

**ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU UP  
TENAYAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana  
Strata Satu (S1) Teknik Pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam  
Riau**



Disusun oleh:

**IRFAN HABIBI HARAHAHAP**

**213310520**

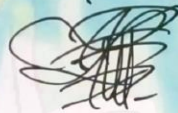
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**2026**

HALAMAN PERSETUJUAN  
TUGAS AKHIR

ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU  
UP TENAYAN

Oleh



IRFAN HABIBI HARAHAP

213310520

Disetujui dan diperiksa oleh:

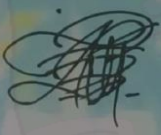
Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T  
NIDN : 1008057102

  
Tanggal: 04 Februari 2026

LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU  
UP TENAYAN

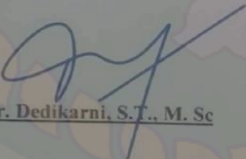
Oleh



IRFAN HABIBI HARAHAHAP  
213310520

Disetujui dan diperiksa oleh:

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| KETUA PROGRAM STUDI<br>TEKNIK MESIN | PEMBIMBING |
|-------------------------------------|------------|

  
Dr. Dedikarni, S.T., M. Sc

  
Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T

**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Irfan Habibi Harahap

NPM : 213310520

Fakultas/Prodi : Teknik/Program Studi Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING  
TOWER PLTU UP TENAYAN

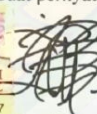
Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan, maupun dari data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat tanpa ada paksaan dari pihak manapun

Pekanbaru, 04 Februari 2026

Yang membuat pernyataan,

  
  
Irfan Habibi Harahap  
213310520

## BIODATA



Penulis dilahirkan di Pekanbaru, 21 Agustus 2002 merupakan anak ke 3 (tiga) dari 5 (lima) bersaudara, penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 111 Pekanbaru, MTs Darel Hikmah dan MAN 1 Pekanbaru. Setelah lulus dari MAN 1 pada tahun 2021 penulis melanjutkan kuliah di Universitas Islam Riau dengan mengambil Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021 dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan nomor pokok mahasiswa (NPM) 21310520.

Di program studi teknik mesin penulis mengambil bidang studi Material. penulis aktif dalam kegiatan internal maupun eksternal kampus, pada penulisan Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa Syukur yang sebesar-besarnya atas terselesainya skripsi yang berjudul “ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU UP TENAYAN”.

## KATA PENGANTAR



### **Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul **“ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU TENAYAN”** dengan baik sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata 1 (S1) Teknik Mesin. Sholawat serta salam senantiasa selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Kedua Orang tua tercinta yakni Bapak dan Ibu yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moril maupun materil.

1. Dr. Ir. Dedikarni, S.T., M.Sc, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin di Universitas Islam Riau.
2. Ir. Ari Prasetyo, S.T., M.Eng selaku Sekertaris Program Studi Teknik Mesin di Universitas Islam Riau.
3. Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir di Universitas Islam Riau.
4. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin di Universitas Islam Riau yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
5. Kepada alumni Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan waktu dan ilmunya kepada saya.
6. Rekan - rekan seperjuangan yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam pembuatan Skripsi.



Akhir kata, dengan segala penuh harapan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis sendiri khususnya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu menyempurnakan proposal ini.

**Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakuh**

Pekanbaru, 03 Januari 2026

Irfan Habibi Harahap  
213310520



## DAFTAR ISI

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>BIODATA .....</b>                       | <b>ii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                    | <b>v</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>             | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang .....                   | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                  | 2          |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                | 3          |
| 1.4 Batasan Masalah .....                  | 3          |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....            | 3          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>       | <b>5</b>   |
| 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....    | 5          |
| 2.2 Cooling Tower .....                    | 6          |
| 2.2.1 Fungsi Cooling Tower .....           | 7          |
| 2.2.2 Prinsip Kerja Cooling Tower .....    | 8          |
| 2.3 Pipa Cooling Tower .....               | 8          |
| 2.4 Pipa DN150 .....                       | 9          |
| 2.5 Korosi .....                           | 11         |
| 2.7 Uji Kekerasan .....                    | 13         |
| 2.6 X-Ray Fluorescence (XRF) .....         | 13         |
| 2.8 Uji Ketebalan .....                    | 14         |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b> | <b>15</b>  |
| 3.1 Diagram Alir .....                     | 15         |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....      | 16         |
| 3.3 Alat dan Bahan .....                   | 16         |
| 3.3.1 Alat .....                           | 16         |
| 3.3.2 Bahan .....                          | 20         |
| 3.4 Persiapan Pengujian .....              | 20         |
| 3.5 Pengujian .....                        | 21         |

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1. Pengujian kekerasan.....                    | 21        |
| 3.5.2. Pengamatan Ketebalan Pipa.....              | 21        |
| 3.5.3. Komposisi Pipa .....                        | 21        |
| 3.6. Jadwal Kegiatan Penelitian.....               | 26        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>                      | <b>27</b> |
| 4.1. Data Uji Komposisi Pipa.....                  | 27        |
| 4.2. Data Uji Ketebalan Pipa .....                 | 31        |
| 4.3. Data Uji Kekerasan ( <i>Hardness</i> ) .....  | 32        |
| 4.4. Data Uji Kimia Air <i>Cooling Tower</i> ..... | 34        |
| <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>                      | <b>38</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....                              | 38        |
| 5.2. Saran.....                                    | 39        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                         | <b>40</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                               | <b>43</b> |

# ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU UP TENAYAN

*Irfan Habibi Harahap\*, Kurnia Hastuti*

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru Telp. 0761

– 674635 Fax. (0761) 674834

Email : irfanhabibiharahap@student.uir.ac.id

## ABSTRAK

Bertujuan untuk menganalisis mekanisme kerusakan material pipa cooling tower DN150 pada sistem pendingin PLTU UP Tenayan Raya. Metode yang digunakan meliputi pengujian komposisi material menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF), pengukuran ketebalan pipa, uji kekerasan Rockwell (HRB), serta analisis data operasional kualitas air cooling tower periode Juli 2025. Hasil uji XRF menunjukkan bahwa material pipa merupakan baja karbon (carbon steel) dengan kandungan Fe  $\pm 99\%$  serta unsur paduan minor Mn dan Si. Pada pipa terpakai teridentifikasi penurunan unsur protektif seperti Mn, Si, dan Mo yang mengindikasikan degradasi permukaan akibat lingkungan operasi.

Pengukuran ketebalan menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 1,79 mm atau sekitar 17,84% dari ketebalan awal. Uji kekerasan menunjukkan penurunan dan ketidakseragaman nilai HRB pada pipa terpakai yang menandakan degradasi sifat mekanik. Data kualitas air menunjukkan nilai konduktivitas, TDS, TSS, turbidity, dan silika yang tinggi sehingga menciptakan lingkungan korosif dan mendukung terjadinya scaling, fouling, serta erosion–corrosion. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, disimpulkan bahwa mekanisme utama kerusakan pipa cooling tower adalah kombinasi korosi lokal (under-deposit corrosion), erosi akibat partikel tersuspensi, dan pembentukan kerak, bukan disebabkan oleh cacat manufaktur material.

**Kata Kunci :** Cooling tower, pipa, korosi, erosion–corrosion, XRF, kekerasan Rockwell, kualitas air



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi panas hasil pembakaran bahan bakar seperti batubara, minyak bumi, atau biomassa, untuk menghasilkan uap air bertekanan tinggi. Uap ini kemudian digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Proses kerja PLTU dimulai dari pembakaran bahan bakar di dalam boiler untuk memanaskan air hingga menjadi uap. Uap tersebut mengalir ke turbin dan menyebabkan poros turbin berputar. Putaran ini diteruskan ke generator yang kemudian menghasilkan arus listrik. Setelah digunakan, uap dialirkan ke kondensor untuk didinginkan dan dikembalikan menjadi air, lalu digunakan kembali dalam proses yang sama. PLTU banyak digunakan di Indonesia karena ketersediaan batubara yang melimpah serta biaya operasional yang relatif rendah dibandingkan jenis pembangkit lainnya (Khaerullah, 2020).

Cooling tower atau menara pendingin merupakan alat bantu dalam sistem pendinginan terbuka, yaitu metode mendinginkan air dengan memanfaatkan udara sebagai media penukar panas. Air bersuhu tinggi yang bersentuhan dengan udara yang dihisap oleh kipas pada cooling tower akan mengalami proses pertukaran panas, di mana panas dari air berpindah ke udara. Seiring air mengalir ke bawah, suhu air akan berangsur-angsur menurun hingga mencapai suhu yang diinginkan, sementara udara yang menerima panas akan mengalami kenaikan suhu dan keluar melalui cerobong atas menara pendingin. Sebelum digunakan dalam proses pendinginan, air tersebut umumnya melalui proses pengolahan terlebih dahulu di unit *Water Treatment Plant (WTP)* untuk menghilangkan kandungan mineral yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada peralatan, seperti korosi. Dengan pengolahan tersebut, air menjadi lebih aman digunakan dalam sistem pendingin tanpa menimbulkan efek merugikan pada mesin (Rahman, 2022).

Pada PLTU Tenayan Pipa *cooling tower* berfungsi mengalirkan fluida yang berasal dari kondensor untuk selanjutnya dilakukan proses pendinginan, dalam proses kerjanya

pipa PLTU Tenayan mengalami perubahan suhu yang signifikan serta tekanan internal yang tinggi, sehingga material pipa harus memiliki ketahanan terhadap korosi, perubahan termal, dan tekanan mekanis agar dapat mempertahankan kinerjanya secara optimal dan mencegah kerusakan atau kebocoran yang dapat mengganggu proses pendinginan. Dari kendala yang disebutkan sebelumnya penurunan performa yang dapat mengganggu aliran fluida dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Oleh karena itu, sistem perpipaan yang tidak terawat dengan baik dapat menurunkan efektivitas produksi dan menambah risiko keselamatan (Chardon, 2023).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Afriyanti (2021) dengan judul “Analisa Peningkatan Kualitas Air Pendingin untuk Meningkatkan Efisiensi Cooling Tower PLTP Kamojang Unit 1” ditemukan bahwa Penurunan efisiensi cooling tower akibat adanya penyumbatan dan kotoran pada film fill dan nozzle menyebabkan penurunan kinerja sistem pendinginan secara keseluruhan. Pada penelitian yang dilakukan Wicaksono (2018) disimpulkan bahwa pipa *waterwall boiler* yang mengalami kebocoran disebabkan oleh korosi oksidasi. Oktavianto (2020) menemukan bahwa kegagalan fungsi pada pipa cooling tower disebabkan oleh tiga masalah utama yaitu misalignment, unbalance, dan rotasi gearbox berat. Dari masalah-masalah yang disebutkan diatas maka penulis memutuskan untuk melakukan penelitian yang berjudul “Analisa kerusakan material pipa *cooling tower* PLTU Tenayan”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang mejadi bahan penelitian tugas akhir ini antara lain.

1. Apa yang menyebabkan kerusakan material pada pipa *cooling tower* di PLTU Tenayan?
2. Bagaimana mekanisme kerusakan material pipa *cooling tower* yang terjadi pada PLTU, baik secara fisik maupun kimiawi?
3. Bagaimana dampak kerusakan material performa pipa *Cooling Tower* PLTU?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan penyebab kerusakan material pipa *cooling tower*.
2. Untuk mengetahui proses terjadinya kerusakan material pipa *cooling tower* baik secara fisik maupun kimiawi.
3. Untuk mendapatkan penurunan performa material pipa *cooling tower* PLTU Tenayan akibat kerusakan material.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Pada penelitian ini penulis terfokus pada pipa jenis DN150 dengan material *carbon steel*.
2. Analisa kerusakan pipa dilakukan dengan pengamatan komposisi material menggunakan X-Ray Fluorescence dan komparasi data operasional *cooling tower*.
3. Penurunan efisiensi ditentukan dengan perhitungan efisiensi pipa berdasarkan penurunan performa pipa *cooling tower* PLTU UP Tenayan Raya.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang penelitian ini, penulis melengkapi penguraian sebagai berikut:

#### 1. BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang masalah pengujian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan manfaat penelitian.

#### 2. BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori yang berhubungan dengan penelitian tersebut, seperti pengertian-pengertian, contoh-contoh dan parameter yang digunakan pada penelitian .

#### 3. BAB 3 : METODE PENELITIAN

Berisikan tentang alur penelitian, alat dan bahan, metode pengambilan data, langkah-langkah pembuatan alat, skema kegiatan dan sketsa gambar.

#### 4. BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berupa hasil dan pembahasan dari penelitian tersebut seperti detail gambar, alat dan bahan yang digunakan, perhitungan dan hasil uji dari pengujian komposisi, kekerasan, ketebalan pipa serta data operasional *cooling tower*.

## 5. BAB 5 : KESIMPULAN

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian tersebut dan juga saran atau masukan untuk peneliti selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis instalasi pembangkitan energi listrik yang bekerja berdasarkan prinsip konversi energi termal menjadi energi mekanik, lalu diubah menjadi energi listrik. Sistem ini memanfaatkan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, atau gas alam. Energi panas tersebut digunakan untuk memanaskan air dalam ketel uap (boiler) hingga mencapai suhu dan tekanan yang sangat tinggi, menghasilkan uap super panas. Uap bertekanan tinggi ini kemudian diarahkan menuju turbin uap, yaitu sebuah perangkat berbilah yang akan berputar ketika terkena semburan uap. Perputaran turbin ini selanjutnya diteruskan ke generator melalui poros penggerak, dan generator akan mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik (Abbas, 2019)



**Gambar 2.1.** PLTU Tenayan  
*Sumber: RIAU24.com*

PLTU dirancang untuk bekerja secara kontinyu dan digunakan sebagai sumber energi listrik utama atau base load karena mampu menghasilkan daya besar secara stabil. Selain efisien dari sisi teknis, penggunaan PLTU juga dianggap ekonomis dalam skala besar, terutama jika pasokan bahan bakar seperti batu bara tersedia melimpah di

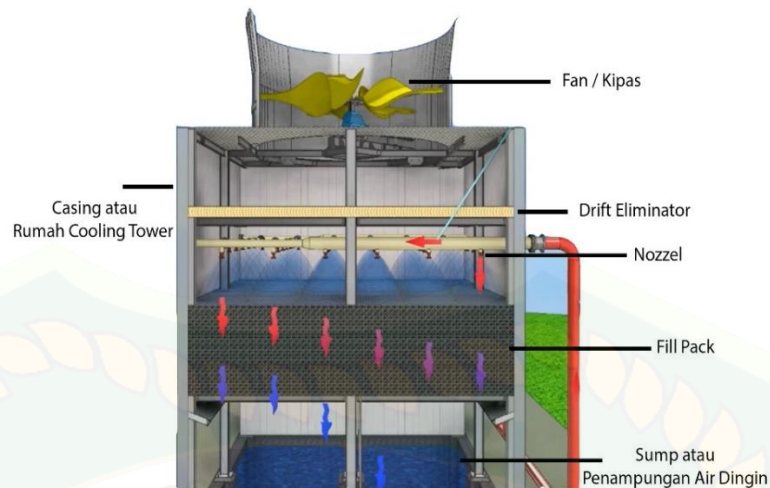
dalam negeri. Namun, sistem ini juga memerlukan infrastruktur tambahan seperti sistem pendinginan (cooling system), sistem penanganan limbah gas dan abu, serta pengolahan air untuk mempertahankan performa kerja yang optimal dan meminimalisasi dampak negatif terhadap lingkungan (Abbas, 2019)

## **2.2. Cooling Tower**



**Gambar 2.2** *Cooling Tower*

Cooling tower didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang berfungsi mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Cooling tower yang bekerja pada sistem pendinginan udara biasanya menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air melintasi menara (Ahluriza & Sinaga, 2021).



**Gambar 2.3** Bagian Cooling Tower  
Sumber: Teknik Elektro

Prinsip kerja Cooling Tower berdasarkan pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Dalam Cooling Tower, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara. Cooling Tower menggunakan sistem penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan (Triyansah & Witanto, 2020).

### 2.2.1. Fungsi Cooling Tower

Semua perangkat pendingin yang beroperasi akan melepaskan panas melalui kondensor, di mana refrigeran akan mentransfer panasnya ke air pendingin sehingga air tersebut menjadi lebih panas. Air panas ini kemudian dipompa menuju menara pendingin (cooling tower). Menara pendingin secara umum berfungsi untuk menyerap panas dari air tersebut dan menyediakan air yang relatif lebih dingin untuk digunakan kembali dalam sistem pendinginan. Dengan kata lain, menara pendingin berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara menghilangkan panas dari air dan melepaskannya ke atmosfer. Menara pendingin dapat menurunkan suhu air lebih rendah dibandingkan perangkat lain yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas, seperti radiator pada kendaraan, sehingga lebih efisien dari segi biaya dan konsumsi energy (Ahluriza & Sinaga, 2021).

### **2.2.2. Prinsip Kerja Cooling Tower**

Cooling tower adalah alat yang digunakan untuk menurunkan suhu air dengan cara membuang panas ke udara melalui penguapan sebagian air. Cara kerjanya melibatkan air panas dari mesin industri atau pembangkit listrik yang dialirkan dan bersentuhan langsung dengan udara luar. Sebagian kecil air menguap, dan proses ini membantu menurunkan suhu air yang tersisa. Setelah didinginkan, air tersebut dipompa kembali ke sistem untuk digunakan ulang.

Proses pendinginan ini berlangsung dalam beberapa langkah:

1. Pengaliran Air Panas: Air panas dikirim ke bagian atas cooling tower melalui pipa atau alat penyemprot (nozel).
2. Kontak dengan Udara: Air jatuh ke bawah melewati media khusus (fill) yang memperluas permukaan kontak antara air dan udara.
3. Penguapan: Sebagian air menguap karena perbedaan suhu dan kelembaban, dan panasnya dibuang ke udara.
4. Pengumpulan Air Dingin: Air yang sudah dingin terkumpul di bagian bawah cooling tower.
5. Pemompaan Kembali: Air dingin ini lalu dipompa kembali ke mesin atau sistem untuk dipakai lagi.

Seluruh proses ini terus berlangsung agar sistem tetap bekerja dengan suhu yang ideal dan efisien. (Teknik Elektro, 2021).

### **2.3. Pipa Cooling Tower**

Pipa cooling tower adalah komponen saluran perpipaan yang berfungsi untuk mengalirkan air pendingin dari kondensor atau peralatan penukar panas (heat exchanger) menuju cooling tower, serta mengembalikannya kembali setelah mengalami proses pendinginan. Pipa ini merupakan bagian penting dari sistem sirkulasi air dalam unit pendingin industri atau pembangkit listrik, yang memastikan perpindahan panas berlangsung secara efisien (Khan dkk, 2015).

Fungsi Utama Pipa dalam Cooling Tower:

1. Menyalurkan air panas dari sistem proses (misalnya kondensor turbin uap) ke cooling tower.
2. Mengalirkan air dingin yang telah didinginkan kembali ke sistem utama untuk digunakan ulang.
3. Mendukung sistem sirkulasi tertutup atau terbuka, tergantung jenis cooling tower yang digunakan.
4. Menahan tekanan dan suhu yang bervariasi tergantung kondisi operasi.

Karakteristik Umum Pipa Cooling Tower:

- Material: Umumnya menggunakan carbon steel, PVC, atau FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) tergantung kebutuhan dan tingkat korosivitas lingkungan.
- Ukuran: Bisa sangat besar, seperti DN300 hingga DN1000, karena volume air yang besar harus disirkulasikan.
- Dilengkapi dengan flange, elbow, valve, dan sambungan lainnya untuk mendukung fleksibilitas pemasangan dan perawatan.

#### **2.4. Pipa DN150**

Pipa dengan diameter nominal DN150 (Diameter Nominal 150 mm) adalah saluran perpipaan yang dirancang untuk mengalirkan fluida—baik cairan, gas, maupun uap—dalam sistem industri atau distribusi. Dalam sistem pengukuran internasional, DN150 setara dengan ukuran pipa 6 inci (6" NPS) dengan diameter luar sekitar 168,3 mm dan diameter dalam sekitar 154 mm, tergantung pada ketebalan dinding pipa yang digunakan (pipestd, 2020)

Schedule STD Pipe 6 Inch (DN150 mm)

Standard : ANSI/ASME B36.10 (Steel Pipe)

- Size : NPS 6" Inch
- Size : DN150 mm
- Inside Diameter (Pipe ID) : 168.3 mm
- Outside Diameter (Pipe OD) : 154 mm
- Pipe Wall Thickness : 7.11 mm

– Pipe Weight : 28.3 Kilogram per meter (kg/m)

\*NPS = Nominal pipe size(inch) / DN = Diameter nominal(mm)

Pipa DN150 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti distribusi air bersih, sistem irigasi, instalasi pembuangan limbah, dan jaringan gas. Pemilihan ukuran pipa ini didasarkan pada kebutuhan kapasitas aliran, tekanan operasional, serta jenis dan sifat fluida yang akan dialirkan.

Pipa *cooling tower* di PLTU Tenayan Raya terbuat dari materi carbon steel. Pemilihan bahan carbon steel untuk pipa DN150 didasarkan pada pertimbangan teknis, ekonomis, dan lingkungan kerja seperti:

1. Ketahanan Mekanis yang Baik

Carbon steel memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan terhadap tekanan internal yang sangat baik, sehingga cocok digunakan untuk pipa berdiameter besar seperti DN150, terutama dalam sistem perpipaan yang mengalirkan fluida dalam jumlah besar atau dengan tekanan sedang hingga tinggi.

2. Harga yang Lebih Ekonomis

Dibandingkan dengan bahan lain seperti stainless steel atau paduan logam khusus (alloy), carbon steel jauh lebih murah. Untuk aplikasi umum (non-korosif berat), ini menjadi pilihan yang sangat cost-effective, apalagi untuk pipa besar seperti DN150 yang membutuhkan banyak material.

3. Kinerja Baik dalam Suhu Menengah

Carbon steel tahan terhadap suhu sedang hingga tinggi (hingga sekitar 400–500 °C tergantung jenisnya), sehingga cocok digunakan dalam banyak aplikasi industri, termasuk air pendingin, uap, gas industri, maupun cairan non-korosif.

4. Cocok untuk Lingkungan Tidak Terlalu Korosif

Jika lingkungan operasional pipa tidak terlalu korosif (misalnya air tawar, udara terbuka dengan perlindungan cat atau pelapis), carbon steel adalah pilihan ideal. Jika dibutuhkan, lapisan anti-korosi atau coating internal bisa ditambahkan.

5. Kemudahan Pengelasan dan Fabrikasi

Carbon steel mudah untuk dipotong, dibentuk, dan dilas, yang penting dalam fabrikasi dan instalasi pipa berdiameter besar seperti DN150. Ini membuat proses pemasangan lebih cepat dan efisien.

## **2.5. Korosi**

Korosi adalah proses degradasi material, khususnya logam, akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitarnya. Proses ini terjadi secara alami, di mana logam kembali bersenyawa dengan oksigen, mirip dengan proses ekstraksi logam dari bijihnya. Korosi dapat menyebabkan kerusakan struktural dan penurunan kualitas material, sehingga memerlukan pengendalian yang tepat untuk memperpanjang umur pakai material (Yunus, 2012)

Proses ini menyebabkan hilangnya material secara bertahap, yang dapat mengakibatkan penipisan dinding pipa, kebocoran, hingga kegagalan sistem perpipaan.

Dalam lingkungan industri, korosi pada pipa dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain:

- Kelembaban tinggi
- Paparan zat kimia agresif (seperti asam atau basa)
- Air laut atau air yang mengandung garam
- Gas korosif (seperti  $H_2S$ ,  $CO_2$ , atau  $O_2$ )
- Perbedaan potensial listrik antar bagian logam (korosi galvanik)

Korosi pada pipa industri merupakan masalah serius karena dapat mengganggu proses produksi, menimbulkan risiko keselamatan, serta meningkatkan biaya operasional dan pemeliharaan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pencegahan seperti penggunaan pelapis anti-korosi, pemilihan material tahan korosi, katodik proteksi, serta pengendalian kondisi lingkungan di sekitar pipa (Sulistyono & Bayuseno 2014).



**Gambar 2.5** Pipa Mengalami Korosi

Penyebab umum korosi pada pipa baja karbon dalam sistem pendingin adalah:

1. Kandungan Oksigen Terlarut (DO) dalam Air

DO merupakan parameter paling dominan yang mempengaruhi laju korosi. Perubahan konsentrasi DO sangat mempengaruhi kecepatan terbentuknya produk korosi.

2. Kecepatan Aliran Fluida yang Rendah

Kecepatan aliran fluida yang rendah (0,07 m/s) dapat menyebabkan jenis korosi under deposit, yang mengakibatkan perbedaan aerasi oksigen dan meningkatkan laju korosi.

3. Parameter Lingkungan Air

Faktor-faktor seperti konduktivitas, total padatan terlarut (TDS), pH, salinitas, dan suhu juga mempengaruhi laju korosi baja karbon.

Selain itu, produk korosi yang terbentuk berupa senyawa oksida, yang dapat memperburuk korosi jika tidak dikendalikan dengan baik (Royani dkk, 2019).

## 2.6 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik material yang menyatakan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis, penetrasi, goresan, atau abrasi. Secara umum, kekerasan berkaitan erat dengan kekuatan tarik dan ketahanan aus suatu material, meskipun tidak selalu berbanding lurus secara langsung (Callister & Rethwisch, 2018). Uji kekerasan banyak digunakan karena metode pengujiannya relatif sederhana, tidak memerlukan spesimen yang rumit, serta dapat memberikan gambaran awal mengenai sifat mekanik dan kualitas material, khususnya logam. Prinsip dasar uji kekerasan adalah pemberian gaya tertentu pada permukaan material menggunakan indenter dengan bentuk dan ukuran tertentu, kemudian mengukur respons material berupa ukuran atau kedalaman jejak indentasi. Nilai kekerasan ditentukan berdasarkan besar beban dan luas atau kedalaman bekas indentasi tersebut. Uji kekerasan Rockwell mengukur kedalaman penetrasi indenter di bawah beban tertentu. Metode ini memiliki berbagai skala, seperti HRC, HRB, dan HRA, tergantung pada jenis indenter dan besar beban.

## 2.7 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur dalam suatu material. Teknik ini bekerja berdasarkan prinsip emisi sinar-X karakteristik dari atom material setelah disinari oleh sinar-X berenergi tinggi. Setiap unsur memiliki energi sinar-X karakteristik yang unik, sehingga dapat digunakan untuk identifikasi unsur secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja XRF diawali dengan penembakan sinar-X primer ke permukaan material. Energi sinar-X tersebut menyebabkan elektron pada kulit dalam atom terlepas, sehingga atom berada dalam keadaan tidak stabil. Kekosongan elektron kemudian diisi oleh elektron dari kulit yang lebih luar, dan selisih energi dilepaskan dalam bentuk sinar-X fluoresen. Energi dan intensitas sinar-X fluoresen inilah yang dianalisis untuk menentukan jenis dan kadar unsur dalam material. Uji XRF banyak diaplikasikan dalam bidang metalurgi untuk menentukan komposisi paduan, mengontrol kualitas bahan baku, serta mengevaluasi hasil proses manufaktur dan perlakuan panas. Di

bidang geologi, XRF digunakan untuk analisis mineral dan batuan, sedangkan dalam industri digunakan untuk pengendalian mutu produk (ASM International, 2018).

## **2.8 Uji Ketebalan**

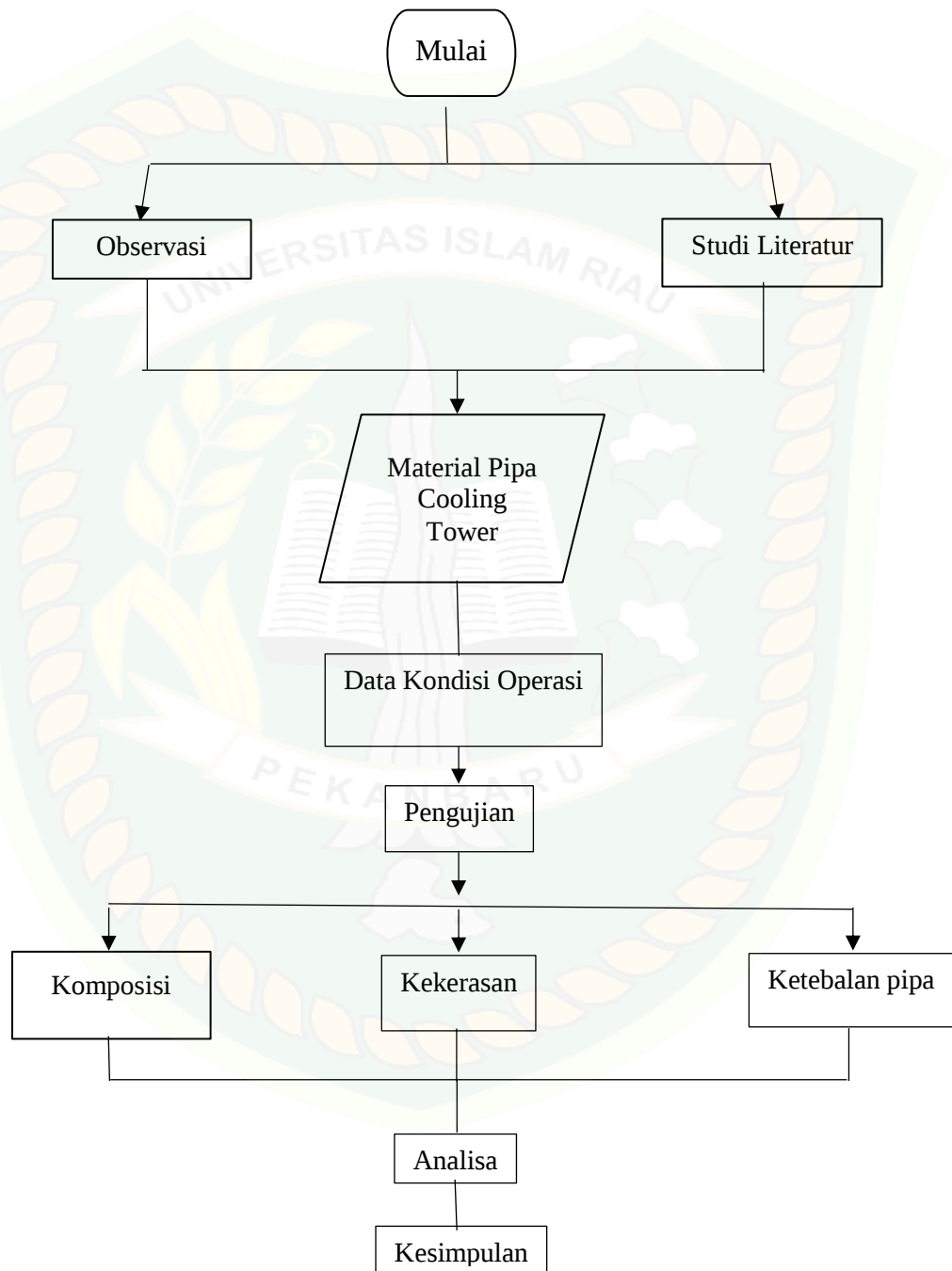
Ketebalan merupakan salah satu parameter geometrik penting pada material baja yang berpengaruh terhadap kekuatan, kekakuan, dan kesesuaian material terhadap standar desain maupun aplikasi teknik. Pengukuran dimensi yang akurat sangat penting karena penyimpangan ketebalan dapat memengaruhi performa mekanik dan keamanan struktur baja (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Jangka sorong (vernier caliper) merupakan alat ukur mekanik yang digunakan untuk mengukur dimensi luar, dimensi dalam, dan kedalaman suatu benda dengan ketelitian yang relatif tinggi. Umumnya, jangka sorong memiliki ketelitian 0,1 mm, 0,05 mm, atau 0,02 mm, tergantung pada jenis skala nonius yang digunakan (Raghuwanshi, 2017).

Prinsip kerja jangka sorong adalah penggabungan pembacaan skala utama dan skala nonius. Skala utama menunjukkan nilai dalam satuan milimeter, sedangkan skala nonius digunakan untuk meningkatkan ketelitian pengukuran. Nilai ketebalan diperoleh dengan menjumlahkan pembacaan skala utama dan nilai skala nonius yang tepat sejajar.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir



### **Gambar 3.1 Diagram Alir**

#### **3.2. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Pengambilan sampel bahan uji di PLTU Tenayan Raya, Pengujian dilakukan di laboratorium material program studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau

#### **3.3. Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk proses penelitian adalah sebagai berikut:

##### **3.3.1. Alat**

Alat-alat yang digunakan untuk proses penelitian adalah:

##### **1. Jangka Sorong**



**Gambar 3.2 Jangka Sorong**

Jangka sorong digunakan untuk pengujian ketebalan pipa

##### **2. Mesin Uji Kekerasan**

Mesin uji kekerasan adalah alat yang digunakan untuk mengukur kemampuan suatu material dalam menahan deformasi permanen, yang dikenal sebagai kekerasan. Kekerasan merupakan sifat mekanik penting yang mempengaruhi ketahanan aus, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap keausan dari material tersebut. Mesin uji kekerasan bekerja dengan cara memberikan gaya tekan pada permukaan material menggunakan indenter tertentu, kemudian mengukur ukuran atau kedalaman jejak yang ditinggalkan sebagai indikasi tingkat kekerasan material (Rauf, 2021).



**Gambar 3.3** Mesin Hardness  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025*

Mesin *hardness* dengan metode *rockwell* untuk menentukan sifat material dengan kekerasan dan proses pembentukan.

### **3. Gerinda**

Gerinda digunakan untuk memotong material dengan ukuran yang digunakan.



**Gambar 3.4** Gerinda  
*Sumber: Alibaba*

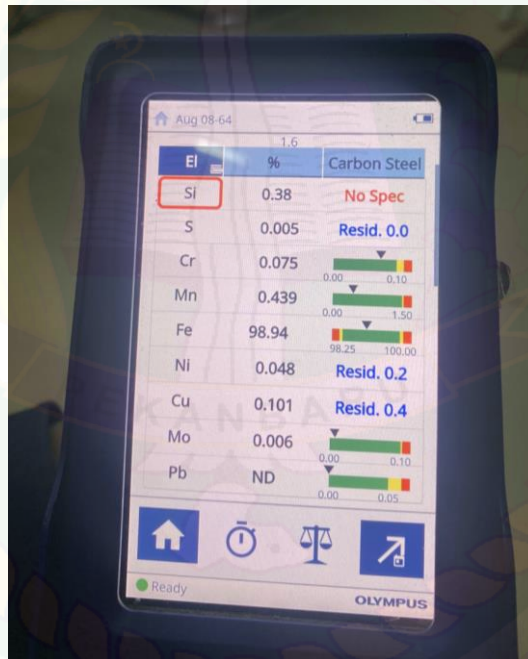
### **4. Mesin polisher dan kertas amplas**

Bertujuan untuk meratakan permukaan kasar agar tampak lebih halus.

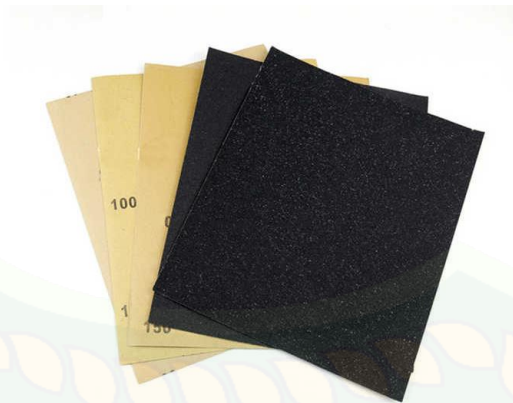


**Gambar 3.5** Mesin polisher

### 5. Mesin XRF (Handheld X-Ray Fluorescence)



**Gambar 3.6** Handheld X-Ray Fluorescence (XRF)



**Gambar 3.7** Kertas amplas

### **3.3.2. Bahan**

#### **1. Pipa Cooling Tower**



**Gambar 3.8** Pipa DN150

#### **2. Autosol Metal Polish**

Merupakan pasta atau pelumas agar benda kerja tidak tergores ketika proses pemolesan.



**Gambar 3.9 Autosol**

### **3. Aquades**

Berfungsi sebagai pembersih alat-alat kerja dari kotoran, aquades biasa juga di sebut air penyulingan.



**Gambar 3.10 Aquades**

### **4. Etsa**

Dalam bidang metalurgi, cairan etsa digunakan untuk memeriksa struktur mikro logam. Larutan kimia seperti asam klorida, asam nitrat, atau campuran khusus digunakan untuk mengungkapkan batas butir, inklusi, atau cacat mikro dalam logam.

## **3.4. Persiapan Pengujian**

1. Mencari material yang sesuai dengan kebutuhan penelitian dengan cara

mempelajari material pipa cooling tower dan melakukan studi literatur.

2. Lalu dilakukan pemotongan benda kerja dengan ukuran sisi 4 cm dan tinggi 1 cm sebanyak 3 buah. Sesuai dengan masing masing pengujian.

### **3.5. Pengujian**

#### **3.5.1. Pengujian kekerasan**

Skala Rockwell C (HRB) menggunakan indenter berbentuk bola baja dengan diameter 1/16 inchi (1,588 mm) dan beban mayor sebesar 100 kgf. Skala ini cocok untuk mengukur kekerasan material soft steel seperti baja karbon rendah.

Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, material dan alat uji di persiapkan mengikuti tahapan berikut:

##### **1. Persiapan Sampel**

Pastikan sampel memiliki ketebalan yang diinginkan. Permukaan sampel harus rata, halus, dan bebas dari kontaminasi atau karat. Jarak antara dua titik indentasi minimal tiga kali diameter indentasi untuk menghindari pengaruh satu sama lain

##### **2. Pemilihan Indentor dan Beban**

Gunakan indenter berbentuk bola baja keras berdiameter 1/16 inch(1.5875mm). Terapkan beban utama sebesar 100 kgf (kilogram gaya) sesuai dengan standar HRC. Adapun tahapan dan prosedur pengujian diterapkan beban minor (10 kgf) untuk menahan indenter pada posisi nol datum. Tambahkan beban utama (100 kgf) dan biarkan selama 2–6 detik. Kurangi beban utama, tetapi pertahankan beban minor. Alat uji akan mengukur kedalaman penetrasi dan menampilkan nilai HRB secara langsung. Hasil pengujian yang diperoleh dilakukan pencatatan dan interpretasi. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan material standar untuk memastikan kesesuaian.

### 3.5.2 Pengamatan Ketebalan Pipa



**Gambar 3.11** Jangka Sorong

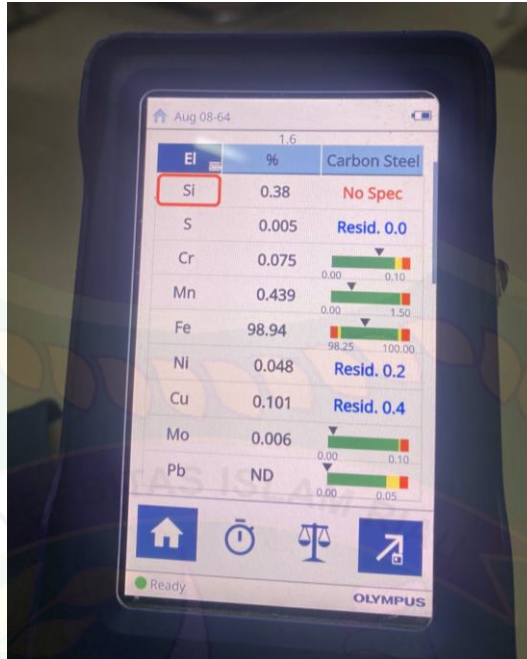
#### **Langkah-langkah Mengukur Ketebalan Pipa dengan Jangka Sorong**

Persiapkan Jangka Sorong pastikan jangka sorong dalam kondisi baik dan bersih. Kalibrasi jangka sorong dengan memastikan skala utama menunjukkan angka nol saat kedua rahang tertutup. Pastikan permukaan pipa bebas dari kotoran, karat, atau lapisan lain yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran.

Pembacaan hasil pengukuran. Perhatikan skala utama dan skala nonius pada jangka sorong. Jumlahkan pembacaan skala utama dan skala nonius untuk mendapatkan hasil akhir. Contoh: Jika skala utama menunjukkan 12 mm dan skala nonius menunjukkan 0,95 mm, maka hasil pengukuran adalah 12,95 mm. Lalu catat hasil pengukuran.

### 3.5.3 Komposisi Pipa

Menggunakan alat XRF (*X-Ray Fluorescence*) adalah alat analisis material yang digunakan untuk mengetahui jenis unsur kimia dan persentase kandungannya pada suatu bahan, terutama logam dan paduan logam. XRF bekerja dengan memancarkan sinar-X ke permukaan material, kemudian menangkap sinar-X fluoresensi yang dipancarkan kembali oleh atom-atom material tersebut. Setiap unsur memiliki energi sinar-X khas, sehingga dapat diidentifikasi dan dihitung kadarnya. Metode ini bersifat cepat, akurat, dan non-destruktif, digunakan untuk identifikasi material, kontrol kualitas, dan inspeksi di industri.



**Gambar 3.12** Handheld X-Ray Fluorescence (XRF)

Langkah-langkah pengujian menggunakan XRF

**A. Identifikasi dan pemilihan material uji**

Tentukan jenis material yang akan diuji (misalnya baja karbon, stainless steel, aluminium). Pilih bagian material yang mewakili kondisi keseluruhan dan tidak berada pada area las, retak, atau cacat. Beri kode atau identitas sampel untuk memudahkan pencatatan hasil.

**B. Persiapan permukaan material**

Bersihkan permukaan material dari karat, cat atau coating, oli, lemak, dan debu, gunakan amplas atau gerinda halus bila diperlukan agar permukaan rata dan bersih, pastikan area uji kering sebelum pengukuran dilakukan.

**C. Pemeriksaan awal alat XRF**

Nyalakan alat XRF dan tunggu hingga proses self-diagnostic selesai. Periksa kondisi baterai atau sumber daya, sensor dan jendela detector, pastikan alat dalam kondisi aman dan siap digunakan.

#### D. Pengaturan mode pengujian

Pilih mode analisis yang sesuai pada layar alat, seperti Alloy / Metal, PMI (Positive Material Identification) dan pastikan database material aktif agar alat dapat mengidentifikasi jenis material secara otomatis.

#### E. Kalibrasi (jika diperlukan)

Lakukan kalibrasi menggunakan standar referensi bila alat meminta atau jika hasil sebelumnya tidak konsisten. pastikan hasil kalibrasi sesuai dengan nilai standar sebelum melanjutkan pengujian.

#### F. Penempatan alat pada material

Tempelkan ujung sensor XRF tegak lurus dan rapat ke permukaan material. Pastikan tidak ada celah antara alat dan permukaan material. Pegang alat dengan stabil agar tidak bergerak selama pengujian.

#### G. Pelaksanaan pengujian

Tekan tombol ukur (trigger) untuk memulai analisis. Tahan posisi alat selama waktu pengukuran (dalam beberapa detik). Selama pengujian maka alat memancarkan sinar-X, unsur dalam material memancarkan sinar-X fluoresensi, detektor menangkap sinyal tersebut. Perhatikan hasil pada layar, meliputi jenis unsur kimia, persentase kandungan unsur, identifikasi material atau grade, pastikan hasil sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

### 3.5.4 Data Kondisi Operasional

Pengertian data data pada laporan operasional *Cooling Tower*

#### A. pH (Potential of Hydrogen)

Menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air *cooling tower*.

pH rendah → risiko korosi pipa carbon steel

pH terlalu tinggi → risiko pembentukan kerak (*scaling*)

Umumnya dikontrol di kisaran 6,5 – 8,5

### **B. Specific Conductivity**

Specific Conductivity (Daya Hantar Listrik Spesifik) Mengukur kemampuan air menghantarkan listrik, yang berkaitan langsung dengan jumlah ion terlarut.

- Nilai tinggi → air lebih konduktif
- Mempercepat reaksi elektrokimia korosi
- Digunakan sebagai indikator *cycle of concentration*

### **C. SiO<sub>2</sub> (Silika)**

Kandungan silika terlarut dalam air.

- Silika tinggi → berpotensi membentuk kerak keras
- Kerak silika sulit dibersihkan dan menurunkan efisiensi perpindahan panas

### **D. Cl<sub>2</sub> (Klorin)**

Digunakan sebagai *biocide* untuk mengendalikan mikroorganisme.

- Dosis cukup → mencegah *biofouling* & *MIC*
- Dosis berlebih → dapat mempercepat korosi pada *carbon steel*

### **E. TDS (*Total Dissolved Solids*)**

Jumlah total zat terlarut dalam air (garam, mineral, ion).

- TDS tinggi → air lebih konduktif
- Meningkatkan risiko korosi dan *scaling*

### **F. TSS (*Total Suspended Solids*)**

Jumlah partikel padat yang tersuspensi dalam air.

- Nilai tinggi → potensi sedimentasi & *fouling*
- Dapat menyebabkan *under-deposit corrosion*

### **G. Turbidity (Kekeruhan)**

Mengukur tingkat kekeruhan air akibat partikel halus.

- Turbidity tinggi → indikasi partikel, lumpur, atau mikroorganisme
- Dapat mempercepat *fouling* dan korosi lokal

### 3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian

Adapun jadwal kegiatan penelitian sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Jadwal kegiatan penelitian

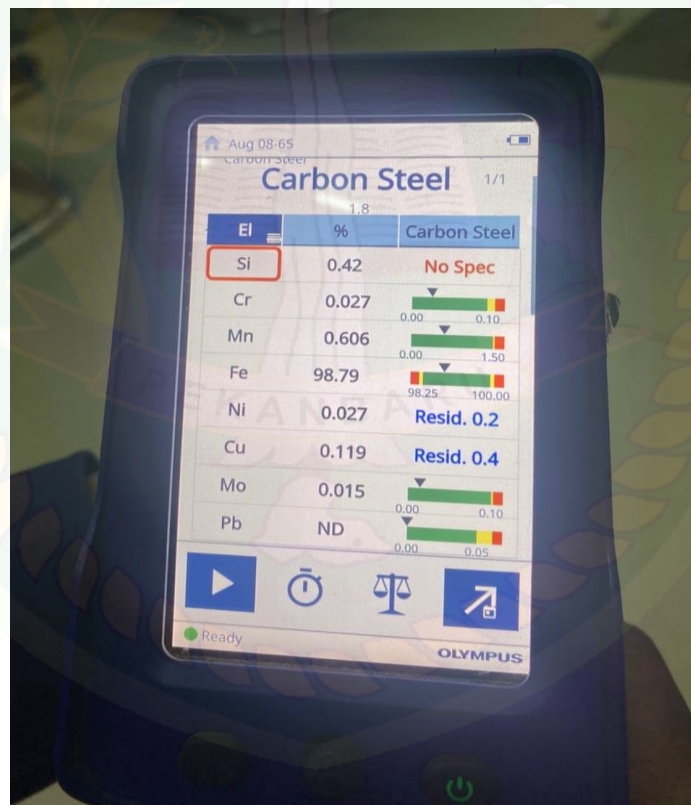
| N0 | Jadwal Kegiatan         | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Ags | Sep | Okt | Nov | Des | Jan |
|----|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | Pengajuan Judul         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 2  | Studi Literatur         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 3  | Penulisan Proposal      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 4  | Seminar Proposal        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5  | Persiapan Alat & Bahan  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6  | Penelitian & Eksperimen |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 7  | Analisa Data            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 8  | Sidang Akhir            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Uji Komposisi Pipa

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian komposisi pada material cooling tower pada kondisi berbeda. Pengujian pertama dilakukan pada material kondisi baru (belum terpasang). Untuk mendapatkan penyebab kerusakan maka uji komposisi juga dilakukan pada material yang rusak. Uji komposisi ini dilakukan menggunakan peralatan yang tersedia di PLTU UP Tenayan yaitu Handheld X-Ray Fluorescence (XRF). Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan data pengujian material pipa cooling tower baru dan terpakai.



**Gambar 4.1** Kondisi pengambilan data material cooling tower baru menggunakan Handheld X-Ray Fluorescence (XRF).

Hasil pembacaan data pada Gambar 4.1 menunjukkan sebagai berikut.

Alat XRF mengklasifikasikan material sebagai Carbon Steel. Keterangan “No Spec” (pada unsur tertentu seperti Si) berarti komposisi unsur tersebut tidak cocok secara tepat dengan satu grade standar tertentu (ASTM / AISI / DIN) yang ada di database alat. Meskipun begitu, secara keseluruhan komposisi masih jelas menunjukkan baja karbon, bukan baja paduan atau *stainless steel*. Komposisi setiap unsur yang terdapat dalam material dijelaskan berikut.

1. Fe (Besi) = 98,79 %

Unsur utama dan sangat dominan. Nilai ini sangat khas untuk baja karbon. Menunjukkan material bukan baja paduan tinggi maupun *stainless steel*.

2. Mn (Mangan) = 0,606 %

Unsur paduan yang umum pada baja karbon. Berfungsi meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan. Nilai masih dalam rentang normal untuk *carbon steel* (ditunjukkan area hijau pada alat).

3. Si (Silikon) = 0,42 %

Berfungsi sebagai *deoxidizer* dalam proses pembuatan baja. Nilai ini masih wajar untuk baja karbon. Ditandai “No Spec”, artinya tidak melebihi batas berbahaya, hanya tidak cocok dengan satu grade spesifik di database XRF.

4. Cr (Kromium) = 0,027 %

Kandungan sangat kecil. Tidak cukup untuk meningkatkan ketahanan korosi. Masih tergolong unsur sisa (*residual element*).

5. Ni (Nikel) = 0,027 %

Kandungan sangat rendah. Ditandai Resid. 0.2, artinya batas maksimum yang diizinkan 0,2 %. Nilai aktual jauh di bawah batas, sehingga tidak mempengaruhi klasifikasi material.

6. Cu (Tembaga) = 0,119 %

Unsur residual. Masih dalam batas aman (Resid. 0.4). Umumnya berasal dari bahan baku *scrap* / daur ulang.

6. Mo (Molibdenum) = 0,015 %

Kandungan sangat kecil. Tidak memberikan efek paduan signifikan. Masih dalam batas toleransi untuk baja karbon.

7. Pb (Timbal) = ND (Not Detected)

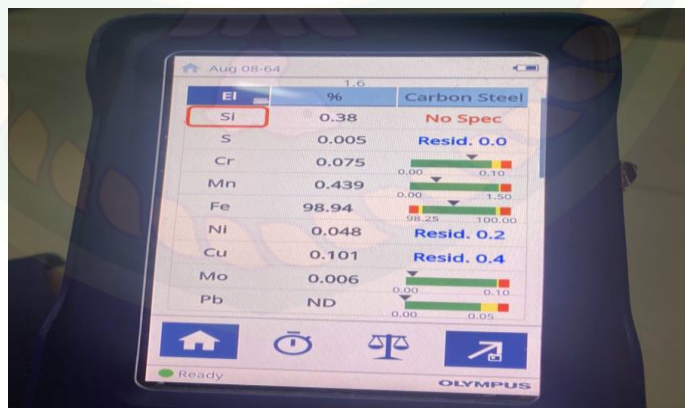
Tidak terdeteksi. Menunjukkan material bukan baja *free-cutting*. Baik untuk aplikasi struktural atau umum.

8. Unsur karbon (C)

Karbon (C) tidak ditampilkan di hasil. Ini normal, karena XRF tidak mampu mengukur unsur ringan seperti karbon secara akurat.

Berdasarkan komposisi diatas maka diperoleh bahwa Material adalah baja karbon. Didominasi oleh Fe 98,8 %, dengan Mn dan Si sebagai unsur pendukung utama. Kandungan Cr, Ni, Cu, dan Mo hanya bersifat residual. Bukan baja paduan dan bukan stainless steel. Cocok untuk aplikasi struktur, fabrikasi, atau manufaktur umum. Untuk menentukan grade baja secara pasti, diperlukan data kadar karbon dan perbandingan dengan standar (ASTM / JIS / DIN).

Hasil uji komposisi pipa baja DN 150 yang sudah digunakan diperlihatkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Kondisi pengambilan data material cooling tower terpakai menggunakan Handheld X-Ray Fluorescence (XRF).

Hasil pengamatan komposisi material pipa cooling tower pada kondisi baru dan yang telah digunakan dibuatkan dalam bentuk resume pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Tabel Hasil Uji XRF

| Unsur | XRF 1<br>(New) | XRF<br>2(Used) | Fungsi unsur                      | Keterangan         |
|-------|----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|
| Si    | 0,42           | 0,38           | Deoksidator                       | XRF 1 lebih tinggi |
| Mn    | 0,606          | 0,439          | Mengurangi retak panas            | XRF 1 lebih tinggi |
| Cr    | 0,027          | 0,075          | Meningkatkan kekerasan            | XRF 2 lebih tinggi |
| Ni    | 0,027          | 0,048          | Memperbaiki struktur mikro baja   | XRF 2 lebih tinggi |
| Cu    | 0,119          | 0,101          | Meningkatkan ketahanan korosi     | XRF 1 lebih tinggi |
| Mo    | 0,015          | 0,006          | Meningkatkan kekuatan suhu tinggi | XRF 1 lebih tinggi |
| Fe    | 98,79          | 98,94          | Unsur utama baja karbon           | XRF 2 lebih tinggi |

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa material pipa cooling tower adalah baja karbon (*Carbon Steel*). Komposisi didominasi oleh Fe dengan Mn dan Si sebagai unsur pendukung. Jumlah unsur paduan (Mn, Cr, Si, Ni, Cu, dan Mo) masih dalam batas komposisi baja karbon. Karena itu baja ini tidak termasuk baja paduan atau *stainless steel*. Tabel diatas juga menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan jumlah Mn, Si, Cu dan Mo pada material pipa yang sudah digunakan. Mn (Mangan) dan Si (Silikon) berfungsi meningkatkan kekuatan, menghambat oksidasi, dan menstabilkan struktur baja. Penurunan unsur ini menunjukkan degradasi permukaan kemungkinan unsur larut atau teroksidasi berdampak pada menurunnya ketahanan terhadap korosi dan erosi.

#### 4.2 DATA UJI KETEBALAN PIPA

Untuk melihat kondisi fisik pipa cooling tower maka telah dilakukan pengukuran ketebalan pipa baik dalam kondisi baru maupun pipa yang sudah digunakan. Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menggunakan jangka sorong. Pengambilan data ketebalan dilakukan pada lima tempat berbeda. Pembacaan data ketebalan dapat dilihat pada Tabel 4. 2.



**Gambar 4.3** Jangka Sorong

**Gambar 4.3** Pengukuran ketebalan specimen dengan jangka sorong.

Data hasil pembacaan alat ukur disajikan dalam **Tabel 4.2**

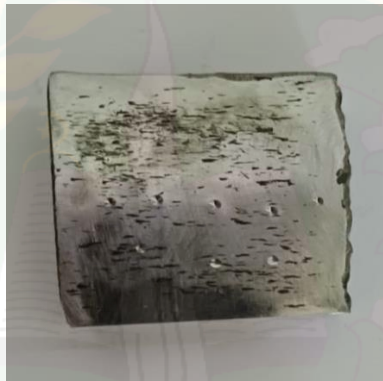
| Material         | Ketebalan (mm) | Rata-rata(mm) |
|------------------|----------------|---------------|
| DN150 (baru)     | 10.03          | 10.042        |
|                  | 10.00          |               |
|                  | 9.97           |               |
|                  | 10.08          |               |
|                  | 10.13          |               |
| DN150 (terpakai) | 7.99           | 8.25          |
|                  | 8.10           |               |
|                  | 8.22           |               |
|                  | 8.36           |               |
|                  | 8.58           |               |

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa pipa DN150 dalam kondisi baru memiliki ketebalan rata-rata sebesar 10,042 mm yang diperoleh dari lima titik pengukuran. Sementara itu, pipa DN150 yang telah terpakai menunjukkan ketebalan rata-rata sebesar 8,25 mm. Perbedaan nilai ketebalan ini menunjukkan adanya pengurangan ketebalan pipa akibat pemakaian. Pengurangan ketebalan yang terjadi

antara pipa baru dan pipa terpakai adalah sebesar 1,792 mm. Jika dinyatakan dalam persentase, nilai ini setara dengan sekitar 17,84% dari ketebalan awal pipa. Penurunan ketebalan tersebut mengindikasikan bahwa selama masa operasinya, pipa mengalami keausan yang cukup signifikan.

#### **4.3 DATA UJI KEKERASAN (*Hardness*)**

Menggunakan skala Rockwell C (HRB) menggunakan indenter berbentuk bola baja dengan diameter 1/16 inchi (1,588 mm) dan beban mayor sebesar 100 kgf. Skala ini cocok untuk mengukur kekerasan material soft steel seperti baja karbon rendah.



**Gambar 4.5** Spesimen New



**Gambar 4.6** Spesimen Used

| Jenis carbon | Titik | Nilai (HRB) | Rata-Rata Nilai (HRB) |
|--------------|-------|-------------|-----------------------|
| New          | 1     | 101,9       | 100,92                |
|              | 2     | 100,6       |                       |
|              | 3     | 101,2       |                       |
|              | 4     | 100,2       |                       |
|              | 5     | 100,7       |                       |
| Used         | 1     | 102,8       | 100,34                |
|              | 2     | 101,6       |                       |
|              | 3     | 101,4       |                       |
|              | 4     | 99,6        |                       |
|              | 5     | 96,3        |                       |

**Tabel 4.2** Data hasil uji kekerasan

Baja karbon New

Nilai HRB di 5 titik berkisar: 100,2 – 101,9 HRB. Rata-rata kekerasan: 100,92 HRB. Sebaran nilai relatif seragam. Menunjukkan material masih homogen, struktur mikro masih baik, dan belum mengalami degradasi signifikan. Nilai HRB di 5 titik berkisar: 96,3 – 102,8 HRB. Rata-rata kekerasan: 100,34 HRB. Terdapat penurunan nilai minimum yang cukup besar (96,3 HRB) dan variasi yang lebih lebar. Mengindikasikan material telah mengalami perubahan sifat mekanik akibat pemakaian.

Terjadi penurunan rata-rata kekerasan sebesar  $\pm 0,58$  HRB pada material Used dibanding New. Walaupun penurunan rata-rata kecil, ketidakseragaman nilai pada baja Used jauh lebih signifikan dan lebih kritis dari sisi keandalan material. Hubungan antara tabel data di atas dengan kerusakan pipa dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Penurunan Kekerasan

Nilai rendah (misalnya 96,3 HRB) menunjukkan area yang telah mengalami Korosi, Erosi fluida, Fatigue termal area menjadi titik lemah pipa, rentan terhadap Penipisan dinding, Retak awal (crack initiation), Kebocoran.

b. Ketidakseragaman Kekerasan

Variasi HRB yang besar pada pipa Used menandakan, Distribusi tegangan tidak merata, Degradasi mikrostruktur (perlit–ferrit berubah). Kondisi ini meningkatkan risiko Stress corrosion cracking (SCC), Localized failure.

Hasil akhir dari data diatas adalah baja karbon New memiliki kekerasan lebih seragam dan stabil serta aman dan layak operasi. Baja karbon Used menunjukkan penurunan dan ketidakseragaman kekerasan indikasi awal kerusakan material pipa.

#### **4.4 DATA UJI KIMIA AIR COOLING TOWER**

Pada data operasional cooling tower bulan juli terdapat beberapa data yaitu

##### **4.5.1 Data data pada laporan oprasional *Cooling Tower***

##### **A. pH (Potential of Hydrogen)**

Menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air *cooling tower*.

pH rendah → risiko korosi pipa carbon steel

pH terlalu tinggi → risiko pembentukan kerak (*scaling*)

Umumnya dikontrol di kisaran 6,5 – 8,5

##### **B. Specific Conductivity**

Specific Conductivity (Daya Hantar Listrik Spesifik) Mengukur kemampuan air menghantarkan listrik, yang berkaitan langsung dengan jumlah ion terlarut.

- Nilai tinggi → air lebih konduktif
- Mempercepat reaksi elektrokimia korosi
- Digunakan sebagai indikator *cycle of concentration*

##### **C. SiO<sub>2</sub> (Silika)**

Kandungan silika terlarut dalam air.

- Silika tinggi → berpotensi membentuk kerak keras
- Kerak silika sulit dibersihkan dan menurunkan efisiensi perpindahan panas

#### **D. Cl<sub>2</sub> (Klorin)**

Digunakan sebagai *biocide* untuk mengendalikan mikroorganisme.

- Dosis cukup → mencegah *biofouling* & *MIC*
- Dosis berlebih → dapat mempercepat korosi pada *carbon steel*

#### **E. TDS (*Total Dissolved Solids*)**

Jumlah total zat terlarut dalam air (garam, mineral, ion).

- TDS tinggi → air lebih konduktif
- Meningkatkan risiko korosi dan *scaling*

#### **F. TSS (*Total Suspended Solids*)**

Jumlah partikel padat yang tersuspensi dalam air.

- Nilai tinggi → potensi sedimentasi & *fouling*
- Dapat menyebabkan *under-deposit corrosion*

#### **G. Turbidity(Kekeruhan)**

Mengukur tingkat kekeruhan air akibat partikel halus.

- Turbidity tinggi → indikasi partikel, lumpur, atau mikroorganisme
- Dapat mempercepat *fouling* dan korosi lokal

Hasil rata rata dari data operasional cooling tower pada bulan juli 2025 adalah

| Parameter             | Batasan     | Nilai Rata-rata                  |
|-----------------------|-------------|----------------------------------|
| pH                    | 6.5-8       | 9,27                             |
| Specific Conductivity | <1.000      | 1.870,82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| SiO <sub>2</sub>      | 0-150       | 103,44 mg/L                      |
| Cl <sub>2</sub>       | 0.2-0.5     | 5,50 mg/L                        |
| TDS                   | <300 - <500 | 1.402,36 mg/L                    |
| TSS                   | 100-250     | 1.307,34 mg/L                    |
| Turbidity             | 0-100       | 140,79 NTU                       |

**Tabel 4.3** Rata rata data operasional cooling tower

Relasi Parameter Cooling Tower terhadap Kerusakan Material Pipa

pH Tinggi (9,27), pH basa dapat mengurangi korosi umum baja karbon namun berpotensi menyebabkan alkaline corrosion bila dikombinasikan dengan ion terlarut tinggi, pH tinggi juga memicu pembentukan scale (kerak). Namun pada data operasi pH air juga menunjukkan data menyentuh angka 6 . Berdampak pada scale deposition, aliran tidak stabil, diferensial aerasi, dan korosi.

Konduktivitas Tinggi (1.870,82  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Menunjukkan banyak ion terlarut meningkatkan konduktivitas elektrolit, laju reaksi elektrokimia yang berdampak korosi elektrokimia dipercepat, terutama pada area las dan sambungan pipa.

Silika Sangat Tinggi (103,44 mg/L). Silika mudah membentuk kerak keras (silica scale) yang bersifat sulit dibersihkan dan menjadi tempat terperangkap ion agresif yang berdampak under-deposit corrosion (UDC) pitting pada pipa.

Klorida (5,50 mg/L) Relatif rendah namun dalam kondisi TDS tinggi dan endapan tebal yang tetap berpotensi menyebabkan pitting corrosion lokal.

TDS Tinggi (1.402,36 mg/L). Menunjukkan akumulasi garam mineral yang berkontribusi pada scale, peningkatan konduktivitas yang berdampak pada percepatan korosi, dan fouling internal pipa.

TSS: 1.307,34 mg/L dan Turbidity: 140,79 NTU Sangat Tinggi. Menandakan banyak padatan tersuspensi seperti pasir, lumpur, produk korosi yang berdampak

langsung pada erosion–corrosion (akibat gesekan partikel), kerusakan lapisan pasif baja, mempercepat penipisan dinding pipa.

#### **Keterkaitan dengan Hasil XRF dan Kekerasan (HRB)**

Data operasional cooling tower sangat konsisten dengan temuan pada uji sebelumnya

| Data                          | Indikasi                            |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| XRF (penurunan Mn, Si)        | Material kehilangan unsur protektif |
| HRB (kekerasan tidak seragam) | Degradasi sifat mekanik             |
| Data cooling tower            | Lingkungan sangat agresif           |

**Tabel 4.4** kaitan tiga hasil uji

Berdasarkan data operasional Cooling Tower unit 1 dan unit 2 periode juli 2025 dapat disimpulkan bahwa Indikasi utama potensi dan terjadinya korosi pipa cooling tower ditunjukkan oleh adanya Fe terlarut dalam air sirkulasi, yang dikombinasikan dengan kondisi sistem terbuka (oksigen tinggi) serta TDS/konduktivitas yang cukup tinggi. Parameter ini menunjukkan bahwa pipa carbon steel berada pada lingkungan yang mendukung terjadinya korosi secara gradual.

Hubungan Hasil XRF dengan Kerusakan Pipa Cooling Tower pada umumnya memiliki air dengan oksigen tinggi, pH fluktuatif, Ion agresif, dan Temperatur relatif tinggi. Lingkungan ini sangat agresif terhadap baja karbon.

Mekanisme Kerusakan yang Relevan karena aliran air serta padatan yang terbawa mengikis lapisan pelindung menyebabkan Unsur permukaan berubah dan terbaca berbeda oleh XRF. Juga degradasi sifat mekanik selaras dengan hasil uji kekerasan (HRB) yaitu :

- Kekerasan pipa used lebih rendah & tidak seragam
- Menunjukkan material loss melemah

Keterkaitan XRF dengan Data Kekerasan (HRB).

XRF = menunjukkan perubahan komposisi permukaan.

HRB = menunjukkan penurunan dan variasi sifat mekanik.

Kombinasi keduanya mengindikasikan. Pipa telah mengalami degradasi material akibat servis jangka panjang. Risiko kebocoran dan kegagalan meningkat. Maka material pipa DN 150 adalah baja karbon dengan Fe  $\pm 99\%$ . Pipa Used menunjukkan:

- Penurunan unsur pelindung (Mn, Si, Mo)
- Perubahan komposisi permukaan (Cr, Ni)

Perubahan ini berkorelasi langsung dengan korosi, erosi, penurunan kekerasan. Data XRF mendukung bahwa kerusakan pipa cooling tower bersifat degradasi material, bukan cacat manufaktur.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian komposisi material (XRF), pengukuran ketebalan, uji kekerasan, serta analisis data operasional kualitas air cooling tower PLTU UP Tenayan Raya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Material pipa cooling tower DN150 yang digunakan pada PLTU UP Tenayan Raya adalah baja karbon (carbon steel) dengan kandungan Fe  $\pm 99\%$  dan unsur paduan minor seperti Mn, Si, Cr, Ni, Cu, dan Mo. Hasil uji XRF menunjukkan adanya penurunan unsur protektif (Mn, Si, dan Mo) pada pipa yang telah digunakan, yang mengindikasikan terjadinya degradasi material akibat lingkungan operasi yang agresif.
2. Hasil pengukuran ketebalan menunjukkan bahwa pipa DN150 yang telah digunakan mengalami penurunan ketebalan rata-rata sebesar  $\pm 1,79$  mm atau sekitar 17,84% dibandingkan pipa baru. Penurunan ini menandakan terjadinya proses korosi dan erosi secara berkelanjutan selama masa operasi.
3. Uji kekerasan Rockwell (HRB) menunjukkan bahwa pipa terpakai memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dan tidak seragam dibandingkan pipa baru. Ketidakseragaman ini mengindikasikan degradasi sifat mekanik material, yang berpotensi menjadi titik awal terjadinya retak dan kebocoran.
4. Data kualitas air cooling tower pada periode Juli 2025 menunjukkan nilai pH basa, konduktivitas, TDS, TSS, turbidity, dan silika yang tinggi, yang menciptakan lingkungan operasi yang mendukung terjadinya scaling, fouling, erosion-corrosion, dan korosi lokal (under-deposit corrosion) pada pipa baja karbon.
5. Berdasarkan keterkaitan antara hasil uji material dan data operasional cooling tower, dapat disimpulkan bahwa mekanisme utama kerusakan pipa cooling

tower adalah kombinasi antara korosi lokal, erosi akibat partikel tersuspensi, serta pembentukan deposit dan kerak, bukan disebabkan oleh cacat manufaktur material.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengendalian kualitas air cooling tower perlu ditingkatkan, khususnya pada parameter TDS, TSS, turbidity, dan silika, agar tetap berada dalam batas operasi yang direkomendasikan untuk meminimalkan risiko fouling dan korosi lokal.
2. Optimalisasi sistem blowdown perlu dilakukan secara rutin guna menurunkan konsentrasi padatan terlarut dan tersuspensi di dalam sistem cooling tower.
3. Evaluasi dan penyesuaian chemical treatment (inhibitor korosi, scale inhibitor, dan biocide) perlu dilakukan secara berkala agar lebih efektif dalam menekan pembentukan kerak, pertumbuhan mikroorganisme, dan potensi korosi pitting.
4. Disarankan dilakukan pemantauan ketebalan pipa secara berkala menggunakan metode non-destructive test (NDT), seperti ultrasonic thickness measurement, untuk mendeteksi dini laju penipisan dinding pipa.
5. Penambahan coating/inhibitor sebagai lapisan pelindung permukaan pipa untuk mengurangi deposit yang berpotensi menjadi pemicu korosi lokal.
6. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis laju korosi secara kuantitatif (misalnya coupon test) serta analisis struktur mikro material guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme kerusakan pipa.

## DAFTAR PUSTAKA

Abbas, H., Jamaluddin, J., Arif, M., & Amiruddin, A. (2019). Analisa pembangkit tenaga listrik dengan tenaga uap di PLTU. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 14(1), 9–17.

Afriyanti, F. (2021). *Analisa peningkatan kualitas air pendingin untuk meningkatkan efisiensi cooling tower PLTP Kamojang Unit 1* (Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Ahluriza, P., & Sinaga, N. (2021). Review of the effect of range and approach on the effectiveness of cooling tower at PT. IP. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), 108–115.

ASM International. (2018). *ASM Handbook Volume 10: Materials Characterization*. ASM International.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Chardon Laboratories. (2023). *Cooling tower corrosion: Understanding types and causes*.

Hidayat, U. M. G. (2020). *Uji tarik*. Universitas Muhammadiyah Gresik.

Kalpakistan, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson Education.

Khaerullah, O. F. (2020). *Peran industri pelayaran pada 4 (empat) PLTU di Indonesia* (Skripsi Sarjana Terapan, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang).

Khan, M. A., Siddique, M. A., & Islam, M. R. (2015). *Piping for cooling water circulation between cooling tower and condenser*. Universitas Dhaka.

Pramono, A. W., & Yulianto, A. (2019). Analisis patah lelah pipa cold superheater boiler PLTU 2 Banten – Labuan. *Jurnal Powerplant*, 1(1), 1–9.

Raghuwanshi, B. S. (2017). Engineering Metrology and Measurements. I.K. International Publishing House.

Rahman, A. M. (2022). *Analisis kinerja cooling tower menggunakan metode range dan approach di PLTU Asam-Asam* (Laporan penelitian, Universitas Lambung Mangkurat).

Rifaldo, Z. (2022). *Analisis perpindahan panas pada kondensor tipe shell and tube*. Universitas Medan Area.

Royani, A., Prifiharni, S., Priyotomo, G., Triwardono, J., & Sundjono. (2019). Performa korosi baja karbon pada uji simulasi pipa untuk sistem saluran air pendingin. *Metalurgi*, 34(2), 49–60.

Sari, A., & Hidayat, T. (2020). Analisa mikrostruktur dan kekerasan material baja ST 37. *Jurnal Teknik Mesin Unimal*, 10(2), 55–60.

Sastrawan, I. K. G., & Subagyo, R. (2022). *Analisa perpindahan panas cooling tower (induced draft) PLTU I Pulang Pisau (2 x 60 MW)*. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.

Savoy Piping Inc.. (2023). *Alloy Steel Seamless Pipes ASTM A335 P5| P9| P11| P22| P91*. Diambil dari <https://www.savoypipinginc.com/alloy-steel-pipestubes-tubing-manufacturer/astm-a335-p5-p9-p11-p22-p91-alloy-steel-pipes-tubes-supplier.html>

Sidiq, M. F. (2020). Analisa korosi dan pengendaliannya. *Jurnal Foundry*, Politeknik Manufaktur Ceper.

Syukran, Almujahil, & Muhammad, Fadlyadi. (2020). *Perhitungan efisiensi perpindahan panas pada kondensor di pembangkit listrik tenaga uap unit 2 x 125 MW PT. Bosowa Energi Jeneponto*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.

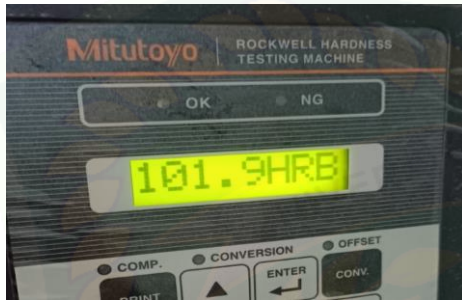
Sulistiyono, W., & Bayuseno, A. P. (2014). Analisis korosi dan erosi di dalam pipa PDAM Semarang. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2(3), 354–363.

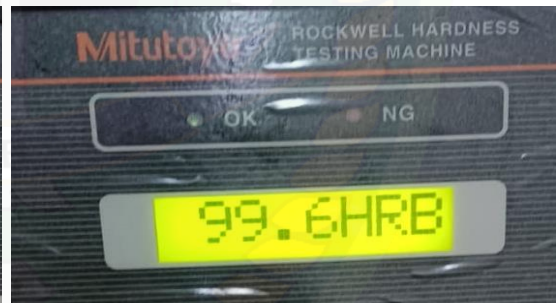
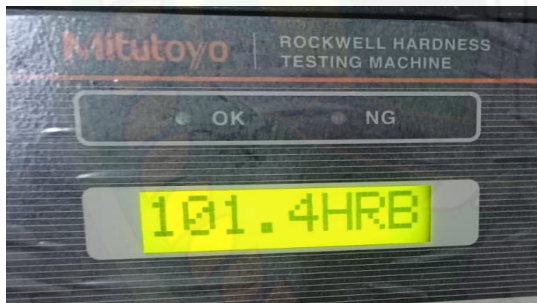
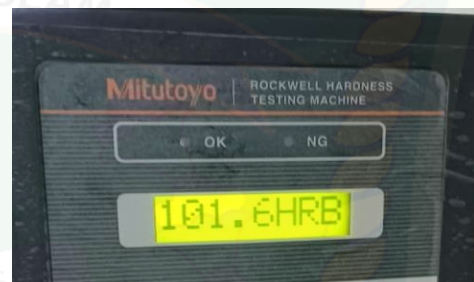
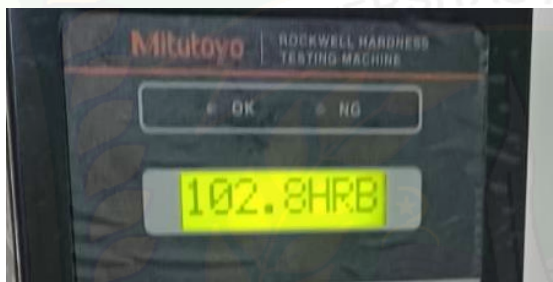
Triyansah, O., & Witanto, Y. (2020). Efektivitas cooling tower fan 6P - 4051 – GB di PT. Pupuk Sriwidjaja sektor STG – BB, Palembang, Sumatera Selatan. *Rekayasa Mekanik*, 4(1), 9–12.

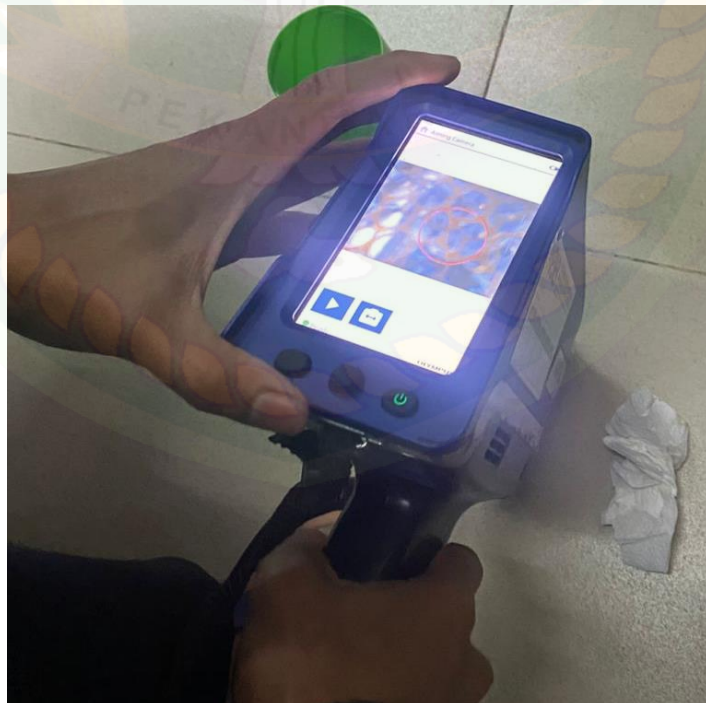
Yunus, A. (2012). Korosi logam dan pengendaliannya: Artikel review. *Jurnal Polimesin*, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

## LAMPIRAN









## CONVERSION TABLE

| BRINELL<br>RENEES | ROCKWELL |      |       |      | ROCKWELL |      | SHORE | SDME<br>Kgf/mm <sup>2</sup> |
|-------------------|----------|------|-------|------|----------|------|-------|-----------------------------|
|                   | A        | B    | C     | C    | 15-N     | 30-N |       |                             |
| 650               | 85.9     | 85.6 |       | 94.5 | 94.6     | 93.2 | 25.2  |                             |
| 650               | 85.8     | 85.3 |       | 91.3 | 94.7     | 93.3 | 24.6  |                             |
| 760               | 82.8     | 85.5 |       | 92.4 | 81.6     | 93.2 | 26.5  |                             |
| 770               | 89.7     | 83.1 |       | 52.9 | 82.0     | 95.9 | 22.3  |                             |
| 790               | 80.5     | 81.7 |       | 94.8 | 81.5     | 96.1 | 22.6  |                             |
| 760               | 83.4     | 82.6 |       | 90.2 | 85.3     | 94.6 | 31.5  |                             |
| 780               | 87.1     | 81.8 |       | 91.1 | 82.1     | 85.7 | 31.8  |                             |
| 780               | 67.4     | 84.6 |       | 91.2 | 85.4     | 81.1 | 31.2  |                             |
| 730               | 86.9     | 50.2 |       | 92.4 | 82.0     | 85.7 | 31.6  |                             |
| 740               | 90.2     | 57.8 |       | 92.9 | 82.7     | 53.1 | 31.6  |                             |
| 760               | 50.9     | 62.1 |       | 53.3 | 81.1     | 73.7 | 32.1  |                             |
| 600               | 87.8     | 52.2 |       | 56.2 | 87.4     | 73.3 | 9.0   | 25.2                        |
| 640               | 62.9     | 96.5 |       | 55.0 | 87.3     | 73.3 |       | 21.8                        |
| 630               | 86.1     | 82.6 |       | 58.5 | 87.3     | 74.2 | 7.1   | 22.2                        |
| 630               | 89.9     | 62.7 |       | 58.4 | 86.4     | 73.9 |       | 21.7                        |
| 640               | 82.6     | 63.0 |       | 53.5 | 86.6     | 73.6 | 7.7   | 21.6                        |
| 640               | 89.1     | 82.3 |       | 53.6 | 84.1     | 75.2 |       | 21.6                        |
| 630               | 89.1     | 61.5 |       | 55.5 | 83.0     | 73.6 | 7.6   | 21.1                        |
| 640               | 89.1     | 52.4 |       | 56.4 | 87.5     | 72.7 |       | 21.4                        |
| 640               | 89.9     | 71.4 |       | 56.0 | 86.1     | 73.4 | 7.8   | 23.8                        |
| 630               | 89.9     | 75.4 |       | 59.3 | 82.1     | 72.7 |       | 19.9                        |
| 620               | 82.8     | 76.3 |       | 89.1 | 89.3     | 73.1 | 7.2   | 19.8                        |
| 670               | 87.2     | 71.8 |       | 67.9 | 80.6     | 72.7 |       | 19.6                        |
| 560               | 87.1     | 10.0 |       | 86.9 | 84.2     | 55.4 | 7.1   | 19.6                        |
| 560               | 87.1     | 79.1 |       | 56.7 | 81.3     | 71.9 |       | 19.2                        |
| 500               | 89.3     | 76.7 |       | 59.0 | 81.9     | 74.7 | 8.9   | 19.5                        |
| 550               | 67.3     | 76.9 |       | 98.0 | 68.3     | 52.4 |       | 12.1                        |
| 500               | 39.2     | 79.5 | 110.0 | 56.1 | 54.6     | 53.3 | 8.2   | 12.4                        |
| 540               | 67.6     | 25.5 |       | 56.5 | 66.0     | 55.7 |       | 12.3                        |
| 540               | 57.2     | 56.1 | 106.0 | 52.3 | 68.7     | 54.3 | 6.9   | 13.8                        |
| 530               | 57.6     | 59.4 |       | 56.2 | 62.0     | 55.4 |       | 14.7                        |
| 560               | 64.3     | 63.5 | 100.0 | 52.9 | 61.0     | 56.4 | 4.7   | 11.3                        |
| 620               | 69.3     | 65.2 |       | 34.6 | 63.2     | 58.4 |       | 12.9                        |
| 570               | 34.2     | 62.4 | 107.0 | 32.3 | 62.2     | 51.3 | 4.5   | 13.8                        |
| 660               | 96.3     | 62.6 |       | 38.9 | 76.0     | 56.5 |       | 14.1                        |
| 590               | 94.5     | 65.1 | 105.5 | 32.4 | 78.1     | 42.2 | 4.6   | 5.0                         |
| 530               | 97.8     | 89.6 |       | 36.6 | 79.6     | 41.3 |       | 9.2                         |
| 640               | 94.1     | 62.6 | 104.0 | 38.5 | 79.5     | 41.0 | 4.9   | 9.2                         |
| 540               | 99.8     | 62.1 |       | 26.3 | 72.5     | 43.3 |       | 9.1                         |
| 550               | 99.8     | 62.1 | 100.0 | 32.3 | 79.5     | 47.2 | 4.9   | 9.3                         |
| 550               | 373      | 62.4 |       | 26.9 | 74.6     | 42.1 |       | 9.3                         |
| 380               | 276      | 60.6 | 99.6  | 32.5 | 73.1     | 42.5 | 4.3   | 9.0                         |
| 330               | 322      | 60.2 |       | 24.4 | 79.5     | 43.0 |       | 9.1                         |
| 320               | 361      | 61.5 | 86.1  | 24.6 | 73.6     | 42.2 | 4.2   | 8.6                         |
| 340               | 369      | 62.4 |       | 21.5 | 72.2     | 41.9 |       | 9.6                         |
| 340               | 399      | 64.2 | 89.5  | 72.0 | 79.0     | 44.1 | 4.5   | 8.2                         |
| 330               | 390      | 60.7 |       | 24.2 | 83.5     | 41.8 |       | 9.4                         |
| 330               | 381      |      | 86.1  | 10.5 |          |      | 3.4   | 5.0                         |
| 330               | 381      |      | 85.4  | 16.5 |          |      | 3.6   | 5.4                         |
| 350               | 283      |      | 65.0  | 15.3 |          |      | 3.7   | 5.2                         |
| 240               | 273      |      | 53.4  | 16.0 |          |      | 3.6   | 5.2                         |
| 380               | 292      |      | 95.5  | 16.4 |          |      | 3.6   | 5.9                         |
| 370               | 261      |      | 91.7  | 11.0 |          |      | 3.6   | 5.4                         |
| 250               | 269      |      | 62.0  | 9.0  |          |      | 3.5   | 5.6                         |
| 320               | 390      |      | 62.7  | 6.0  |          |      | 2.4   | 5.3                         |
| 210               | 130      |      | 78.0  | 6.7  |          |      | 2.9   | 5.9                         |
| 300               | 171      |      | 98.5  | 0.0  |          |      | 2.0   | 4.0                         |
| 170               | 140      |      | 85.1  |      |          |      | 2.0   | 5.5                         |
| 160               | 152      |      | 75.0  |      |          |      | 2.0   | 4.4                         |
| 150               | 133      |      | 71.2  |      |          |      | 2.0   | 4.4                         |
| 140               | 163      |      | 66.7  |      |          |      | 2.0   | 4.4                         |
| 150               | 99       |      | 66.3  |      |          |      |       |                             |
| 150               | 80       |      | 92.0  |      |          |      |       |                             |
| 90                | 81       |      | 41.0  |      |          |      |       |                             |
| 50                | 61       |      | 41.0  |      |          |      |       |                             |

ACME

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
NOMOR : 0179/KPTS/FT-UIR/SI/2025  
TENTANG PENGANGKATAN TIM PEMBIMBING SKRIPSI

**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**

**Menimbang :**

1. Bahwa untuk menyelesaikan perkuliahan bagi mahasiswa Fakultas Teknik perlu membuat Skripsi.
2. Untuk itu perlu ditunjuk Tim Pembimbing penelitian dan penyusunan Skripsi yang diangkat dengan Surat Keputusan Dekan

**Mengingat :**

1. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
5. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
6. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
7. Peraturan Universitas Islam Riau Nomor 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

**MEMUTUSKAN**

**Menetapkan :**

1. Mengangkat saudara-saudara yang namanya tersebut dibawah ini sebagai Tim Pembimbing Penelitian & penyusunan Skripsi Mahasiswa/i Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin

| No | Nama                           | Pangkat | Jabatan    |
|----|--------------------------------|---------|------------|
| 1. | Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T. | Lektor  | Pembimbing |

2. Mahasiswa yang akan dibimbing :

Nama : Irfan Habibi Harahap  
NPM : 213310520  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)  
Judul Skripsi : ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU TENAYAN

3. Keputusan ini berlaku pada tanggal ditetapkannya dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan dikemudian hari segera ditinjau kembali.

Ditetapkan di : Pekanbaru  
Pada tanggal : 17 Maret 2025  
Dekan,



**Dr. DEDDY PURNOMO RETNO, S.T., M.T.**  
NPK. 100502353

*\*Surat ini ditandatangani secara elektronik*



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

F.A.3.10

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. +62 761 674674 Fax. +62 761 674834 Website: [www.uir.ac.id](http://www.uir.ac.id) Email: [info@uir.ac.id](mailto:info@uir.ac.id)

**KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR  
SEMESTER GENAP TA 2024/2025**

NPM : 213310520  
Nama Mahasiswa : IRFAN HABIBI HARAHAP  
Dosen Pembimbing : DR. KURNIA HASTUTI, S.T, M.T  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul Tugas Akhir : ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU TENAYAN  
Judul Tugas Akhir (Bahasa Inggris) : FAILURE ANALYSIS OF COOLING TOWER PIPE MATERIAL AT TENAYAN STEAM POWER PLANT  
Lembar Ke : 1

| NO | Hari/Tanggal Bimbingan | Materi Bimbingan            | Hasil / Saran Bimbingan                                                                                                                                                | Paraf Dosen Pembimbing |
|----|------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | Rabu, 12/2/2025        | Bab 1 Pendahuluan           | Perbaiki penulisan. Termasuk penulisan kutipan (referensi). Tambahkan artikel yang relevan dengan judul pada bagian latar belakang belakang belum ditulis dengan baik. |                        |
| 2  | Rabu, 26/2/2025        | Bab 1 Pendahuluan           | Perbaiki rumusan masalah dan tujuan. Sinkronkan.                                                                                                                       |                        |
| 3  | Rabu, 5/3/2025         | Bab 2 Tujuan Pustaka        | Masukan tentang PLTU secara keseluruhan dan cooling tower                                                                                                              |                        |
| 4  | Rabu, 19/3/2025        | Bab 2 Tujuan Pustaka        | Tambahkan teori korosi<br>Perhatikan format penulisan, sesuaikan dengan template. Bila gambar dan arsip pribadi tidak perlu dituliskan sumber.                         |                        |
| 5  | Rabu, 26/3/2025        | Bab 3 Metodologi Penelitian | Diagram alir penelitian belum menggambarkan keseluruhan tahap penelitian. Perbaiki.                                                                                    |                        |
| 6  | Rabu, 16/4/2025        | Bab 3 Metodologi Penelitian | Semua bahan dan alat yang digunakan harus diceritakan dalam tahapan penelitian. Detailkan tahapan penelitian. Masukan jadwal penelitian                                |                        |
| 7  | Kamis, 17/4/2025       | ACC Seminar                 |                                                                                                                                                                        |                        |
| 8  |                        |                             |                                                                                                                                                                        |                        |



MTKZMZEWDUY

Pekanbaru, .....  
Wakil Dekan I/Ketua Departemen /Ketua Prodi

( )

**Catatan :**

1. Lama bimbingan Tugas Akhir/ Skripsi maksimal 2 semester sejak TMT SK Pembimbing diterbitkan
2. Kartu ini harus dibawa setiap kali berkonsultasi dengan pembimbing dan HARUS dicetak kembali setiap memasuki semester baru melalui SIKAD
3. Saran dan koreksi dari pembimbing harus ditulis dan diparaf oleh pembimbing
4. Setelah skripsi disetujui (ACC) oleh pembimbing, kartu ini harus ditandatangani oleh Wakil Dekan I/ Kepala departemen/Ketua prodi
5. Kartu kendali bimbingan asli yang telah ditandatangani diserahkan kepada Ketua Program Studi dan kopiannya dilampirkan pada skripsi.
6. Jika jumlah pertemuan pada kartu bimbingan tidak cukup dalam satu halaman, kartu bimbingan ini dapat di download kembali melalui SIKAD



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

F.A.3.10

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. +62 761 674674 Fax. +62 761 674834 Website: [www.uir.ac.id](http://www.uir.ac.id) Email: [info@uir.ac.id](mailto:info@uir.ac.id)

**KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR**  
**SEMESTER GANJIL TA 2025/2026**

NPM : 213310520  
Nama Mahasiswa : IRFAN HABIBI HARAHAP  
Dosen Pembimbing : Dr KURNIA HASTUTI ST., MT  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul Tugas Akhir : Analisa kerusakan material pipa cooling tower PLTU Tenayan

Judul Tugas Akhir (Bahasa Inggris) : Analysis of material damage to cooling tower pipes at PLTU Tenayan

Lembar Ke : 1

| NO | Hari/Tanggal Bimbingan    | Materi Bimbingan             | Hasil / Saran Bimbingan                                                                                                            | Paraf Dosen Pembimbing |
|----|---------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | Rabu, 11/juni/2025        | Revisi setelah sempro        | Revisi bab III                                                                                                                     |                        |
| 2  | Senin, 11/agustus/2025    | Persiapan penelitian         | Melengkapi dokumen syarat penelitian dan pengambilan data di Perusahaan. Mempersiapkan data yang perlu diambil                     |                        |
| 3  | Selasa, 23/September/2025 | Pemaparan progres penelitian | Diperlukan uji komposisi. Pengujian kekerasan diganti metode.                                                                      |                        |
| 4  | Selasa, 30/September/2025 | Bab 4                        | Perbaiki penulisan. Ubah susunan penyajian data. Fahami alur kerja cooling tower. Air yang melewati cooling tower. Ada penyaringan |                        |
| 5  | Senin, 06/oktober/2025    | Bab 4                        | Komposisi harus dijelaskan. Bandingkan data material baru dan material yang telah rusak.                                           |                        |
| 6  | Senin, 10/November/2025   | Bab 4                        | Hubungkan semua data. Buatlah penjelasan sehingga tujuan penelitian dapat diselesaikan.                                            |                        |
| 7  | Selasa, 18/November/2025  | Bab 5                        | Perbaiki kesimpulan                                                                                                                |                        |
| 8  | Senin, 22/desember/2025   | Bab 1 - 5                    | ACC                                                                                                                                |                        |

Pekanbaru, 05 Januari 2026  
Wakil Dekan I/Ketua Departemen/Ketua Prodi



( )

Catatan :

1. Lama bimbingan Tugas Akhir/ Skripsi maksimal 2 semester sejak TMT SK Pembimbing diterbitkan
2. Kartu ini harus dibawa setiap kali berkonsultasi dengan pembimbing dan HARUS dicetak kembali setiap memasuki semester baru melalui SIKAD
3. Saran dan koreksi dari pembimbing harus ditulis dan diparaf oleh pembimbing
4. Setelah skripsi disetujui (ACC) oleh pembimbing, kartu ini harus ditandatangani oleh Wakil Dekan I/ Kepala departemen/Ketua prodi
5. Kartu kendali bimbingan asli yang telah ditandatangani diserahkan kepada Ketua Program Studi dan kopiannya dilampirkan pada skripsi.
6. Jika jumlah pertemuan pada kartu bimbingan tidak cukup dalam satu halaman, kartu bimbingan ini dapat di download kembali melalui SIKAD

**SURAT PERMOHONAN SEMINAR PROPOSAL TUGAS AKHIR**  
**(F.01.TM)**

Dengan hormat, saya yang beratanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : IRFAN HABIBI HARAHAAP  
NPM : 213310520  
No HP/E-mail : 082391169360  
IPK : 3.21  
Konsentrasi Bidang : Material  
Judul Tugas Akhir : Analisa Kerusakan Material Pipa Cooling Tower PLTU Tenayan  
Pembimbing : Dr. Kurnia Hastuti, S.T, M.T

Dengan ini mengajukan permohonan untuk dapat melaksanakan seminar proposal Tugas Akhir (SPTA). Bersama dengan surat permohonan ini turut saya lampirkan *Foto Copy Proposal tugas akhir yang sudah ditanda tangan oleh dosen pembimbing dan ketua program studi dan Surat keterangan ACC Seminar dari pembimbing.*

Bila pada waktu seminar yang telah ditetapkan, saya tidak datang tanpa alasan yang jelas, saya bersedia menerima sanksi yang di tetapkan oleh prodi Teknik Mesin.

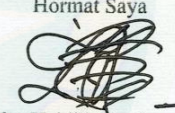
Demikian permohonan seminar proposal tugas akhir ini saya ajukan dan atas perhatian dari Bapak/Ibu, saya ucapkan terimakasih.

Pembimbing

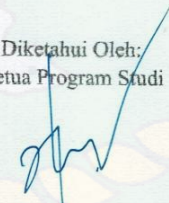
Pekanbaru, 16 April 2025

Hormat Saya

  
Dr. Kurnia Hastuti, S.T, M.T  
NIDN : 1008057102

  
Irfan Habibi Harahap  
NPM:213310520

Diketahui Oleh:  
Ketua Program Studi

  
Ir. Jhoni Rahman B.Eng., M.Eng., PhD(Eng).  
NIDN : 1009038504



UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. +62 761 674674 Fax. +62 761 674834 Website: [www.uir.ac.id](http://www.uir.ac.id) Email: [info@uir.ac.id](mailto:info@uir.ac.id)

**SURAT KETERANGAN ACC SEMINAR PROPOSAL**

Kami yang bertanda tangan dibawah ini, Pembimbing Sidang Tugas Akhir menerangkan bahwa mahasiswa dibawah ini :

Nama : IRFAN HABIBI HARAHAHAP  
NPM : 213310520  
Judul Tugas Akhir : Analisa Kerusakan Material Pipa Cooling Tower PLTU Tenayan

Sehubung dengan telah selesainya penulisan proposal ini, sesuai dengan berita acara bimbingan tugas akhir, maka kepada mahasiswa yang namanya tercantum diatas diberikan kesempatan untuk mengikuti seminar proposal.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatinnya kami ucapkan terima kasih.

Pekanbaru, 16 April 2025

Dosen Pembimbing

  
Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T  
NIDN : 1008057102

**SURAT PERMOHONAN SIDANG TUGAS AKHIR (F.02.TM)**

Kepada Yth.  
Ka Prodi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Di  
Tempat

*Assalamualaikumsalam, wr.wb*

Dengan hormat, saya yang beratanda tangan dibawah ini :

Nama/ NPM : IRFAN HABIBI HARAHAHAP  
No HP/E-mail : 082391169360/irfanhabibiharahap@student.uir.ac.id  
IPK/Semester : 3.21/9  
SKS Lulus : 138 Jumlah Nilai D : 1  
SKS Belum Lulus : 0  
Konsentrasi Bid : Material  
Judul Tugas Akhir : "Analisa Kerusakan Material Pipa Cooling Tower PLTU Tenayan"

Dosen Pembimbing : Dr. Kurnia Hastuti, S.T, M.T

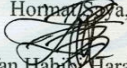
Saya menyatakan bersedia dan sanggup menyelesaikan perbaikan skripsi saya sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh pihak Prodi Teknik Mesin apabila hasil sidang ujian tugas akhir ini ada perbaikan. Sebagai bahan pertimbangan, dengan ini saya lampirkan Transkrip Nilai dan laporan tugas akhir saya.

Demikianlah surat permohonan sidang ujian tugas akhir ini saya buat, atas perhatian dan kebijaksanaan Bapak, saya menghaturkan terima kasih.

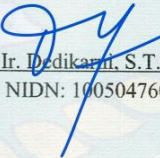
Dosen Pembimbing

  
Dr. Kurnia Hastuti  
NIDN : 1008057102

Pekanbaru, 05/Januari/2026

Hormat saya,  
  
Irfan Habibi Harahap  
NPM : 213310520

Diketahui Oleh  
Ketua Program Studi

  
Dr. Ir. Dedikant S.T., M.Sc  
NIDN: 1005047603

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU****FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Jalan Kaharudin Nasution No. 113 Perhentian Marpoyan

Telp. (0761) 674717 Pekanbaru - 28284

**SURAT KETERANGAN ACC SIDANG TUGAS AKHIR**

Kemi yang bertanda tangan dibawah ini, Pembimbing Sidang Tugas Akhir  
menyatakan bahwa mahasiswa dibawah ini:

Nama : Irfan Habibi Harahap  
NPM : 213310520  
Judul Tugas Akhir : Analisa Kerusakan Material Pipa Cooling Tower PLTU Tenayan

Sehubungan dengan telah selesainya penulisan tugas akhir ini, sesuai dengan berita acara  
bimbingan tugas akhir, maka kepada mahasiswa yang namanya tercantum diatas diberikan kesempatan  
untuk mengikuti sidang tugas akhir.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya untuk itu dapat dipergunakan  
sebagaimana mestinya. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Pekanbaru, 05 Januari 2026  
Dosen Pembimbing

  
Dr. Kurnia Hastuti, S.T, M.T



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. +62 761 674674 Website: [www.eng.uir.ac.id](http://www.eng.uir.ac.id) Email: [fakultas\\_teknik@uir.ac.id](mailto:fakultas_teknik@uir.ac.id)

**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL**

|                        |                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Nama Mahasiswa         | : Irfan Habibi Harahap                                       |
| NPM                    | : 213310520                                                  |
| Hari / Tanggal Seminar | : Selasa, 27 Mei 2025                                        |
| Pembimbing             | : Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.                               |
| Judul Penelitian       | : Analisa Kerusakan Material Pipa Cooling Tower PLTU Tenayan |

**REKOMENDASI HASIL SEMINAR**

|                     |                                                                |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| Judul yang diterima | : <u>Disetujui</u> / Direvisi / dirubah dengan judul yang baru |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|

|                                         |                                             |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Identifikasi Masalah                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Perumusan Masalah                       | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Tujuan Penelitian                       | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Manfaat Penelitian                      | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Defenisi Operasional                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Teori Utama dan Teori Pendukung         | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Hipotesis Penelitian                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Metode dan Desain Penelitian            | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Populasi dan Sampel / Subjek Penelitian | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Varianbel Penelitian                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Instrumen Penelitian                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Teknik Pengumpulan Data                 | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Teknik Analisis Data                    | : <u>Jelas</u> / Kurang Jelas / Dirubah     |
| Daftar Rujukan / Pustaka                | : Relevan / Kurang Relevan / Perlu ditambah |
| Kesimpulan Hasil Seminar                | : Mengulang / <u>Tidak Mengulang</u>        |

**TIM DOSEN PENGARAH / PEMBERI SARAN SEMINAR PROPOSAL**

| Nama Dosen                      | Jabatan Dalam Seminar | Tanda Tangan |
|---------------------------------|-----------------------|--------------|
| 1. Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M. | Ketua                 |              |
| 2. Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc    | Anggota               |              |
| 3. Dody Yulianto, S.T., M.T     | Anggota               |              |

Pekanbaru, 27 Mei 2025  
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D.

Mengetahui,  
Wakil Dekan I  
  
Dr. Mursyidah, M.Sc.

Catatan: Penentuan Kesimpulan Hasil Seminar diputuskan Oleh Tim Pengarah.



**YAYASAN LEMBAGA PENDIDIKAN ISLAM (YLPI) RIAU**  
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia – Kode Pos: 28284  
Telp. +62 761 674674 Website: [www.eng.uir.ac.id](http://www.eng.uir.ac.id) Email: [fakultas\\_teknik@uir.ac.id](mailto:fakultas_teknik@uir.ac.id)

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru, tanggal 19 Januari 2026, Nomor: 0042 /KPTS/FT-UIR/2025, maka pada hari Selasa, tanggal 20 Januari 2026, telah dilaksanakan Ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jenjang Studi S1, Tahun Akademik 2025/2026 berikut ini.

1. Nama : Irfan Habibi Harahap
2. NPM : 213310520
3. Judul Skripsi : Analisa kerusakan material pipa cooling tower PLTU UP Tenayan.
4. Waktu Ujian : 08.00 s.d. 09.00 WIB
5. Tempat Pelaksanaan Ujian : Ruang Sidang 1 Fakultas Teknik UIR

**Dengan keputusan Hasil Ujian Skripsi:**

Lulus\* / Lulus dengan Perbaikan\* / Tidak Lulus\*

\* Coret yang tidak perlu.

**Nilai Ujian:**

Nilai Ujian Angka = 80,03 Nilai Huruf = A

Tim Penguji Skripsi.

| No | Nama                            | Jabatan | Tanda Tangan |
|----|---------------------------------|---------|--------------|
| 1  | Dr. Ir. Kurnia Hastuti, ST., MT | Ketua   | 1.           |
| 2  | Dr. Ir. Dedikarni, ST., M.Sc    | Anggota | 2.           |
| 3  | Ir. Dody Yulianto, S.T., M.T    | Anggota | 3.           |

Panitia Ujian  
Ketua,

Dr. Ir. Kurnia Hastuti, ST., MT.  
NIDN. 1008057102



Pekanbaru, 20 Januari 2026  
Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Kurnia Hastuti, S.T., M.T.  
NIDN. 1008057102



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**  
**DIREKTORAT DAKWAH ISLAM KAMPUS**  
**SERTIFIKAT MEMBACA AL-QUR'AN**

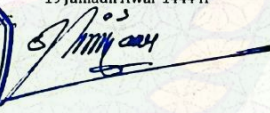
Berdasarkan Peraturan Rektor Universitas Islam Riau Nomor 15 Tahun 2022 Tentang Kewajiban Bisa Membaca Al-Qur'an bagi Dosen, Tenaga Kependidikan dan Mahasiswa Universitas Islam Riau

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Memberikan Sertifikat Kepada | : IRFAN HABIBI HARAHAHAP       |
| Tempat dan Tanggal Lahir     | : Pekanbaru, 21/08/2002        |
| NPM                          | : 213310520                    |
| Fakultas/Prodi               | : Teknik / Teknik Mesin        |
| Tanggal Lulus                | : 30.11.22                     |
| Nomor Seri                   | : 25185.M-S1/BBQ/DDIK-UIR/2022 |

Sertifikat ini diberikan setelah yang bersangkutan memenuhi segala persyaratan yang ditentukan, dan kepadanya dilimpahkan segala hak yang dapat digunakan sebagai persyaratan administrasi berkaitan dengan fungsi sertifikat ini.



Pekanbaru, 13 Desember 2022 M  
19 Jumadil Awal 1444 H

  
**Anton Afrizal Candra, S.Ag., M.Si**  
NIDN. 1013047704



CS Dipindai dengan CamScanner



# UNIVERSITAS ISLAM RIAU

## FAKULTAS TEKNIK

### الْجَامِعَةُ الْإِسْلَامِيَّةُ الرَّيَوِيَّةُ

Alamat: Jalan Kaharuddin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284  
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas\_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

#### SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 005/A-UIR/5-T/2026

Fakultas Teknik Universitas Islam Riau menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

|                    |                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Nama               | : IRFAN HABIBI HARAHAP                                          |
| NPM                | : 213310520                                                     |
| Program Studi      | : Teknik Mesin                                                  |
| Jenjang Pendidikan | : Strata Satu (S1)                                              |
| Judul Skripsi TA   | : ANALISA KERUSAKAN MATERIAL PIPA COOLING TOWER PLTU UP TENAYAN |

Dinyatakan **Bebas Plagiat**, berdasarkan hasil pengecekan pada Turnitin menunjukkan angka **Similarity Index < 30%** sesuai dengan peraturan Universitas Islam Riau yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,

Kaprodi. Teknik Mesin

Dr. Ir. Dedikarni, S.T., M.Sc.

Pekanbaru, 7 January 2026 M  
18 Rojab 1447 H

Staff Pemeriksa

Syatra Safira Anjani, S.Pd

Dosen Pembimbing  
Dr. Kurria HZSKH

## Fakultas Teknik UIR

### IRFAN HABIBI HARAHAHAP - Analisa kerusakan material pipa cooling tower pltu up tenayan

Irfan Habibi Harahap

#### Document Details

Submission ID  
tm:oid::3618:125621809

Submission Date  
Jan 5, 2026, 11:16 AM GMT+7

Download Date  
Jan 5, 2026, 11:34 AM GMT+7

File Name  
inbound841163724297542577 - IRFAN HABIBI HARAHAHAP-9-50 (1).pdf

File Size  
1.4 MB

42 Pages  
6,311 Words  
38,292 Characters

## 15% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

#### Top Sources

11% Internet sources  
5% Publications  
13% Submitted works (Student Papers)

#### Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

11% Internet sources  
5% Publications  
13% Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

|    |                                         |     |
|----|-----------------------------------------|-----|
| 1  | Student papers                          |     |
|    | Universitas Islam Riau on 2025-07-18    | 2%  |
| 2  | Internet                                |     |
|    | docplayer.info                          | 1%  |
| 3  | Internet                                |     |
|    | ejournal.undiksha.ac.id                 | <1% |
| 4  | Internet                                |     |
|    | www.pipestd.com                         | <1% |
| 5  | Internet                                |     |
|    | www.coursehero.com                      | <1% |
| 6  | Internet                                |     |
|    | eprints.untirta.ac.id                   | <1% |
| 7  | Student papers                          |     |
|    | Universitas Islam Riau on 2022-07-06    | <1% |
| 8  | Internet                                |     |
|    | repository.its.ac.id                    | <1% |
| 9  | Student papers                          |     |
|    | Universitas Islam Riau on 2025-11-12    | <1% |
| 10 | Internet                                |     |
|    | repository.uhamka.ac.id                 | <1% |
| 11 | Student papers                          |     |
|    | Pollteknik Negeri Bandung on 2019-08-16 | <1% |

|    |                                                                          |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12 | Publication                                                              |     |
|    | Ahmad Royani. "PERFORMA KOROSI BAJA KARBON PADA UJI SIMULASI PIPA UNT... | <1% |
| 13 | Internet                                                                 |     |
|    | www.localstartupfest.id                                                  | <1% |
| 14 | Student papers                                                           |     |
|    | Universitas Islam Riau on 2025-11-05                                     | <1% |
| 15 | Internet                                                                 |     |
|    | repository.uir.ac.id                                                     | <1% |
| 16 | Student papers                                                           |     |
|    | Universitas Islam Riau on 2022-07-11                                     | <1% |
| 17 | Internet                                                                 |     |
|    | repository.bunghatta.ac.id                                               | <1% |
| 18 | Internet                                                                 |     |
|    | www.scribd.com                                                           | <1% |
| 19 | Student papers                                                           |     |
|    | UPN Veteran Yogyakarta on 2025-09-29                                     | <1% |

|    |                |                                                                            |     |
|----|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 17 | Internet       | repository.bunghatta.ac.id                                                 | <1% |
| 18 | Internet       | www.scribd.com                                                             | <1% |
| 19 | Student papers | UPN Veteran Yogyakarta on 2025-09-29                                       | <1% |
| 20 | Internet       | text-id.123dok.com                                                         | <1% |
| 21 | Internet       | www.betantt.com                                                            | <1% |
| 22 | Student papers | Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti on 2025-07-15 | <1% |
| 23 | Student papers | Universitas Gadjah Mada on 2024-09-18                                      | <1% |
| 24 | Student papers | Universitas Pendidikan Ganesha on 2024-09-26                               | <1% |
| 25 | Student papers | Fakultas Teknik on 2025-09-03                                              | <1% |

|    |                |                                                                                 |     |
|----|----------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 26 | Student papers | Universitas Gadjah Mada on 2025-10-02                                           | <1% |
| 27 | Student papers | Universitas Muria Kudus on 2017-09-19                                           | <1% |
| 28 | Internet       | repository.ub.ac.id                                                             | <1% |
| 29 | Publication    | Sajima Sajima. "Pelindian Natrium Zirkonat Menggunakan Asam Klorida Secara C... | <1% |
| 30 | Student papers | Universitas Diponegoro on 2018-11-12                                            | <1% |
| 31 | Internet       | e-library.polije.ac.id                                                          | <1% |
| 32 | Internet       | indonesian.aluminiumautoradiator.com                                            | <1% |
| 33 | Internet       | www.neliti.com                                                                  | <1% |
| 34 | Internet       | 123dok.com                                                                      | <1% |
| 35 | Publication    | Hadimi Hadimi, Rusadi Rusadi. "Pembuatan model alat pembuang panas untuk a...   | <1% |
| 36 | Student papers | IL Dikti IX Turnitin Consortium on 2025-06-05                                   | <1% |
| 37 | Student papers | Politeknik Negeri Bandung on 2022-12-28                                         | <1% |
| 38 | Student papers | Sriwijaya University on 2021-01-18                                              | <1% |
| 39 | Student papers | Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2022-07-22                              | <1% |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| e-library.pojje.ac.id                                                         | <1% |
| 32 Internet                                                                   |     |
| indonesian.aluminiumautoradiator.com                                          | <1% |
| 33 Internet                                                                   |     |
| www.neliti.com                                                                | <1% |
| 34 Internet                                                                   |     |
| 123dok.com                                                                    | <1% |
| 35 Publication                                                                |     |
| Hadimi Hadimi, Rusadi Rusadi, "Pembuatan model alat pembuang panas untuk a... | <1% |
| 36 Student papers                                                             |     |
| LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2025-06-05                                 | <1% |
| 37 Student papers                                                             |     |
| Politeknik Negeri Bandung on 2022-12-28                                       | <1% |
| 38 Student papers                                                             |     |
| Sriwijaya University on 2021-01-18                                            | <1% |
| 39 Student papers                                                             |     |
| Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2022-07-22                            | <1% |

5

turnitin

Page 5 of 48 - Integrity Overview

Submission ID: tm:oid::3618:125621809

turnitin

Page 6 of 48 - Integrity Overview

Submission ID: tm:oid::3618:125621809

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 40 Student papers                                      |     |
| Universitas Sebelas Maret on 2016-04-30                | <1% |
| 41 Internet                                            |     |
| ejournal.upnvj.ac.id                                   | <1% |
| 42 Internet                                            |     |
| etd.repository.ugm.ac.id                               | <1% |
| 43 Internet                                            |     |
| pt.scribd.com                                          | <1% |
| 44 Internet                                            |     |
| publikasi.unitri.ac.id                                 | <1% |
| 45 Internet                                            |     |
| www.umpan.com.my                                       | <1% |
| 46 Student papers                                      |     |
| Sriwijaya University on 2019-09-18                     | <1% |
| 47 Student papers                                      |     |
| UNESCO-IHE Institute for Water Education on 2024-09-20 | <1% |
| 48 Student papers                                      |     |
| Universitas Bengkulu on 2025-07-09                     | <1% |
| 49 Student papers                                      |     |
| Universitas Negeri Padang on 2018-02-13                | <1% |

6

turnitin

Page 6 of 48 - Integrity Overview

Submission ID: tm:oid::3618:125621809

turnitin

Page 7 of 48 - Integrity Submission

Submission ID: tm:oid::3618:125621809

