



**Pengaruh *Standby* dan *Operation* Pada  
*Circulating Water System* Terhadap Efisiensi  
Pendinginan di Cooling Tower PT Mitra Energi  
Batam**

**Tugas Akhir**

**Oleh:  
Willfred Joshua Purba 4232101019**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2024**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Pengaruh Standby dan Operation Pada Circulating Water System Terhadap Efisiensi Pendinginan di Cooling Tower PT Mitra Energi Batam” 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 iay ain. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 03 Januari 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Joshua', written over a horizontal line that extends to the right.

Willfred Joshua Purba  
NIM: 4232101019

# Lembar Pengesahan

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

Oleh:  
Willfred Joshua Purba (4232101019)

Tanggal Sidang: 07 01, 2025

Disetujui oleh:



1. Ir. Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd  
NIK: 119230



1. Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng  
NIK: 118200



2. Ir. Muhammad Syafei Gozali, ST, M.T.  
NIK: 107050

# Lembar Pengesahan Industri

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

Disusun oleh: Willfred Joshua Purba (4232101019)

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

Judul Tugas Akhir:  
Pengaruh *Standby* dan *Operation* Pada *Circulating Water System* Terhadap Efisiensi Pendinginan di *Cooling Tower* PT Mitra Energi Batam

Perusahaan: PT Mitra Energi Batam

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing:



Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng  
NIK: 118200

Pembimbing Industri:



Benediktus Lilik Arie Susetyo, S.T.  
NIK: 82005040

HRD:



Rivina, S.kom.  
NIK: 82015128

# **Pengaruh *Standby* dan *Operation* Pada *Circulating Water System* Terhadap Efisiensi Pendinginan di *Cooling Tower* PT Mitra Energi Batam**

## **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh kondisi *standby* dan *operation* pada *circulating water system* (CWS) terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* PT Mitra Energi Batam melalui analisis regresi sederhana dan berganda untuk menjawab bagaimana temperatur output (Tout) saat *standby* serta Tout dan temperatur *intake* (Tintake) saat *operation* memengaruhi efisiensi pendinginan *cooling tower*. Hasil regresi sederhana pada kondisi *standby* menunjukkan persamaan  $\hat{Y} = 1.36 - 0.24X$  dengan signifikansi 0.000 ( $< 0.05$ ) dan  $R^2 = 95,4 \%$ , menegaskan bahwa setiap kenaikan  $1^\circ\text{C}$  Tout menurunkan efisiensi 0,24 satuan. Pada kondisi *operation*, model regresi berganda  $\hat{Y} = 1.747 - 0.022X_1 - 0,010X_2$  (signifikansi 0.000 dan 0.029;  $R^2 = 97,3 \%$ ) membuktikan bahwa peningkatan  $1^\circ\text{C}$  pada Tout dan Tintake masing-masing menurunkan efisiensi 0,022 dan 0,010 satuan. Dengan demikian, temperatur *output* dominan pada *standby*, sedangkan kombinasi Tout dan Tintake sangat signifikan pada *operation*.

Kata kunci: *Cooling Tower, Operation, Standby, Temperatur*

# ***Effect of Standby and Operation on Circulating Water System on Cooling Efficiency at Cooling Tower PT Mitra Energi Batam***

## ***Abstract***

*This research aims to analyze the effect of standby and operation conditions on the circulating water system (CWS) on the cooling efficiency of the cooling tower of PT Mitra Energi Batam through simple and multiple regression analysis to answer how the output temperature (Tout) during standby and Tout and intake temperature (Tintake) during operation affect the cooling tower cooling efficiency. Simple regression results in standby condition showed the equation  $\hat{Y} = 1.36 - 0.24X$  with a significance of 0.000 ( $<0.05$ ) and  $R^2 = 95.4\%$ , confirming that every 1 °C increase in Tout decreases the efficiency by 0.24 units. Under operating conditions, the multiple regression model  $\hat{Y} = 1.747 - 0.022X_1 - 0.010X_2$  (significance 0.000 and 0.029;  $R^2 = 97.3\%$ ) proved that a 1 °C increase in Tout and Tintake decreased efficiency by 0.022 and 0.010 units, respectively. Thus, output temperature is dominant in standby, while the combination of Tout and Tintake is significant in operation.*

*Keywords: Cooling Tower, Operation, Standby, Temperature*

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh *Standby* dan *Operation* Pada *Circulating Water System* Terhadap Efisiensi pendinginan *Cooling Tower* di PT Mitra Energi Batam”. Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan Diploma IV dan memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Dalam pengerjaan penyusunan buku laporan tugas akhir tentu tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu Penulis mengucapakan terima kasih kepada:

1. Kedua ayah dan ibu penulis atas dukungan yang diberikan secara material, do’a, dan motivasi.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIMP., CISCIP., selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, masukan, serta motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng., selaku wali dosen dan ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Ir.Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd dan Bapak Ir.Muhammad Syafei Gozali,ST, M.T. selaku dosen penguji sidang judul proposal dan sidang tugas akhir.
6. Teman-teman seperjuangan terkhusus Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Angkatan 2021 untuk saling membantu, memberikan motivasi, nasehat dan semangat kepada penulis.
7. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk saat ini dan di masa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun dapat memperbaiki penulisan laporan dimasa yang datang.

Batam, 03 Januari 2025



Willfred Joshua Purba

# Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Pengesahan Industri.....	iii
Abstrak .....	iv
<i>Abstract</i> .....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel.....	x
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.....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	3
2.1 <i>Circulating water system</i> pada <i>cooling tower</i> .....	3
2.2 Temperatur <i>cooling tower</i> .....	5
2.3. Uji Asumsi Klasik .....	6
2.4. Analisa data regresi linear sederhana.....	7
2.5. Analisa data regresi linear berganda .....	7
2.6. Analisa pengujian.....	8
2.6.1. Uji parsial (Uji-t).....	8
2.6.2. Uji koefisien determinasi (R <sup>2</sup> ) .....	9
Bab 3. Metodologi.....	10
Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	13
4.1. Hasil pengambilan dan pengolahan data .....	13
4.2. Perbandingan $\Delta T$ dan $T_{out}$ pada kondisi standby dan operation .....	14

4.3. Analisa Temperatur ouput terhadap efisiensi pendinginan cooling tower .....	15
4.4. Uji Analisis regresi linear berganda kondisi <i>operation</i> .....	16
4.4.1. Uji Parsial (Uji-t) kondisi <i>operation</i> .....	17
4.4.2. Uji koefisien determinasi kondisi <i>operation</i> .....	18
4.5. Uji Analisis regresi linear sederhana kondisi <i>standby</i> .....	18
4.5.1. Uji Parsial (Uji-t) kondisi <i>standby</i> .....	19
4.5.2. Uji koefisien Determinasi kondisi <i>standby</i> .....	20
Bab 5. Kesimpulan dan Saran .....	21
5.1. Kesimpulan.....	21
5.2. Saran.....	21
Daftar Pustaka.....	22
Biodata .....	24
Lampiran.....	25
Lampiran pengambilan data humidity.....	25
Lampiran tabel t.....	25
Lampiran tabel pengumpulan data.....	27
Lampiran tabel pengolahan data .....	29

## Daftar Gambar

Gambar 1. Skema proses mode standby dan operation .....	3
Gambar 2. Range dan approach temperatur cooling tower .....	5
Gambar 3. Diagram proses penelitian .....	10
Gambar 4. Grafik pengambilan data mode standby.....	13
Gambar 5. Grafik pengambilan data mode operation.....	13
Gambar 6. Perbandingan $\Delta T$ dan $T_{out}$ pada kondisi standby dan operation.....	14
Gambar 7. Grafik Perbandingan $T_{out}$ terhadap efisiensi pendinginan cooling tower .....	15
Gambar 8. Grafik analisis persamaan pada kondisi operation .....	16
Gambar 9 Grafik analisis persamaan pada kondisi standby .....	18

## Daftar Tabel

Tabel 1. Hasil analisis regresi linear berganda kondisi operation .....	17
Tabel 2. Koefisien determinasi kondisi operation.....	18
Tabel 3. Hasil uji analisis regresi linear sederhana kondisi standby.....	19
Tabel 4. Koefisien determinasi kondisi standby.....	20
Tabel 5. Hasil pengambilan data saat mode standby .....	27
Tabel 6. Hasil pengambilan data saat mode operation .....	28
Tabel 7. Hasil pengolahan data mode standby .....	29
Tabel 8. Hasil pengolahan data mode operation .....	30

# Bab 1. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Peningkatan temperatur pada sistem sirkulasi air di *cooling tower* yang berlebihan dapat menjadi sumber permasalahan pada proses pembangkitan listrik di PLTGU. Dengan peningkatan temperatur maka terjadi perubahan efisiensi pendinginan air pada *cooling tower*[1]. Adapun faktor penyebab dari peningkatan temperatur adalah pengaruh dari mode operasi pada sistem sirkulasi air yang ada pada *cooling tower*, dimana terdapat dua mode operasi pada sistem sirkulasi air di *cooling tower* yaitu mode *standby* (siaga) dan mode *operation* (beroperasi). Pada saat dalam mode *standby* tidak dilakukan proses *make up* air dari *water intake* dikarenakan tidak terpenuhinya kebutuhan air yang diperlukan untuk melakukan operasi[2]. ketika proses *make up* tidak terpenuhi maka proses *blowdown* juga tidak bisa dilakukan karena tidak ada air yang masuk maka tidak ada pula air yang dapat dibuang. Kemudian pada saat mode *operation* proses *make up* water dari *water intake* akan terus berlangsung karena terpenuhinya kebutuhan pada proses sirkulasi air dan begitu pula dengan proses *mass blowdown* akan dilakukan secara terus menerus mengikuti air yang masuk pada sistem sirkulasi air pada *cooling tower*.

Ketika temperatur mengalami peningkatan akan berdampak pada efisiensi *cooling tower* pada proses pembangkitan energi listrik[3]. Karena semakin tinggi nilai temperatur maka semakin kecil pula kinerja turbin uap dan semakin tinggi nilai temperatur maka semakin kecil juga efisiensi turbin uap[4]. Pada analisa pengaruh *standby* dan *operation* terhadap temperatur akan menggunakan metode *range* dan *approach* untuk mendapatkan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*[5][6][7]. Setelah didapatkan data dari proses analisa tersebut maka akan dilanjutkan dengan melakukan analisa regresi linear sederhana pada data yang telah didapatkan ketika sistem sirkulasi air sedang dalam posisi *standby* dan *operation* dengan tujuan untuk mendapatkan pengaruh antara kenaikan temperatur terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* dan dilanjutkan dengan uji koefisien determinasi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur pada saat mode *standby* dan *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* menggunakan aplikasi SPSS untuk mempermudah pengolahan data yang telah di dapatkan, dengan demikian untuk menyelesaikan tugas akhir penulis mengangkat judul “Pengaruh *Standby* dan *Operation* Pada *Circulating Water System* Terhadap Efisiensi pendinginan *Cooling Tower* di PT Mitra Energi Batam”.

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh kondisi *standby* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* PT Mitra Energi Batam?
2. Bagaimanakah pengaruh kondisi *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* PT Mitra Energi Batam?

## 1.3. Tujuan

1. Menganalisis pengaruh temperatur *output* pada kondisi *standby* dan *operation* yang berdampak pada efisiensi *cooling tower* PT Mitra Energi Batam menggunakan analisa regresi sederhana.
2. Menganalisis pengaruh kondisi temperatur *output* dan *intake* pada kondisi *operation* terhadap pendinginan *cooling tower* PT Mitra Energi Batam menggunakan analisa regresi berganda.

## 1.4. Manfaat

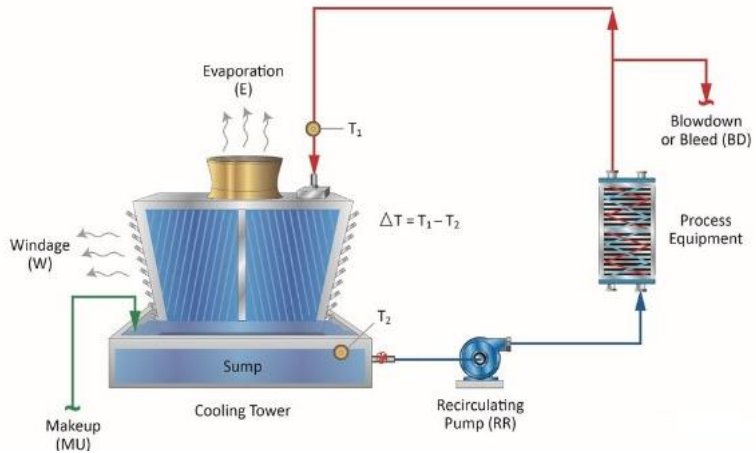
Adapun manfaat dari pembuatan TA ini adalah memberikan informasi terkait hasil analisa terhadap pengaruh kondisi *standby* dan *operation* terhadap efisiensi dan kualitas air pada sistem sirkulasi air pada *cooling tower* yang ada pada PT MEB.

## 1.5. Batasan

1. Data yang diambil pada temperatur berasal dari *cooling tower* PT MEB.
2. Data yang digunakan pada tugas akhir ini diambil dari observasi lapangan secara langsung dan tambahan dari ruang *control center room* (CCR).
3. Berfokus untuk membahas pengaruh dan seberapa besar pengaruh temperatur air pendingin saat kondisi *standby* dan *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* PT Mitra Energi Batam.
4. Untuk mencari pengaruh antara parameter yang sudah ditentukan akan digunakan analisa regresi linear menggunakan aplikasi SPSS.
5. Dalam mencari seberapa besar pengaruh temperatur *output* Ketika mode *standby* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* menggunakan uji regresi linear sederhana.
6. Dalam mencari seberapa besar pengaruh temperatur *output* dan temperature intake ketika mode *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* menggunakan uji regresi linear berganda.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Circulating water system pada cooling tower



**Gambar 1. Skema proses mode standby dan operation**

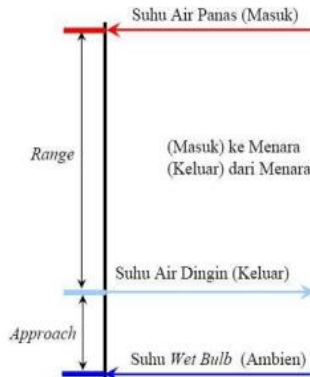
Sumber: <https://www.power-eng.com/operations-maintenance/the-2024-electric-utility-chemistry-workshop-providing-valuable-information-for-many-industries/>

CWS (Circulating Water System) digunakan sebagai sistem pendingin, sistem CWS dapat tersalurkan dengan bantuan pompa jaringan, yang terdiri dari pompa utama dan tambahan[8]. CWS adalah proses memompakan air pendingin utama dari cooling tower ke kondensor. Salah satu fungsi utamanya adalah mengubah uap yang dihasilkan oleh turbin menjadi air kondensat yang nantinya akan dimanfaatkan. Oleh karena itu, air pendingin yang digunakan berulang-ulang dalam siklus tertutup menghemat air dan mengurangi polusi[9]. Yang kemudian dialirkan ke kondensor untuk mendinginkan uap sisa dari turbin dan berubah menjadi kondensat, selain itu aliran air pendingin juga dimanfaatkan untuk proses CCW (Close Circulating Water) heat exchanger dan selama proses tersebut air yang mendinginkan kondensor dan proses CCW heat exchanger akan mengalami kenaikan temperatur. Setelah itu aliran air yang telah mengalami kenaikan temperature akan di umpan ke cooling tower untuk di dinginkan dan setelah air di dinginkan akan dimanfaatkan kembali untuk proses pendinginan pada cooling tower. Pada gambar 1 menjelaskan tentang prinsip kerja cooling tower tempat

penulis melakukan praktek kerja industri yang dimana terdapat dua sistem kerja yaitu sistem mode penuh (*Operation*) dan sistem mode siaga (*Standby*).

1. Pada mode *operation* atau penuh sistem menjalankan peran dan fungsinya secara aktif dan terus menerus dimana ketika sistem sirkulasi air dapat melakukan *makeup* dan *blowdown* secara berkelanjutan setelah melewati *heat exchanger*. Sebagaimana air panas yang berasal dari kondenser akan langsung dibuang ke tempat penampungan sebelum dialirkan ke alam melalui proses *blowdown* dan sebagian lagi dialirkan langsung ke *cooling tower* untuk dilakukan proses pendinginan dengan cara menjatuhkan air dari atas menara *cooling tower* ke basin penampungan air hasil pendinginan, yang dibantu oleh kipas untuk mempercepat proses evaporasi. Dikarnakan terjadi proses *blowdown* secara terus menerus maka perlu dilakukan penambahan air pada basin *cooling tower* untuk menjaga level air dan membantu meningkatkan proses pendinginan hal tersebut dapat terjadi karena air hasil proses pendinginan *cooling tower* dicampur dengan air dari *makeup water intake* yang berasal dari muara payau. Proses tersebut terjadi secara terus menerus selama kurang lebih 18 jam ketika air pada muara payau dalam kondisi pasang.
2. Pada mode *standby* atau siaga, sistem tetap menjalankan peran atau fungsinya namun kemampuan untuk melakukannya berkurang dikarenakan keterbatasan sumber air pada muara payau mengakibatkan tidak terjadinya proses *makeup water intake* dan *blowdown* sehingga temperatur air yang melewati *heat exchanger* tidak mengalami penurunan temperatur yang signifikan seperti pada mode *operation* dan air yang berasal dari kondenser akan terus mengalami sirkulasi tanpa ada proses penambahan dan pengurangan air pada basin *cooling tower*. Sistem ini akan tetap menunggu adanya *input* eksternal, sinyal, panggilan, atau peringatan yang bisa mengaktifkan kembali mode penuh dari kondisi siaga[2]. Pada sistem sirkulasi air di *cooling tower* tempat penulis melakukan praktek kerja industri proses siaga (*Standby*) terjadi apabila sumber air tidak dapat memenuhi kebutuhan sirkulasi air pada *cooling tower* dimana tidak ada proses *makeup* dan *blowdown* pada *cooling tower* dan biasanya terjadi selama 5 – 6 jam perhari tergantung ketersediaan air pada muara air payau tempat *water intake* berasal. Dan parameter dari kondisi siaga adalah ketika ketinggian air di *water intake* berada pada posisi 50% kebawah. Kemudian mode *operation* akan berlangsung ketika terjadi proses *makeup* dan *blowdown* secara berkelanjutan.

## 2.2 Temperatur cooling tower



**Gambar 2. Range dan approach temperatur cooling tower**

Pada cooling tower terdapat beberapa jenis temperatur diantaranya adalah temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) dan temperatur air keluar ( $T_{out}$ ), terdapat juga temperatur *wetbulb* ( $T_{wb}$ ) sebagai parameter temperatur dalam proses pendinginan *cooling tower*[5]. Semakin rendah temperatur air yang keluar maka semakin efektif kinerja pendinginan dari *cooling tower* dan semakin besar nilai *range* maka efektivitas pendinginan *cooling tower* semakin tinggi, begitu pula dengan *approach*. Dimana semakin kecil nilai *approach* maka kinerja pendinginan *cooling tower* semakin tinggi[10]. Berikut ini adalah rumus perhitungan dari temperatur yang ada pada *cooling tower*.

### 1. Range

Range adalah perbedaan dari temperatur air yang masuk dan keluar dari *cooling tower*. Rumus untuk mendapatkan nilai *range* adalah:

$$Range = T_{in} - T_{out} \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

$T_{in}$  = Temperatur air masuk

$T_{out}$  = Temperatur air keluar

### 2. Approach

Approach merupakan perbedaan dari temperatur air keluar dan temperatur *wet bulb*. Rumus untuk mendapatkan nilai *approach* adalah:

$$Approach = T_{out} - T_{wb} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

$T_{in}$  = Temperatur air masuk

$T_{wb}$  = Temperatur bola basah

### 3. Efisiensi pendinginan cooling tower

Efisiensi adalah variabel untuk melihat efektivitas *cooling tower* dalam mendinginkan air yang masuk. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi adalah:

$$(\eta) = \frac{range}{approach+range} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

$\eta$  = Efisiensi

Range =  $T_{in} - T_{out}$

Approach =  $T_{in} - T_{wb}$

### 2.3. Uji Asumsi Klasik

Uji ini dimaksudkan untuk menganalisis beberapa asumsi dari persamaan regresi yang dihasilkan valid untuk memprediksi. Menurut Santoso dalam analisis regresi terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi sehingga persamaan regresi yang dihasilkan akan valid jika digunakan untuk memprediksi[11]. Pembahasan mengenai asumsi-asumsi yang ada pada analisis regresi adalah sebagai berikut:

#### 1. Uji Multikolinearitas

Uji ini merupakan bentuk pengujian asumsi dalam analisis regresi berganda. Asumsi multikolinearitas menyatakan bahwa variabel independen harus terbebas dari gejala multikolinearitas. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan uji VIF.

#### 2. Uji Normalitas

Uji normalitas dimaksudkan untuk memastikan bahwa data yang akan dianalisis berdistribusi normal sebagai syarat analisis. Uji normalitas dalam analisis ini dilakukan dengan program SPSS yang menghasilkan gambar normal P-P Plot. Gambar yang dihasilkan menunjukkan sebaran titik-titik. Apabila sebaran titik-titik tersebut mendekati atau rapat pada garis lurus, maka dikatakan bahwa residual terdistribusi normal, namun apabila sebaran titik-titik tersebut menjauhi garis maka tidak terdistribusi normal.

#### 3. Uji Heterokedastisitas

Uji asumsi ini adalah asumsi dalam regresi dimana varian dari residual tidak sama untuk satu pengamatan yang lain. Gejala varian residual yang sama dari satu pengamatan yang lain disebut dengan homokedastisitas. Uji heterokedastisitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi terjadi ketidaksamaan varians dan residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Model regresi dikatakan terjadi heterokedastisitas jika data berpenjar di sekitar angka 0 pada sumbu Y dan tidak membentuk suatu pola atau tren tertentu. Peneliti menggunakan program SPSS agar lebih akurat hasilnya dan tidak rumit perhitungannya.

## 2.4. Analisa data regresi linear sederhana

Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode regresi linear sederhana. Menurut Sugiono uji regresi linear sederhana adalah pengujian terhadap data yang mana terdiri dari dua variabel, yaitu variabel independen dan variabel dependen, dimana variabel tersebut bersifat kausal[12].

Persamaan regresi linear sederhana adalah:

$$\hat{Y} = a + bx \dots\dots\dots (4)$$

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum y)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum y)^2} \dots\dots\dots (6)$$

- Y = Efisiensi pendinginan *cooling tower*
- X = Temperatur *out standby*
- a = Konstanta
- b = Angka arah koefisien regresi
- $\hat{Y}$  = y topi, nilai yang diprediksi

Dimana a konstanta (nilai Y apabila X = 0) b adalah koefisien regresi (taksiran perubahan nilai Y apabila X berubah nilai satu unit). kemudian Y variabel yang nilainya dipengaruhi variabel lain (dependen variabel) dan X variabel yang mempengaruhi nilai variabel lain (independen variabel)[13]. Rumus untuk mencari nilai a dan b dapat dilihat pada persamaan 5 dan 6.

## 2.5. Analisa data regresi linear berganda

Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode regresi linear berganda. Analisis regresi linear berganda adalah hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel independen dengan variabel dependen. Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dan variabel dependen berhubungan positif atau negatif dan memprediksi nilai dari variabel dependen apabila variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan.

Analisis regresi linear berganda dilakukan dengan cara menetapkan persamaan:

Persamaan regresi linear berganda adalah:

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum y)^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$\hat{b}_1 = \frac{(\sum x_1y)(\sum x_{22}) - (\sum x_2y)(\sum x_1x_2)}{(\sum x_{12})(\sum x_{22}) - (\sum x_1x_2)^2} \dots\dots\dots (9)$$

$$\hat{b}_2 = \frac{(\sum x_2 y) (\sum x_1^2) - (\sum x_1 y) (\sum x_1 x_2)}{(\sum x_1^2) (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

- Y = Efisiensi pendinginan cooling tower
- X<sub>1</sub> = Temperatur *out operation*
- X<sub>2</sub> = Temperatur intake
- a = Konstanta
- b = Angka arah koefisien regresi
- Ŷ = y topi, nilai yang diprediksi

## 2.6. Analisa pengujian

### 2.6.1. Uji parsial (Uji-t)

Menurut Ghozali uji t menunjukkan seberapa jauh pengaruh antara variabel independen dan dependen[14]. Apabila nilai probabilitas signifikan lebih kecil dari 0.05 (5%) maka suatu variabel independen berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Adapun kriterianya yaitu:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots (11)$$

Jika t<sub>hitung</sub> > t<sub>tabel</sub> maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>a</sub> diterima

Jika t<sub>hitung</sub> < t<sub>tabel</sub> maka H<sub>0</sub> diterima dan H<sub>a</sub> ditolak

Keterangan:

- t = Nilai dari t<sub>hitung</sub>
- r = Koefisien korelasi *pearson product moment*
- n = Banyak data
- H<sub>0</sub> = Hipotesis nol
- H<sub>a</sub> = Hipotesis alternatif

Koefisien korelasi (r) diperoleh dengan mengambil akar dari perbandingan antara total kuadrat variasi yang dapat dijelaskan dengan total kuadrat variasi keseluruhan. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$r = \frac{\sqrt{\sum(Y_c - \bar{Y})^2}}{\sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2}} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

- Y<sub>c</sub> = Taksiran (nilai Y yang ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi yang diperoleh)
- Ȳ = Y rata-rata
- Y = nilai Y aktual

Koefisien korelasi (r) menggambarkan tingkat keterkaitan antara dua variabel dengan nilai berkisar dari 0 hingga ±1. Jika nilai r antara dua variabel adalah 0,

maka tidak ada hubungan antara keduanya. Sebaliknya, jika nilai  $r$  mencapai  $\pm 1$ , artinya terdapat hubungan yang sempurna. Tanda negatif ( $-$ ) pada nilai  $r$  menunjukkan hubungan terbalik, di mana kenaikan pada satu variabel diikuti penurunan pada variabel lainnya. Sebaliknya, tanda positif ( $+$ ) menunjukkan hubungan searah, di mana kenaikan pada satu variabel akan diikuti kenaikan pada variabel lainnya. Semakin besar nilai koefisien korelasi (mendekati 1), semakin kuat hubungan antara dua variabel tersebut. Sebaliknya, semakin kecil nilai koefisien korelasi (mendekati 0), semakin lemah hubungan antar variabel. Sebagai contoh, jika koefisien korelasi antara dua variabel adalah 0,7, berarti terdapat hubungan searah dengan kekuatan hubungan sebesar 0,7 atau 70% [13].

### 2.6.2. Uji koefisien determinasi ( $R^2$ )

Menurut Ghozali tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari parameter (X) terhadap parameter (Y) [14]. Dimana pada hal ini temperatur lingkungan (X) terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* (Y). Nilai  $R^2$  menunjukkan seberapa besar proporsi dari total varian variabel tidak bebas yang dapat dijelaskan oleh variabel penjelasnya.

$$R^2 = \frac{SS_{reg}}{SS_{total}} \dots\dots\dots (13)$$

$$SS_{reg} = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots (14)$$

$$SS_{total} = \sum(Y_i - \bar{y})^2 \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:

$SS_{total}$  = Total Sum of Squares

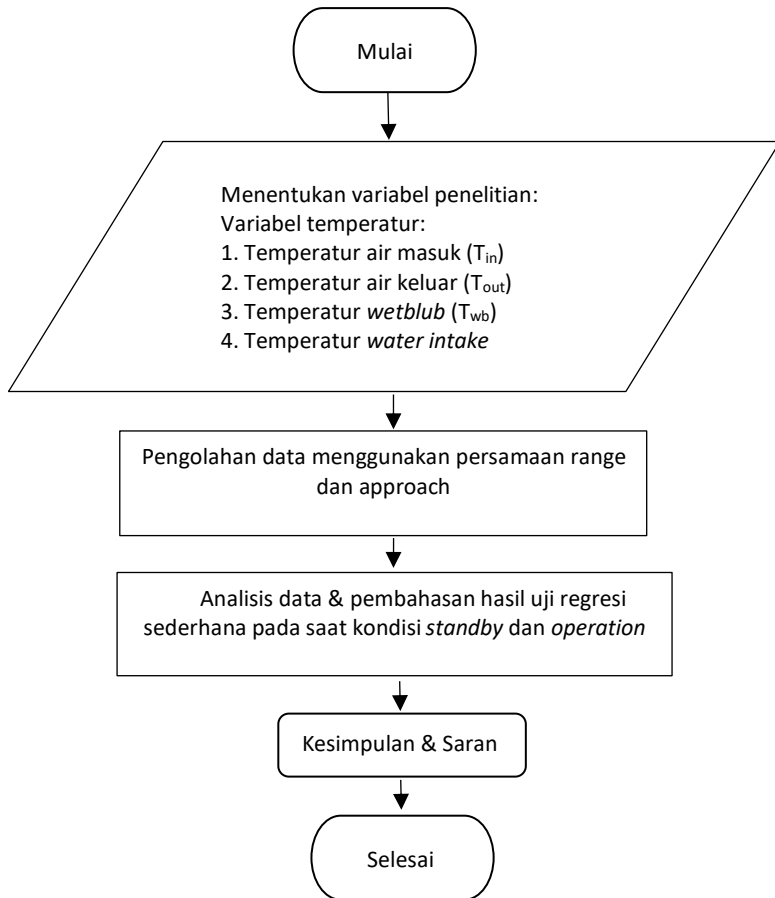
$SS_{reg}$  = Regression Sum of Squares

$\hat{y}_i$  = Nilai efisiensi haasil prediksi model regresi

$\bar{y}$  = rata-rata efisiensi

R square adalah sebuah nilai yang menunjukkan sejauh mana variabel independen (eksogen) berpengaruh terhadap variabel dependen (endogen). Nilai R square berada dalam rentang antara 0 hingga 1, yang mencerminkan besarnya pengaruh bersama variabel independen terhadap variabel dependen. R square ( $R^2$ ) digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh variabel laten independen terhadap variabel laten dependen. Nilai R square ini dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu kategori kuat, kategori sedang, dan kategori rendah [15]. R square atau koefisien determinasi merupakan ukuran yang menggambarkan sejauh mana variasi pada data dependen dapat dijelaskan oleh data independen. Nilai R square berada dalam kisaran 0 hingga 1, dan semakin mendekati angka satu berarti semakin baik model tersebut. Misalnya, jika R square bernilai 0,6, artinya 60% variasi pada variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen, sementara sisanya, yaitu 40%, tidak dapat dijelaskan oleh variabel independen dan dianggap sebagai komponen error. Apabila nilai R square rendah, maka komponen errornya lebih besar [14].

## Bab 3. Metodologi



**Gambar 3. Diagram proses penelitian**

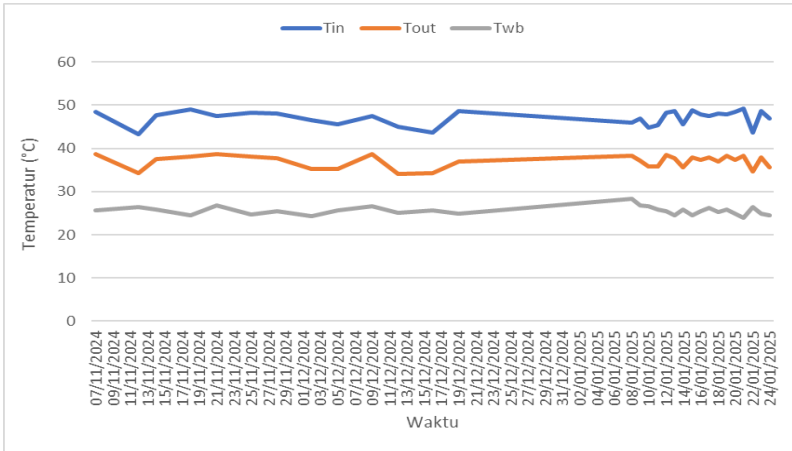
1. Langkah awal yang akan dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan melakukan observasi lapangan secara langsung untuk melihat dan mengamati permasalahan yang terjadi di sekitar pembangkit listrik setelah itu dilakukan studi literatur untuk memahami dan mencari sumber literatur terkait topik penelitian yang akan dikerjakan kemudian melakukan wawancara dengan

- beberapa tenaga kerja yang berpengalaman langsung di bidang pembangkit energi listrik.
2. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan variabel penelitian dari topik yang diambil, terdiri dari variabel temperatur input, output, *wetblub* dan *intake* untuk mendapatkan efisiensi proses pendinginan di *cooling* sebagai parameter dan perbandingan proses *standby* dan *operation*.
  3. Langkah selanjutnya adalah pengambilan data temperatur pada *cooling tower* di CCR dan langsung menggunakan *humidity* meter untuk *wetblub*, ketika pengambilan data sukses maka akan dilanjutkan dengan pengolahan data. Setelah data didapatkan akan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) untuk mendapatkan efisiensi pendinginan pada saat CWS dalam kondisi *standby* dan *operation*.
  4. Kemudian sesudah pengolahan data selesai dilakukan dilanjutkan dengan melakukan analisa untuk mencari apakah ada pengaruh ketika CWS dalam kondisi *standby* dan *operation* dan jika ada pengaruh nya akan dilihat seberapa besar pengaruh masing masing kondisi terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*. Pada proses analisa akan dilakukan dengan dua tahapan dikarnakan terdapat dua kondisi pada CWS. Untuk proses analisa pertama akan dilakukan untuk menganalisa ketika CWS dalam kondisi *standby* akan dilakukan uji regresi sederhana dengan persamaan (4), (5) dan (6) yang tujuannya untuk menguji hubungan antara dua variabel berbeda. Lalu dilanjutkan dengan proses uji parsial (Uji-t) untuk mengetahui seberapa signifikan pengaruh temperatur kondisi *standby* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* menggunakan persamaan (11). Proses analisa pada kondisi *standby* akan diakhiri dengan melakukan uji koefisien determinasi dengan menggunakan persamaan (12), (13) dan (14) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur kondisi *standby* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*. Untuk proses analisa kedua akan dilakukan untuk menganalisa ketika CWS dalam kondisi *operation*. Proses analisa akan diawali dengan uji asumsi klasik yang bertujuan untuk memastikan data yang digunakan valid dan dapat untuk digunakan untuk uji regresi berganda. Selanjutnya dilakukan proses analisa dua variabel independen dan satu variabel dependen dengan menggunakan uji regresi berganda yang analisisnya dapat dilihat pada persamaan (7), (8), (9) dan (10). Kemudian dilanjutkan dengan proses uji parsial (Uji-t) untuk mengetahui seberapa signifikan pengaruh temperatur kondisi *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* menggunakan persamaan (11). Proses analisa pada kondisi *operation* akan diakhiri dengan melakukan uji koefisien determinasi dengan menggunakan persamaan (13), (14) dan (15) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur kondisi *operation* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*.
  5. Setelah itu dilakukan analisis dan pembahasan dari data yang di dapatkan dan diakhiri dengan memberikan kesimpulan serta saran dari topik yang diangkat.

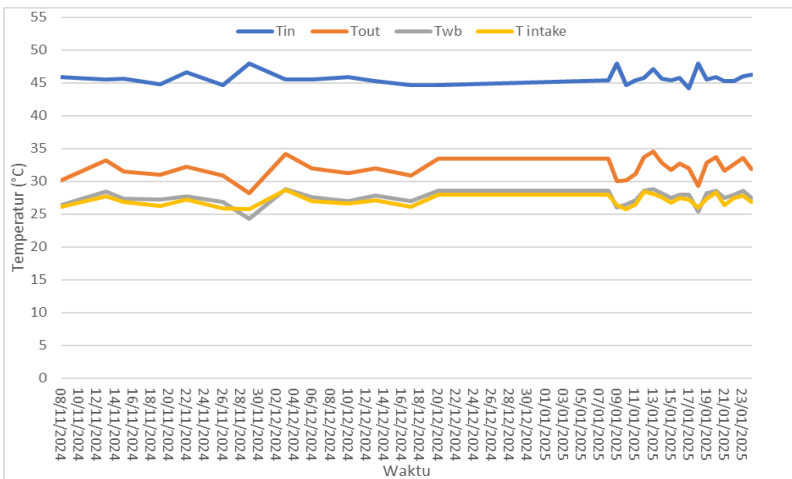
Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian deskriptif kuantitatif yang merupakan metode pengumpulan data yang kemudian akan di olah dan di analisa[16].Metode analisa yang digunakan pada data yang didapatkan adalah Uji T untuk mencari pengaruh pada variabel yang telah di tentukan. Proses pengumpulan data diperoleh melalui observasi langsung di lapangan untuk mengumpulkan data terkait *cooling tower* pada di PLTGU PT Mitra Energi Batam.

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil pengambilan dan pengolahan data



Gambar 4. Grafik pengambilan data mode standby

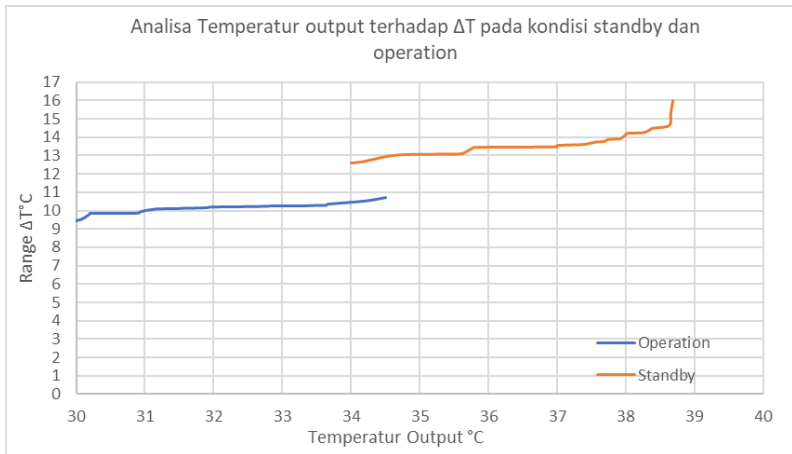


Gambar 5. Grafik pengambilan data mode operation

Pada gambar 4 dan 5 merupakan grafik penyebaran hasil pengumpulan data pada saat kondisi *standby* dan *operation* proses pengumpulan data dilakukan

secara bertahap dan sistematis selama 30 hari kerja. Data yang diambil meliputi parameter temperatur air masuk (*inlet*) dan air keluar (*outlet*) pada saat mode *standby* dan *operation* pada sistem CCR (*Control Central Room*). Selain itu, data temperatur lingkungan juga diambil secara langsung dari area *cooling tower* untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai kondisi temperatur di sekitar sistem pendinginan *cooling tower*. Seluruh data yang berhasil dikumpulkan selama periode tersebut telah dikumpulkan dan disusun dalam bentuk tabel agar memudahkan proses analisis lebih lanjut. Hasil dari pengumpulan data tersebut dapat dilihat secara rinci pada tabel 5 dan 6 pada lampiran. Kemudian hasil pengolahan data disajikan secara teratur dalam bentuk tabel untuk memudahkan proses analisa dan perbandingan antar data. Hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat secara lengkap pada tabel 7 dan 8 pada lampiran:

## 4.2. Perbandingan $\Delta T$ dan $T_{out}$ pada kondisi *standby* dan *operation*

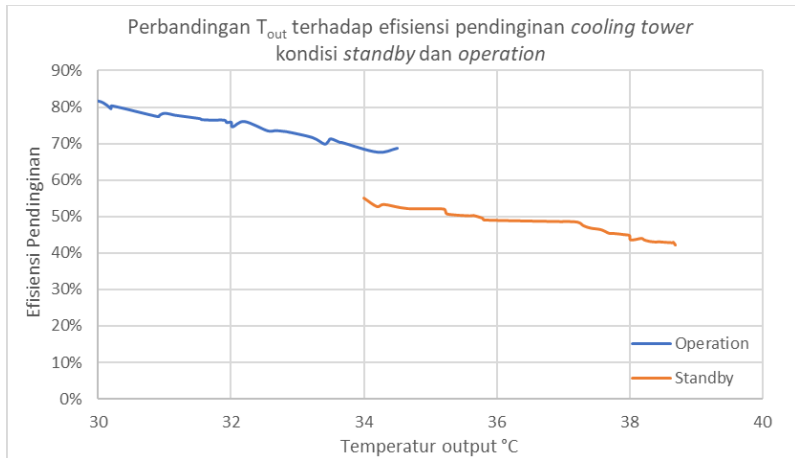


**Gambar 6. Perbandingan  $\Delta T$  dan  $T_{out}$  pada kondisi *standby* dan *operation***

Pada gambar 6 diatas merupakan hasil perbandingan antara temperatur  $\Delta T$  dan temperatur *output* pada saat kondisi *standby* dan *operation*. Tren biru menunjukkan grafik temperatur pada saat kondisi *operation* dan tren jingga menunjukkan grafik temperatur pada saat kondisi *standby*. Dapat dilihat bahwa pada kondisi *operation* nilai  $\Delta T$  dan temperatur *output* lebih rendah daripada kondisi *standby*. Hal tersebut dikarenakan pada saat kondisi *operation* air pada temperatur *output* bercampur dengan air yang berasal dari temperatur *intake* yang mengakibatkan terjadinya penurunan suhu yang lebih baik ketika kondisi *operation* berlangsung. Berbeda dengan kondisi *standby* yang temperatur *output*

nya tidak melalui proses penambahan air dari *water intake* sehingga temperatur  $\Delta T$  dan *output* nya cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *operation*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara temperatur *intake* terhadap penurunan temperatur  $\Delta T$  dan *output* pada *cooling tower* yang nantinya berdampak pada efisiensi pendinginan *cooling tower*.

### 4.3. Analisa Temperatur ouput terhadap efisiensi pendinginan cooling tower

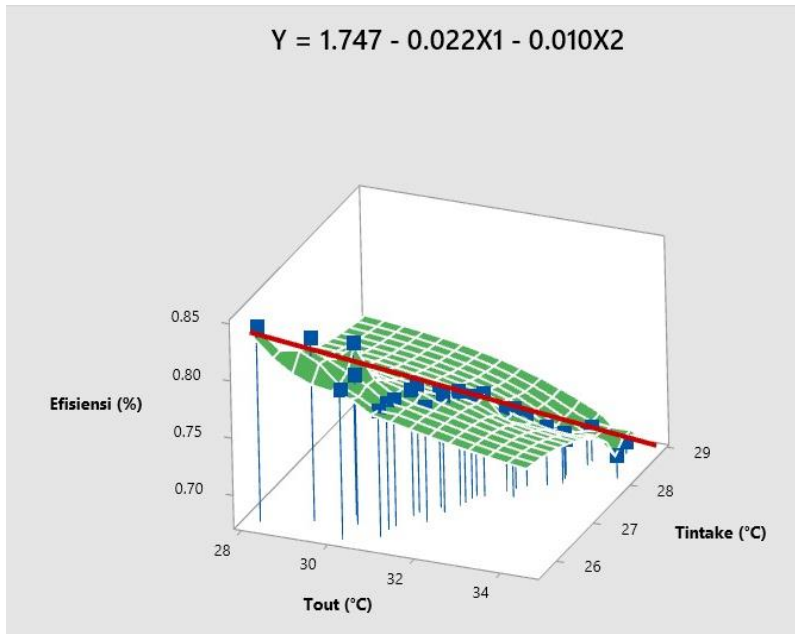


**Gambar 7. Grafik Perbandingan  $T_{out}$  terhadap efisiensi pendinginan cooling tower**

Grafik diatas memperlihatkan hubungan antara suhu air yang keluar dari cooling tower  $T_{out}$  dengan efisiensi pendinginan pada dua kondisi berbeda, yaitu saat *operation* (menyala) dan *standby* (siaga). Pada grafik, terlihat bahwa saat *cooling tower* dalam kondisi *operation*, efisiensinya lebih tinggi dibandingkan saat *standby*. Misalnya, saat  $T_{out}$  sekitar 31°C, efisiensinya sekitar 78%, dan naik hingga mendekati 80% saat  $T_{out}$  mencapai 34°C. Sedangkan pada kondisi *standby*, efisiensi awalnya hanya sekitar 50% dan turun perlahan menjadi sekitar 40% pada suhu 39°C, yang berarti *cooling tower* bekerja lebih efektif saat dalam kondisi *operation* dan mengalami penurunan efisiensi ketika *mode standby*, karena pada saat sistem dalam kondisi *operation* semua sistem pendingin berfungsi secara optimal untuk menurunkan suhu air dari sisi *water intake* (pengambilan air) maupun sisi *blowdown* (pembuangan air). Sementara pada kondisi *standby*, *cooling tower* hanya beroperasi secara pasif dikarenakan tidak ada

sumber air untuk melakukan proses pengisian dan pembuangan air pada *cooling tower*, sehingga kemampuan pendinginannya terbatas dan efisiensinya lebih rendah.

#### 4.4. Uji Analisis regresi linear berganda kondisi *operation*



**Gambar 8. Grafik analisis persamaan pada kondisi operation**

Analisis regresi linear berganda adalah hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel independen dengan variabel dependen. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dan variabel dependen berhubungan positif atau negatif dan untuk memprediksi nilai dari variabel dependen apabila variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan.

Analisis regresi linear berganda dilakukan dengan cara menetapkan persamaan  $\hat{Y} = a + b_1X_1 + X_1 + b_2X_2 + e$ . Hasil analisa regresi linear berganda dapat dilihat pada tabel 1 dan untuk analisis melalui grafik dapat dilihat pada gambar 8.

**Tabel 1. Hasil analisis regresi linear berganda kondisi operation**

<i>Coefficients<sup>a</sup></i>					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	1.747	.053		32.959	.000
Tout Op	-.022	.003	-.792	-8.900	.000
Tintake	-.010	.004	-.205	-2.305	.029

a. Dependent Variable: Efisiensi Pendinginan

Hasil persamaan regresi linear berganda diperoleh:

$$\hat{Y} = 1.747 - 0.022 X_1 - 0.010 X_2$$

Yang memiliki arti:

- Nilai konstanta a = 1.747 berarti jika temperatur *output* dan temperatur *intake* bernilai nol, maka efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 1.747
- Koefisien regresi X<sub>1</sub> (temperatur *output*) sebesar -0.022 menunjukkan setiap 1°C pada temperatur *output* akan menurunkan efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 0.022 satuan.
- Koefisien regresi X<sub>2</sub> (temperatur *intake*) sebesar -0.034 menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1°C pada temperatur *intake* akan menurunkan efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 0.010 satuan.

Hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa signifikansi untuk temperatur *output* dan temperatur *intake* adalah 0.000 dan 0.029 (<0.05), artinya kedua variabel tersebut berpengaruh terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*.

#### **4.4.1. Uji Parsial (Uji-t) kondisi operation**

Hasil uji t dapat dilihat pada tabel 1 dan diperoleh:

- Pengaruh X<sub>1</sub> (temperatur *output*) terhadap Y (efisiensi pendinginan)  
Diketahui nilai sig 0.00 < 0.05 dan nilai t<sub>hitung</sub> 8.900 dengan t<sub>tabel</sub> sebesar 1.69 sehingga dapat disimpulkan bahwa H<sub>1</sub> diterima yang berarti terdapat pengaruh antara variabel X<sub>1</sub> terhadap variabel Y.
- Pengaruh X<sub>2</sub> (temperatur *intake*) terhadap Y (efisiensi pendinginan)  
Diketahui nilai sig 0.00 < 0.05 dan nilai t<sub>hitung</sub> 2.305 dan t<sub>tabel</sub> sebesar 1.69 sehingga dapat disimpulkan bahwa H<sub>2</sub> diterima yang berarti terdapat pengaruh antara variabel X<sub>2</sub> terhadap variabel Y.

#### 4.4.2. Uji koefisien determinasi kondisi *operation*

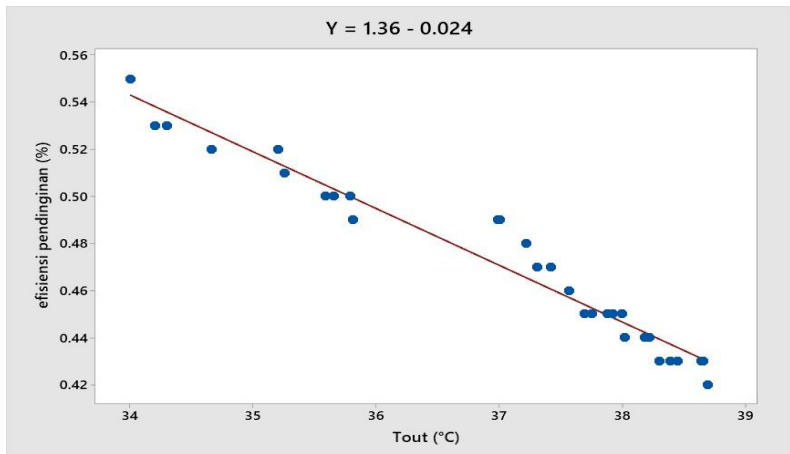
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh temperatur *output* dan temperatur intake terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* ketika kondisi *operation* maka dilakukan perhitungan statistik dengan menggunakan koefisien determinasi.

**Tabel 2. Koefisien determinasi kondisi *operation***

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.987 <sup>a</sup>	.973	.971	.00711

Dari tabel diatas menjelaskan bahwa besar nilai hubungan (R) yaitu 0.987. Dari output tersebut diperoleh koefisien determinasi (R Square) sebesar 0.973 atau 97,3%. Dengan demikian disimpulkan bahwa besar pengaruh variabel independen (temperatur *output* dan temperatur *intake*) terhadap variabel dependen (efisiensi pendinginan *cooling tower*) 97,3%.

#### 4.5. Uji Analisis regresi linear sederhana kondisi *standby*



**Gambar 9 Grafik analisis persamaan pada kondisi *standby***

Penelitian yang dilakukan menggunakan analisis regresi linear sederhana untuk memprediksi seberapa besar hubungan temperatur *output* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*. Perhitungan uji yang dilakukan dengan bantuan SPSS. Adapun hasil dari uji analisis regresi linear sederhana dapat dilihat pada tabel 3:

**Tabel 3. Hasil uji analisis regresi linear sederhana kondisi standby**

Coefficients <sup>a</sup>					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	1.36	.037		36.988	.000
	-.024	.001	-.977	-24.183	.000

Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai constant (a) sebesar 1,36, sedangkan nilai temperatur sebesar -.024. Dari hasil tersebut dapat dimasukkan dalam persamaan regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + Bx$$

$$\hat{Y} = 1.36 - 0.024X$$

Hasil persamaan diatas dapat diterjemahkan konstanta sebesar 1.360 yang mengandung arti bahwa nilai konsistensi variabel efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 1.36 koefisiensi regresi X sebesar -0.024 yang menyatakan bahwa penambahan (1) satuan nilai temperatur *output* maka efisiensi pendinginan *cooling tower* akan berkurang sebesar -0.024. Koefisien regresi tersebut bernilai negatif, sehingga dapat dinyatakan bahwa ada pengaruh temperatur *output* (variabel X) terhadap pendinginan *cooling tower* (variabel Y) adalah negatif artinya semakin tinggi nilai temperatur *out* maka efisiensi pendinginan *cooling tower* akan menurun. Dan berdasarkan nilai signifikansi yang diperoleh dari tabel diatas sebesar  $0.000 < 0.05$  dapat disimpulkan bahwa temperatur *output* berpengaruh terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.

#### 4.5.1. Uji Parsial (Uji-t) kondisi *standby*

Pada tabel 3 diketahui nilai t hitung sebesar 24.183 lebih besar dari nilai t tabel sebesar 1.69 (dapat dilihat pada lampiran) dengan signifikansi  $0.00 < 0.05$ . Dapat diambil kesimpulan bahwa temperatur *output* berpengaruh positif dan signifikansi

terhadap pendinginan *cooling tower* karena nilai  $t$  hitung  $>$   $t$  tabel dan nilai signifikansi lebih kecil dari 0.05 sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima. Sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur *output* memiliki pengaruh terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*.

#### 4.5.2. Uji koefisien Determinasi kondisi *standby*

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh  $T_{out}$  ketika *circulating water sistem* dalam kondisi *standby* terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*, dilakukan perhitungan statistik dengan menggunakan koefisien determinasi dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4:

**Tabel 4. Koefisien determinasi kondisi *standby***

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.977 <sup>a</sup>	.954	.953	.00800

Dari tabel diatas menjelaskan bahwa besar nilai hubungan (R) yaitu 0.977. Dari *output* tersebut diperoleh koefisien determinasi (R Square) sebesar 0.954 atau 95,4%. Dengan demikian disimpulkan bahwa terdapat pengaruh variabel independen ( $T_{out}$  dalam basin *cooling tower*) terhadap variabel dependen (efisiensi pendinginan *cooling tower*) sebesar 95,4%.

## Bab 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi *standby* temperatur *output* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* hal tersebut didukung dengan hasil analisa persamaan  $\hat{Y} = 1.36 - 0.24X$  yang berarti variabel efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 1.36 dimana penambahan (1) satuan nilai temperatur *output* maka pendinginan *cooling tower* akan berkurang sebesar -0.24. Koefisien regresi tersebut bernilai positif, sehingga dapat dinyatakan bahwa ada pengaruh temperatur *output* terhadap pendinginan *cooling tower* adalah negatif yang artinya semakin tinggi nilai  $T_{out}$  maka efisiensi pendinginan akan menurun. Berdasarkan nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0.000 < 0.05$  dapat disimpulkan bahwa temperatur *output* berpengaruh terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower* dan besar pengaruhnya adalah 95,4% menunjukkan bahwa efisiensi pendinginan *cooling tower* dipengaruhi oleh  $T_{out}$  dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti kondisi alat dan kualitas kandungan air.
2. Pada kondisi *operation* persamaan yang didapatkan dari uji linear berganda adalah  $\hat{Y} = 1.747 - 0.022 X_1 - 0.010 X_2$  yang berarti jika temperatur *output* dan temperatur intake bernilai nol, maka efisiensi pendinginan *cooling tower* sebesar 1.747. Nilai dari  $X_1$  ( $T_{out}$ ) sebesar -0,022 menunjukkan setiap 1°C pada temperatur *output* akan menurunkan efisiensi *cooling tower* sebesar 0,022 satuan dan pada nilai  $X_2$  ( $T_{intake}$ ) sebesar -0,034 menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1°C pada temperatur *intake* akan menurunkan efisiensi sebesar 0,010 satuan. Dan dari hasil uji signifikansi 0,000 dan 0,029(<0,05) dapat disimpulkan bahwa temperatur *output* dan temperatur *water intake* yang bercampur di basin *cooling tower* berpengaruh terhadap efisiensi pendinginan *cooling tower*. Dari hasil koefisien determinasi dapat ditarik kesimpulan bahwa besar pengaruh temperatur *out* dan temperatur *intake* terhadap variabel dependen (efisiensi pendinginan *cooling tower*) 97,3% dan sisanya dipengaruhi hal lain seperti kondisi alat dan kandungan air.

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan dan analisis data yang telah dilakukan saran yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Dilakukannya *overhaul* pada *cooling tower* untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi nya untuk mendinginkan air dari kondensor

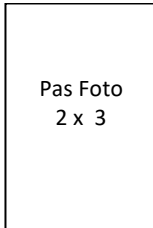
2. Mengoptimalkan *water intake* sebagai sumber untuk sistem sirkulasi air pada *cooling tower* seperti membuat pintu air untuk mencegah sumbar air mengalami penyurutan.

## Daftar Pustaka

- [1] M. Alfian, L. O. A. Barata, and N. M. Meliana, "Sistem Pendingin Pada Induced Draft Counter flow Cooling Tower," *Piston J. Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 29–34, Dec. 2022, doi: 10.55679/pistonjt.v7i2.13.
- [2] S. Distefano, "The standby engineering: classification and quantification of standby in reliability," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 2, no. 4, pp. 333–341, Dec. 2011, doi: 10.1007/s13198-012-0086-9.
- [3] I. Dhamayanthie and Y. Mulyani, "THE EFFECT OF TEMPERATURE AND WATER CONDUCTIVITY IN HOT BASIN TOWARD EFFECTIVENESS OF COOLING TOWER ON UTILITY UNIT PT. X," *J. Green Sci. Technol.*, vol. 7, no. 1, Aug. 2023, doi: 10.33603/jgst.v7i1.11.
- [4] A. F. A. Fauzan, R. T. Arifien, D. M. Kamal, I. Silanegara, and M. Adhi, "ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR AIR PENDINGIN TERHADAP KINERJA DAN EFISIENSI TURBIN UAP DI PLTP UNIT 1 DIENG".
- [5] A. Muhsin and Z. Pratama, "ANALISIS EFEKTIVITAS MESIN COOLING TOWER MENGGUNAKAN RANGE AND APPROACH," *OPSI*, vol. 11, no. 2, p. 119, Dec. 2018, doi: 10.31315/opsi.v11i2.2552.
- [6] R. Rahman and A. Mursadin, "ANALISIS KINERJA COOLING TOWER MENGGUNAKAN METODE RANGE DAN APPROACH DI PLTU ASAM-ASAM," *JTAM ROTARY*, vol. 4, no. 2, p. 129, Sep. 2022, doi: 10.20527/jtam\_rotary.v4i2.6411.
- [7] P. Ahluriza and N. Sinaga, "REVIEW PENGARUH RANGE DAN APPROACH TERHADAP EFEKTIVITAS COOLING TOWER UNIT 2 DI PT. INDONESIA POWER KAMOJANG," 2021.
- [8] W. Gao and X. Feng, "The power target of a fluid machinery network in a circulating water system," *Appl. Energy*, vol. 205, pp. 847–854, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.024.
- [9] J. E. Hartanto and M. Tamjidillah, "ANALISA PENGOPERASIAN 1 CWP DAN 2 CWP PADA COOLING WATER SYSTEM PLTU ASAM ASAM UNIT 4," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 4, no. 2, pp. 37–52, Dec. 2019, doi: 10.20527/sjme kinematika.v4i2.111.
- [10] Mutiara Ghinaul Qalbi, Budi Suharto, and Sri Wuryanti, "Analisis Efektivitas Cooling Tower Sebelum dan Sesudah Pergantian Filler Pack," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 394–399, Jun. 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7326.
- [11] S. Santoso, *Buku Latihan Statistik Parametrik*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2005.

- [12] Sugiyono, *METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF DAN R&D*. Bandung: ALFABETA, 2013.
- [13] N. S.Pd.Si., M.Pd, T. Dewi Astuti, SE., M.Si, Ak., CA., CTA, E. Sri Utami, SE., M.Si., Ak., CA, and M. Budiantara, SE., M.Si., Ak., CA, *DASAR - DASAR STATISTIK PENELITIAN*. Ngringinan, Palbapang, Bantul, Bantul, Yogyakarta: SIBUKU MEDIA, 2017.
- [14] I. Ghozali, "Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 20," *Badan Penerbit Univ. Diponegoro*, vol. 3, no. 1, p. 98, 2016.
- [15] J. Hair, W. Black, B. Babin, and R. Anderson, "Multivariate Data Analysis," *Prentice-Hall*, 2010.
- [16] M. M. Ali, T. Hariyati, M. Y. Pratiwi, and S. Afifah, "Metodologi Penelitian Kuantitatif Dan Penerapan Nya Dalam Penelitian," *Educ. J.*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [17] F. Company, "Fluke 971: Temperature Humidity Meter," Commercial, 2025. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/en-gb/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-971>

## Biodata



Nama : Willfred Joshua Purba  
TTL : 02 Januari 2002  
Agama : Kristen Protestan  
Alamat : Prum Aviari Garden 1 Blok J2 No2  
Email : willfredjoshua700@gmail.com  
Riwayat Pendidikan SMA/SMK : SMKN 1 Batam  
SMP : SMP Tunas Baru

# Lampiran

## Lampiran pengambilan data humidity



## Lampiran tabel t

Pr df	0.25 0.50	0.10 0.20	0.05 0.10	0.025 0.050	0.01 0.02	0.005 0.010	0.001 0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712

<b>Pr df</b>	<b>0.25 0.50</b>	<b>0.10 0.20</b>	<b>0.05 0.10</b>	<b>0.025 0.050</b>	<b>0.01 0.02</b>	<b>0.005 0.010</b>	<b>0.001 0.002</b>
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21	0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22	0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23	0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24	0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25	0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26	0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27	0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28	0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816
29	0.68304	1.31143	1.69913	2.04523	2.46202	2.75639	3.39624
30	0.68276	1.31042	1.69726	2.04227	2.45726	2.75000	3.38518
31	0.68249	1.30946	1.69552	2.03951	2.45282	2.74404	3.37490
32	0.68223	1.30857	1.69389	2.03693	2.44868	2.73848	3.36531
33	0.68200	1.30774	1.69236	2.03452	2.44479	2.73328	3.35634
34	0.68177	1.30695	1.69092	2.03224	2.44115	2.72839	3.34793
35	0.68156	1.30621	1.68957	2.03011	2.43772	2.72381	3.34005
36	0.68137	1.30551	1.68830	2.02809	2.43449	2.71948	3.33262

<b>Pr df</b>	<b>0.25 0.50</b>	<b>0.10 0.20</b>	<b>0.05 0.10</b>	<b>0.025 0.050</b>	<b>0.01 0.02</b>	<b>0.005 0.010</b>	<b>0.001 0.002</b>
<b>37</b>	0.68118	1.30485	1.68709	2.02619	2.43145	2.71541	3.32563
<b>38</b>	0.68100	1.30423	1.68595	2.02439	2.42857	2.71156	3.31903
<b>39</b>	0.68083	1.30364	1.68488	2.02269	2.42584	2.70791	3.31279
<b>40</b>	0.68067	1.30308	1.68385	2.02108	2.42326	2.70446	3.30688

## Lampiran tabel pengumpulan data

Tabel 5. Hasil pengambilan data saat mode standby

<b>Tin0</b>	<b>Tout</b>	<b>Twb</b>
48.4°C	38.66°C	25.7°C
43.2°C	34.3°C	26.5°C
47.66°C	37.57°C	25.9°C
49°C	38.18°C	24.4°C
47.5°C	38.64°C	26.8°C
48.3°C	38.02°C	24.7°C
48°C	37.75°C	25.4°C
46.5°C	35.25°C	24.3°C
45.5°C	35.2°C	25.7°C
47.5°C	38.69°C	26.6°C
45°C	34°C	25°C
43.66°C	34.2°C	25.7°C
48.55°C	37°C	24.8°C
46°C	38.39°C	28.3°C
47°C	37.22°C	26.8°C
44.79°C	35.79°C	26.6°C
45.44°C	35.81°C	25.8°C
48.23°C	38.45°C	25.5°C
48.66°C	37.69°C	24.5°C
45.5°C	35.65°C	25.9°C
48.9°C	37.92°C	24.5°C

<b>Tin0</b>	<b>Tout</b>	<b>Twb</b>
47.9°C	37.42°C	25.5°C
47.4°C	37.88°C	26.3°C
48.12°C	36.99°C	25.2°C
47.8°C	38.3°C	25.8°C
48.5°C	37.31°C	24.9°C
49.2°C	38.22°C	24°C
43.66°C	34.66°C	26.4°C
48.7°C	38°C	24.8°C
46.85°C	35.59°C	24.4°C

**Tabel 6. Hasil pengambilan data saat mode operation**

<b>Tin</b>	<b>Tout</b>	<b>Twb</b>	<b>Tintake</b>
45.88°C	30.2°C	26.4°C	26.1°C
45.49°C	33.22°C	28.4°C	27.7°C
45.66°C	31.53°C	27.3°C	26.8°C
44.82°C	31.0°C	27.2°C	26.2°C
46.59°C	32.2°C	27.7°C	27.2°C
44.68°C	30.9°C	26.9°C	25.9°C
47.99°C	28.2°C	24.3°C	25.8°C
45.56°C	34.2°C	28.8°C	28.7°C
45.56°C	31.93°C	27.6°C	27.0°C
45.92°C	31.2°C	27.0°C	26.6°C
45.28°C	32.0°C	27.8°C	27.1°C
44.72°C	30.92°C	27.0°C	26.1°C
44.6°C	33.4°C	28.6°C	28.0°C
45.44°C	33.46°C	28.5°C	27.9°C
47.95°C	30.0°C	26.0°C	26.3°C
44.66°C	30.19°C	26.5°C	25.7°C
45.44°C	31.15°C	27.1°C	26.5°C

Tin	Tout	Twb	Tintake
45.72°C	33.66°C	28.6°C	28.4°C
47.1°C	34.5°C	28.8°C	28.1°C
45.62°C	32.84°C	28.2°C	27.6°C
45.42°C	31.7°C	27.5°C	26.7°C
45.75°C	32.67°C	28.0°C	27.5°C
44.2°C	32.02°C	27.9°C	27.2°C
47.9°C	29.28°C	25.4°C	26.0°C
45.48°C	32.78°C	28.2°C	27.3°C
45.88°C	33.64°C	28.5°C	28.3°C
45.22°C	31.55°C	27.4°C	26.4°C
45.24°C	32.55°C	28.0°C	27.4°C
46.0°C	33.5°C	28.5°C	27.8°C
46.25°C	31.9°C	27.5°C	26.9°C

## Lampiran tabel pengolahan data

**Tabel 7. Hasil pengolahan data mode standby**

Tin	Tout	Twb	Range	Approach	Eff
48.4°C	38.66°C	25.7°C	9.74°C	12.96°C	43%
43.2°C	34.3°C	26.5°C	8.9°C	7.8°C	53%
47.66°C	37.57°C	25.9°C	10.09°C	11.67°C	46%
49°C	38.18°C	24.4°C	10.82°C	13.78°C	44%
47.5°C	38.64°C	26.8°C	8.86°C	11.84°C	43%
48.3°C	38.02°C	24.7°C	10.28°C	13.32°C	44%
48°C	37.75°C	25.4°C	10.25°C	12.35°C	45%
46.5°C	35.25°C	24.3°C	11.25°C	10.95°C	51%
45.5°C	35.2°C	25.7°C	10.3°C	9.5°C	52%
47.5°C	38.69°C	26.6°C	8.81°C	12.09°C	42%
45°C	34°C	25°C	11°C	9°C	55%

Tin	Tout	Twb	Range	Approach	Eff
43.66°C	34.2°C	25.7°C	9.46°C	8.5°C	53%
48.55°C	37°C	24.8°C	11.55°C	12.2°C	49%
46°C	38.39°C	28.3°C	7.61°C	10.09°C	43%
47°C	37.22°C	26.8°C	9.78°C	10.42°C	48%
44.79°C	35.79°C	26.6°C	9°C	9.19°C	49%
45.44°C	35.81°C	25.8°C	9.63°C	10.01°C	49%
48.23°C	38.45°C	25.5°C	9.78°C	12.95°C	43%
48.66°C	37.69°C	24.5°C	10.97°C	13.19°C	45%
45.5°C	35.65°C	25.9°C	9.85°C	9.75°C	50%
48.9°C	37.92°C	24.5°C	10.98°C	13.42°C	45%
47.9°C	37.42°C	25.5°C	10.48°C	11.92°C	47%
47.4°C	37.88°C	26.3°C	9.52°C	11.58°C	45%
48.12°C	36.99°C	25.2°C	11.13°C	11.79°C	49%
47.8°C	38.3°C	25.8°C	9.5°C	12.5°C	43%
48.5°C	37.31°C	24.9°C	11.19°C	12.41°C	47%
49.2°C	38.22°C	24°C	10.98°C	14.22°C	44%
43.66°C	34.66°C	26.4°C	9°C	8.26°C	52%
48.7°C	38°C	24.8°C	10.7°C	13.2°C	45%
46.85°C	35.59°C	24.4°C	11.26°C	11.19°C	50%

**Tabel 8. Hasil pengolahan data mode operation**

Tin	Tout	Twb	Range	Approach	Eff
45.88°C	30.2°C	26.4°C	15.68°C	3.8°C	80%
45.49°C	33.22°C	28.4°C	12.27°C	4.82°C	72%
45.66°C	31.53°C	27.3°C	14.13°C	4.23°C	77%
44.82°C	31.0°C	27.2°C	13.82°C	3.8°C	78%
46.59°C	32.2°C	27.7°C	14.39°C	4.5°C	76%
44.68°C	30.9°C	26.9°C	13.78°C	4.0°C	78%
47.99°C	28.2°C	24.3°C	19.79°C	3.9°C	84%

Tin	Tout	Twb	Range	Approach	Eff
45.56°C	34.2°C	28.8°C	11.36°C	5.4°C	68%
45.56°C	31.93°C	27.6°C	13.63°C	4.33°C	76%
45.92°C	31.2°C	27.0°C	14.72°C	4.2°C	78%
45.28°C	32.0°C	27.8°C	13.28°C	4.2°C	76%
44.72°C	30.92°C	27.0°C	13.8°C	3.92°C	78%
44.6°C	33.4°C	28.6°C	11.2°C	4.8°C	70%
45.44°C	33.46°C	28.5°C	11.98°C	4.96°C	71%
47.95°C	30.0°C	26.0°C	17.95°C	4.0°C	82%
44.66°C	30.19°C	26.5°C	14.47°C	3.69°C	80%
45.44°C	31.15°C	27.1°C	14.29°C	4.05°C	78%
45.72°C	33.66°C	28.6°C	12.06°C	5.06°C	70%
47.1°C	34.5°C	28.8°C	12.6°C	5.7°C	69%
45.62°C	32.84°C	28.2°C	12.78°C	4.64°C	73%
45.42°C	31.7°C	27.5°C	13.72°C	4.2°C	77%
45.75°C	32.67°C	28.0°C	13.08°C	4.67°C	74%
44.2°C	32.02°C	27.9°C	12.18°C	4.12°C	75%
47.9°C	29.28°C	25.4°C	18.62°C	3.88°C	83%
45.48°C	32.78°C	28.2°C	12.7°C	4.58°C	73%
45.88°C	33.64°C	28.5°C	12.24°C	5.14°C	70%
45.22°C	31.55°C	27.4°C	13.67°C	4.15°C	77%
45.24°C	32.55°C	28.0°C	12.69°C	4.55°C	74%
46.0°C	33.5°C	28.5°C	12.5°C	5.0°C	71%
46.25°C	31.9°C	27.5°C	14.35°C	4.4°C	77%