Hasil ini sejalan dengan teori termodinamika, di mana kenaikan suhu pada sistem pembangkit tenaga termal dapat meningkatkan entalpi masuk ke turbin, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap daya yang dihasilkan.

### **Pengaruh Tekanan (X<sub>2</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y)**

Berdasarkan hasil variabel tekanan (X<sub>2</sub>) juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja turbin. Hasil pengujian parsial (uji t) menunjukkan nilai signifikansi sebesar  $0,000 < 0,05$  dengan nilai t tabel  $> t$  Hitung ( $11,739 > 1,654$ ), yang berarti bahwa setiap peningkatan satu satuan tekanan akan meningkatkan kinerja turbin sebesar 11,739, dengan asumsi suhu tetap. Dalam sistem turbin, tekanan berperan penting dalam mengalirkan fluida kerja dengan kecepatan dan energi kinetik yang tinggi ke bilah turbin, sehingga dapat menghasilkan gaya dorong dan putaran yang optimal. Tekanan yang stabil dan sesuai dengan kapasitas desain turbin akan meminimalkan kerugian energi dan meningkatkan efisiensi proses konversi energi termal menjadi energi mekanik. Oleh karena itu, tekanan menjadi faktor penting dalam menjaga performa operasional turbin dalam jangka panjang.

### **Pengaruh Suhu (X<sub>1</sub>) dan Tekanan (X<sub>2</sub>) terhadap Kinerja Turbin (Y)**

Berdasarkan hasil pengujian secara simultan melalui uji F menunjukkan bahwa suhu dan tekanan secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja turbin, dengan nilai signifikansi sebesar  $0,000 < 0,05$  dan nilai F hitung  $> F$  tabel ( $59,723 > 3,05$ ). Koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,879 menunjukkan bahwa sebesar 87,90% variasi dalam kinerja turbin dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut. Hasil ini membuktikan bahwa pengendalian suhu dan tekanan yang tepat secara simultan sangat berkontribusi terhadap peningkatan performa sistem turbin. Dalam konteks manajemen operasional, hal ini dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengoptimalkan

pengaturan parameter suhu dan tekanan untuk mencapai efisiensi maksimal pada PLTP Sarulla Operations L.Td Unit Namora I Langit (Nil).

### **Pengendalian Kelebihan dan Kekurangan Suhu dan Tekanan Uap pada inlet Turbin**

Pengendalian suhu dan tekanan uap pada inlet turbin merupakan aspek kritis dalam menjaga efisiensi dan keandalan operasi Turbin Bottoming OEC. Fluktuasi yang melebihi atau kurang dari batas operasional dapat menurunkan kinerja. Mempercepat kerusakan komponen, serta mengurangi efisiensi termal pembangkit. Pada PLTP Sarulla, pengendalian dilakukan melalui kombinasi sistem kontrol otomatis, peralatan mekanis, dan prosedur operasional standar. Dalam penelitian ini maksimum suhu yaitu sekitar 101°C, sedangkan pada minimumnya suhu yaitu sekitar 85°C. pada tekanan maksimumnya 5,8 bar dan minimumnya tekanan yaitu sekitar 1,01 bar.

### **Peraturan Katup Kontrol Uap (Turbine Control Valve)**

- Governor valve secara otomatis mengatur debit uap masuk ke turbin berdasarkan beban listrik dan parameter operasional.
- Jika tekanan terlalu tinggi, katup akan menutup sebagian untuk mengurangi aliran, jika tekanan terlalu rendah, katup dibuka lebih besar untuk meningkatkan suplai uap.
- Jika suhu terdeteksi terlalu tinggi, katup akan mengurangi aliran panas atau mengaktifkan bypass sebagian aliran.
- Jika suhu terlalu rendah, katup akan menambah suplai panas hingga suhu kembali ke target.
- Pengaturan ini dilakukan secara proposional-integral-derivative (PID control) sehingga respons cepat dan stabil.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh suhu dan tekanan terhadap kinerja turbin pada PLTP Sarulla Operations Ltd Unit Namora I Langit

(NIL), maka peneliti menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu ( $X_1$ ) berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja turbin (Y) dengan nilai  $t_{hitung} = 31,831 > t_{tabel} = 1,654$  dan signifikansi  $0,000 < 0,05$ . Tekanan ( $X_2$ ) juga berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja turbin (Y) dengan  $t_{hitung} = 11,739 > t_{tabel} = 1,654$  dan signifikansi  $0,000 < 0,05$ .
2. Secara simultan, suhu dan tekanan berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin dengan  $F_{hitung} = 59,723 > F_{tabel} = 3,05$  dan signifikansi  $0,000 < 0,05$ . Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,879 menunjukkan bahwa 87,90% variasi kinerja turbin dapat dijelaskan oleh suhu dan tekanan, sedangkan 12,10% dipengaruhi faktor lain.
3. Pengendalian suhu dan tekanan dilakukan melalui sistem kontrol otomatis (SCADA) dengan dukungan pressure control valve dan temperature control system untuk menjaga efisiensi serta kestabilan turbin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Deniz. (2020). Penerapan Analisis Regresi Linier Berganda (MLR) Untuk Konsentrasi Tailing Kromit Dengan Flotasi. Universitas Hitit, Departemen Teknik Polimer, 19100, Corum/Turki. ISSN 1643-1049.
- Flores. (2023). Metodologi Pembelajaran Mesin dan Penambangan Data untuk Memprediksi Nilai Performa Nominal dan Numerik Berat Badan Menggunakan Kumpulan Data *Kalkun Jantan Putih Besar*. Departemen Ekologi Terapan, Universitas Negeri Carolina Utara, Raleigh, NC 27695-7608, AS.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2017). Basic Econometrics. New York: McGraw-Hill.
- Hijriani, Maludi, & Andini. (2016). Implementasi Metode Regresi Linier Sederhana Pada Penyajian Hasil Prediksi Pemakaian Air Bersih PDAM Way Rilau Kota.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2020). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley.

- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2020). Fundamentals of Engineering Thermodynamics. Wiley.
- Piekutowska. (2021). Penerapan Regresi Linier Berganda dan Model Jaringan Syaraf Tiruan untuk Prediksi Hasil Panen Sangat Dini Kultivar Kentang Sebelum Panen. *Universitas Pomeranian di Sypusk, Polandia*.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Tusakdiah, & Farida. (2017). Aplikasi Rancang Bangun Prediksi Produksi Roti Sumber Makmur Menggunakan Metode Regresi Linier Berbasis Website.