

# Analisis Kerusakan Blade Cooling Tower Ammonia (CTA) Menggunakan Material Polimer

M. Ridwan Ihza Taryana

PT. Pupuk Kijang

DOI:

<https://doi.org/10.47134/jlis.v1i3.4760>

\*M. Ridwan Ihza Taryana

Email: [ridwanihza03@gmail.com](mailto:ridwanihza03@gmail.com)

Received: 30-05-2025

Accepted: 30-06-2025

Published: 30-07-2025



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Analisis kerusakan blade cooling tower yang menggunakan bahan polimer di PT Pupuk Kujang Cikampek. Cooling tower merupakan komponen penting dalam sistem pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air pendingin yang telah melewati proses pemindahan panas dari uap keluaran turbin pada condenser. Bahan polimer yang digunakan pada blade cooling tower memiliki kelebihan seperti ringan, tahan erosi dan mudah dibentuk, namun juga rentan terhadap kerusakan akibat faktor-faktor lainnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penyebab utama kerusakan blade cooling tower di PT Pupuk Kujang Cikampek. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, ditemukan bahwa polimer mengalami dilaminasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan operasi cooling tower, dianjurkan untuk memantau dan melakukan pemeliharaan secara berkala. Pemeliharaan yang tepat dapat meminimalkan risiko kerusakan dan memastikan kinerja cooling tower tetap optimal.

**Keywords:** *Blade Cooling Tower*, Dilaminasi

## Introduction

*Cooling Tower Ammonia (CTA)* merupakan komponen penting dalam proses produksi pupuk. CTA berfungsi untuk mendinginkan air yang digunakan dalam proses produksi Ammonia. Blade CTA terbuat dari bahan polimer yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan lain, seperti ringan, kuat, dan tahan korosi. Namun, blade CTA juga memiliki beberapa kelemahan, seperti rentan terhadap kerusakan akibat faktor mekanis, kimia, dan biologi. Kerusakan blade CTA dapat menyebabkan penurunan efisiensi pendinginan, kebocoran air, dan bahkan kerusakan pada komponen lain CTA. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisa terhadap kerusakan blade CTA agar dapat dilakukan tindakan perbaikan yang tepat. Laporan ini bertujuan untuk menganalisa kerusakan blade CTA berbahan polimer pada CTA di PT. Pupuk Kujang Cikampek.

### Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi jenis kerusakan blade CTA.
2. Menentukan penyebab kerusakan blade CTA.
3. Menganalisa dampak kerusakan blade CTA terhadap kinerja CTA.
4. Merekomendasikan tindakan perbaikan untuk mengatasi kerusakan blade CTA.

## Manfaat Penelitian

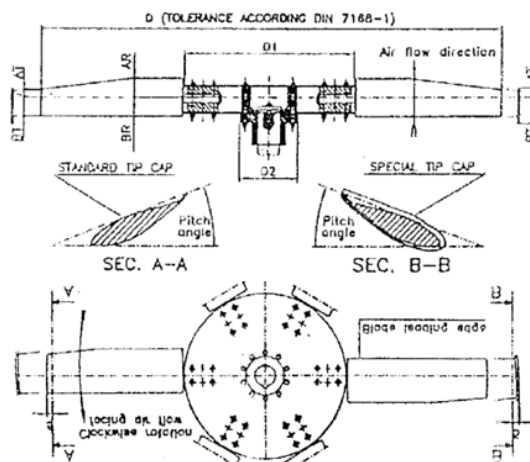
1. Meningkatkan pemahaman perusahaan tentang dampak dan penyebab kerusakan blade CTA
2. Membantu perusahaan dalam menyusun rencana perawatan blade CTA yang lebih efektif.
3. Peningkatan produktivitas dan kualitas produksi mesin.

(Asri, 2013), melakukan penelitian pada gearbox cooling tower dan menemukan frekuensi getaran sebagai indikator kerusakan, yang membantu teknik pemeliharaan prediktif. Meski fokusnya pada gearbox, metode monitoring frekuensi getaran dapat diaplikasikan untuk deteksi kerusakan blade juga.

Penelitian terkait cooling tower yang digunakan untuk sistem amonia juga menyebutkan tentang pengaruh kondisi lingkungan dan kebutuhan pemantauan berkelanjutan untuk mengurangi risiko kerusakan.

## Metodologi

Blade atau bilah pada cooling tower adalah komponen penting yang berfungsi sebagai penggerak utama aliran udara di dalam menara pendingin. Blade biasanya terpasang pada poros kipas dan berputar untuk menciptakan aliran udara yang mendorong udara panas dan lembap keluar dari menara.



Gambar 1. teknik Blade Cooling Tower

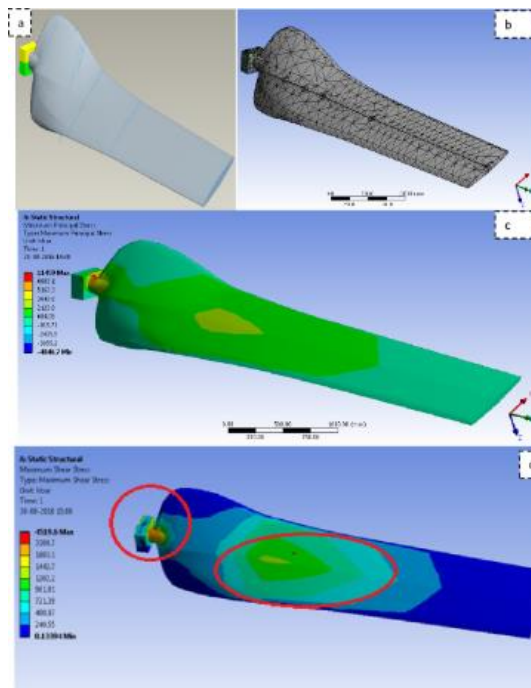
## Faktor Penyebab Kerusakan Blade Cooling Tower

Cooling tower merupakan komponen vital dalam sistem pendinginan industri. Kerusakan pada blade cooling tower dapat berdampak signifikan terhadap efisiensi proses produksi. Oleh karena itu, identifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan blade cooling tower menjadi sangat penting untuk dilakukan.

### Fatigue

Fatigue atau kelelahan material terjadi akibat pembebanan berulang pada blade. Fatigue atau kelelahan material memang merupakan salah satu penyebab utama kerusakan blade cooling tower, dan vibrasi (getaran) yang berulang menjadi pemicu utama terjadinya

fatigue. Kelelahan material menyebabkan munculnya retakan kecil yang kemudian membesar dan menyebabkan patahnya blade.



Gambar 2. Fatigue pada blade (Kushwaha, 2016)

### Erosi

Erosi pada blade cooling tower terjadi akibat gesekan terus-menerus antara permukaan blade dengan air dan partikel padat yang terkandung dalam air tersebut. Air yang bersirkulasi dalam sistem cooling tower dapat membawa serta partikel-partikel asing yang kemudian mengenai permukaan bilah dengan kecepatan tinggi, menyebabkan pengikisan material bilah secara bertahap.



Gambar 3. Erosi pada blade

Pada gambar diatas menunjukkan akibat dari erosi, bilah akan mengalami kerusakan yang signifikan. Permukaan bilah menjadi kasar dan tidak rata karena material terkikis. Hilangnya material bilah pada area tertentu, terutama pada bagian yang sering terkena aliran air dan partikel padat, juga dapat terjadi. Erosi yang parah bahkan dapat mengubah bentuk serta perubahan warna hitam pada bagian terluar bilah secara keseluruhan. Perubahan bentuk ini dapat mengganggu aliran udara dan air yang diperlukan untuk

proses pendinginan, sehingga menurunkan efisiensi pendinginan menara pendingin secara keseluruhan.

### Delaminasi

Delaminasi merupakan masalah yang sering terjadi dan dapat mengganggu kinerja menara pendingin. Delaminasi adalah kondisi ketika lapisan-lapisan material komposit, dalam hal ini polimer dan serat penguatnya, terpisah satu sama lain. Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain paparan terhadap suhu ekstrem, kelembaban tinggi, bahan kimia korosif, atau tekanan mekanis yang berlebihan. Delaminasi pada blade berbahan polimer biasanya terjadi akibat kelemahan pada ikatan antar lapisan material. Faktor ini dapat menyebabkan lapisan-lapisan polimer pada blade terpisah atau terkelupas.

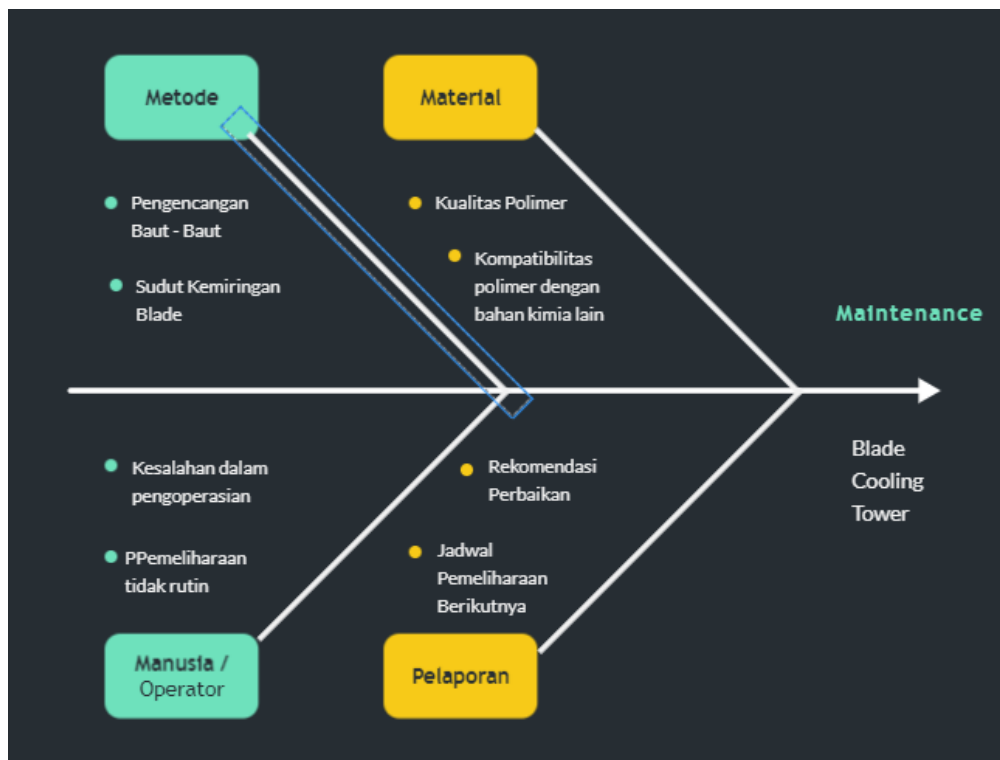


**Gambar 4.** Delaminasi blade

Gambar diatas menunjukkan paparan terhadap suhu ekstrem dan kelembaban tinggi dapat menyebabkan polimer matriks mengalami degradasi, sehingga ikatan antara polimer dan serat penguat menjadi melemah. Selain itu, bahan kimia korosif juga dapat menyerang polimer dan serat, menyebabkan kerusakan pada antarmuka antara keduanya, serta munculnya gelembung atau lapisan yang terkelupas pada permukaan blade. Tekanan mekanis yang berlebihan, seperti beban lentur atau dampak yang berulang, juga dapat memicu delaminasi pada bilah.

## Hasil dan Pembahasan

Untuk memenuhi angka efektifitas terdapat akar – akar permasalahan kegagalan operasi Cooling Tower Ammonia akan diuraikan dengan diagram seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Mintenance (fishbone)

Berdasarkan analisa diagram fisbone pada gambar 5 maka didapatkan beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan mesin. Faktor yang dapat mempengaruhi kerusakan komponen mesin pada fishbone diagram tersebut antara lain terdiri dari faktor manusia, mesin, dan metode. Penjelasan setiap faktor dapat dilihat sebagai berikut :

1. Metode: Metode produksi dan pemasangan blade cooling tower berbahan polimer sangat mempengaruhi kualitas dan umur pakai blade. Metode yang paling sederhana yang dilakukan yaitu pengencangan baut baut pada blade agar tidak terjadi getaran/goyangan yang berlebih saat blade bergerak, dan mengatur sudut kemiringan blade yang telah ditetapkan atau sesuai SOP perusahaan. Berikut ini sudut kemiringan yang digunakan pada SOP perusahaan ditunjukkan pada gambar 6.

C-6B - 2101 B		4/9/24							
NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	
∠	4	5	5	4	4	5	4	5	

Gambar 6. Sudut kemiringan Blade

2. Material: Setiap jenis material memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda, sehingga memerlukan perawatan yang berbeda pula. Bisa dilihat pada table 1 dan table 2.2 itu merupakan perbandingan material Blade yang digunakan.

**Tabel 1.** Perbandingan *Blade* Polimer dan Alumunium.

<b>Karakteristik</b>	<b>Polimer</b>	<b>Alumunium</b>
Kekuatan	Kekuatan tarik bervariasi tergantung jenis polimer. Beberapa polimer serat seperti karbon fiber memiliki kekuatan tarik tinggi, namun umumnya lebih rendah dibandingkan aluminium.	Kekuatan tarik tinggi, terutama pada suhu rendah.
Densitas	Ringan, densitas lebih rendah dibandingkan aluminium.	Lebih berat dibandingkan polimer.
Kekakuan	Kekakuan bervariasi tergantung jenis polimer. Beberapa polimer seperti fiberglass memiliki kekakuan yang baik.	Kekakuan tinggi.
Ketahanan Erosi	Tahan terhadap banyak jenis erosi kimia, namun rentan terhadap degradasi akibat sinar UV dan beberapa bahan kimia tertentu.	Rentan terhadap erosi jika tidak dilapisi, namun lapisan pelindung dapat meningkatkan ketahanan erosinya.
Ketahanan Vibrasi	Umumnya baik, terutama untuk polimer dengan sifat redaman yang baik.	Baik, namun dapat mengalami kelelahan material jika beban vibrasi terlalu tinggi.
Biaya Produksi	Relatif lebih rendah, terutama untuk produksi massal.	Lebih tinggi dibandingkan polimer.
Kemudahan Pemeliharaan	Mudah dibersihkan, namun rentan terhadap kerusakan akibat benturan.	Mudah dibersihkan, namun perlu perawatan tambahan untuk lapisan pelindung.

**Tabel 2.** Kelebihan dan Kekurangan FRP dengan Material lain.

<b>Material</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
FRP ( <i>Fiber Reinforced Polymer</i> )	Kuat, ringan, tahan erosi, umur pakai panjang	Sulit diperbaiki, biaya produksi sedang
ABS ( <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> )	Murah, mudah diproduksi	Kekuatan rendah, ketahanan panas rendah, kurang tahan lama
Epoxy	Kuat, tahan erosi, umur pakai panjang	Sulit diperbaiki, biaya produksi sedang

3. Manusia: Faktor manusia dapat mempengaruhi kualitas pemasangan blade cooling tower pada beberapa aspek, antara lain. Kurangnya pengalaman teknisi dalam pemasangan blade dapat menjadi faktor utama terjadinya kesalahan, karena minimnya pengetahuan mengenai teknik pemasangan yang benar dapat berdampak pada ketidakstabilan dan kinerja sistem. Selain itu, kurangnya pelatihan yang memadai mengenai jenis bahan, penggunaan alat, serta prosedur pemasangan yang tepat juga dapat menyebabkan kesalahan dalam pekerjaan, sehingga berpotensi mempercepat kerusakan blade. Tidak hanya itu, ketidakteelitian dalam proses pengukuran, pemotongan, atau penyambungan dapat mengakibatkan ketidaksesuaian antara blade dengan struktur cooling tower, yang pada akhirnya dapat mengurangi efisiensi serta memperbesar risiko gangguan operasional.
4. Pelaporan: Pelaporan pemasangan blade, khususnya pada cooling tower, merupakan dokumen penting yang mencatat seluruh proses instalasi. Kualitas laporan ini sangat berpengaruh terhadap pemeliharaan dan kinerja sistem di masa mendatang. Salah satu laporan yang diperlukan yaitu laporan pemeliharaan berkala dan laporan rekomendasi perbaikan pada blade.

#### Mekanisme Perawatan

Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh sistem perawatan yang diterapkan. Setiap peralatan, mesin, dan fasilitas yang terlibat dalam proses produksi pasti akan mengalami masalah, sehingga suatu saat pasti akan mengalami kerusakan. Seberapa cepat masalah ini terjadi akan menimbulkan permasalahan sehubungan dengan munculnya gangguan pada keseluruhan proses produksi. Macam-macam perawatan yang dilakukan pada setiap peralatan mesin yaitu daily checklist, preventive maintenance dan corrective maintenance.

Preventive maintenance di PT Pupuk Kujang dilakukan rutin setiap perdua minggunya oleh tim mekanik. Tujuan Preventive maintenance ini salah satunya untuk menjaga performa mesin agar tetap prima dan optimal. Perawatan ini dilakukan pada cooling tower. Adapun peralatan yang sering mengalami kerusakan saat pengambilan data kerja praktik ini yaitu blade cooling tower.

Salah satu langkah yang diambil ketika suatu mesin teridentifikasi mengalami masalah yaitu dengan menganalisa terlebih dahulu komponen bagian mana yang mengalami kerusakan, setelah diketahui maka selanjutnya akan dilakukan tindakan

perbaikan corrective maintenance. Dalam Corrective maintenance ini penulis mengambil data pada blade cooling tower.

Kegiatan pemeliharaan preventif pada blade cooling tower umumnya meliputi:

#### 1. Inspeksi Visual

Melihat kontraktor yang sedang melakukan inspeksi visual pada blade dengan memeriksa adanya retakan, erosi, deformasi, atau kerusakan lainnya. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kondisi blade masih dalam batas aman tanpa adanya tanda-tanda kerusakan yang signifikan.

#### 2. Pembersihan

Saya telah membantu membersihkan blade dari kotoran, lumut, dan endapan mineral dengan menggunakan sikat lembut digunakan untuk membersihkan kotoran yang sulit dijangkau tanpa merusak permukaan blade yang dapat mengurangi efisiensi pendinginan. Setelah dibersihkan, permukaan blade menjadi lebih bersih dan tidak ada sisa kotoran yang dapat menghambat kinerja cooling tower.

#### 3. Pengecekan Baut

Setelah memeriksa setiap baut pada blade untuk memastikan tidak ada yang longgar menggunakan kunci ring pas 27, serta pastikan semua baut dalam kondisi kencang dan aman untuk menjaga stabilitas blade saat beroperasi.

#### 4. Pergantian oli Gear box

Ketika melakukan pergantian oli gearbox cooling tower dengan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan. Kami memulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan, seperti oli mobil shc 630 baru, kunci inggris, wadah penampung oli bekas, serta kain lap untuk menjaga kebersihan area kerja.

Setelah memastikan cooling tower dalam kondisi aman, kami membuka baut drain untuk mengeluarkan oli lama dan menampungnya dalam wadah yang telah disiapkan. Selama proses ini, kami juga memeriksa kondisi oli lama untuk melihat apakah terdapat kotoran atau tanda-tanda keausan yang dapat mengindikasikan masalah pada gearbox.

Setelah oli lama terkuras sepenuhnya, kami menutup kembali baut drain dan mulai mengisi oli baru sesuai dengan kapasitas dan spesifikasi yang dianjurkan. Kami kemudian memeriksa level oli menggunakan dipstick untuk memastikan jumlahnya tepat dan tidak berlebihan.

Langkah terakhir adalah melakukan pemeriksaan kebocoran serta menyalakan kembali sistem untuk memastikan gearbox berfungsi dengan baik. Setelah pengujian selesai dan tidak ditemukan kendala, kami merapikan kembali area kerja serta mencatat pergantian oli ini sebagai bagian dari pemeliharaan rutin.

## Corrective Maintenance

Dalam proses Corrective Maintenance pada cooling tower, terdapat beberapa jenis kerusakan yang sering terjadi pada blade, yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional sistem. Berdasarkan data, kerusakan yang paling umum terjadi adalah retak atau patahnya blade (40%) akibat kelelahan material dan getaran tinggi, yang menyebabkan penurunan efisiensi dan ketidakseimbangan blade. Selain itu, erosi blade (25%) yang disebabkan oleh gesekan udara dan partikel debu juga berkontribusi terhadap menurunnya efisiensi cooling tower.

Kerusakan lainnya seperti deformasi blade (15%), kelonggaran baut atau hub (12%), serta terkelupasnya lapisan pelindung (8%) juga berdampak pada kinerja sistem, mulai dari peningkatan konsumsi energi hingga potensi kerusakan lebih lanjut. Oleh karena itu, tindakan perbaikan seperti penggantian blade, pengecatan ulang, pengencangan baut, serta re-coating menjadi solusi yang diperlukan untuk menjaga performa cooling tower. Data tersebut diambil dari seorang operator yang bertugas di bagian cooling tower tersebut.

**Tabel 3.** Data Kerusakan Blade Cooling Tower

NO	Jenis Kerusakan	Penyebab Utama	Dampak	Tindakan Perbaikan	Frekuensi Kejadian (%)
1	Blade Retak/Patah	Fatigue material, getaran tinggi	Penurunan efisiensi, ketidakseimbangan blade	Penggantian blade baru.	40%
2	Blade Erosi	Gesekan udara & partikel debu	Efisiensi cooling tower menurun	Pengecatan ulang atau pelapisan pelindung	25%
3	Deformasi Blade	Temperatur tinggi & tekanan berlebih	Blade tidak seimbang, meningkatkan konsumsi energi	Penggantian blade atau perbaikan bentuk	15%
4	Baut atau Hub Longgar	Getaran berlebihan, kesalahan pemasangan	Blade berisik, potensi kerusakan lebih lanjut	Pengencangan baut atau penggantian hub	12%
5	Lapisan Pelindung Terkelupas	Usia material, eksposur bahan kimia	Erosi lebih cepat, ketahanan berkurang	Re-coating atau penggantian lapisan pelindung	8%

Dengan memahami pola kerusakan pada blade cooling tower dan menerapkan langkah-langkah *Corrective Maintenance* yang tepat, potensi kerusakan dapat diminimalkan dan umur pakai sistem dapat diperpanjang. Perbaikan pada blade dilakukan dengan beberapa langkah berikut ini:

1. Penggantian blade: Jika blade mengalami retak, patah, atau erosi yang parah, maka perlu dilakukan penggantian.
2. Penyeimbangan blade: Jika blade tidak seimbang, dapat menyebabkan getaran yang berlebihan dan merusak komponen lain.
3. Pembersihan kerak: Jika terdapat kerak yang menempel pada blade, perlu dilakukan pembersihan untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.

Kali ini material blade tidak diganti maka perlu pemeliharaan yang baik agar material tidak cepat rusak. Berikut ini pemeliharaan yang dapat dilakukan. Lakukan inspeksi rutin untuk mendeteksi kerusakan dini dan melakukan perbaikan sebelum kerusakan menjadi lebih parah. Jika kerusakan sudah parah, pertimbangkan untuk mengganti blade dengan yang baru. Pilih material polimer yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang keras. Gunakan pelapis pelindung atau aditif UV untuk meningkatkan ketahanan blade terhadap sinar UV dan suhu ekstrem.

## Simpulan

Perawatan pada cooling tower terdiri dari perawatan preventive serta corrective. Perawatan preventive adalah perawatan yang dilakukan secara rutin dan bersifat kontinyu. Perawatan corrective merupakan perbaikan yang dilakukan setelah suatu peralatan atau sistem mengalami kerusakan atau kegagalan fungsi.

Masalah yang sering terjadi pada cooling tower yaitu erosi serta kerak. erosi akan mengakibatkan material material besi pada cooling tower menjadi cepat rapuh. Kerak yang semakin tebal akan membuat distribusi air terhambat sehingga kinerja cooling tower menurun. Kerusakan dini pada blade, terutama retak dan aus, jika tidak terdeteksi dan ditangani dengan cepat, berisiko menyebabkan kegagalan struktural yang dapat mengakibatkan penghentian mendadak operasi dan kerusakan komponen lain.

Penelitian mendalam pada karakterisasi material blade yang optimal dan pengembangan material tahan korosi khusus untuk sistem amonia, pengujian teknologi monitoring non-destruktif terbaru seperti ultrasonik, akustik, atau sensor getaran dalam kondisi operasi nyata untuk deteksi dini kerusakan blade, studi pengaruh berbagai parameter operasional dan lingkungan terhadap tingkat kerusakan blade guna merumuskan standar operasional dan pemeliharaan yang optimal, serta implementasi program pemeliharaan prediktif berbasis data real-time dari sensor dan analisis kondisi blade untuk meminimalisasi downtime dan biaya perbaikan sangat disarankan.

Jenis cooling tower yang dipergunakan pada unit PLTP Kamojang adalah mechanical draft crossflow tower. Pada jenis ini udara masuk melalui sisi kisi menara yang cukup besar dan bergerak melalui fill. Fan blade dipasang dipuncak menara, dan dari puncak menara tersebut dibuang udara panas dan lembab ke udara bebas.

## Daftar Pustaka

- Admin, B. (2021, March 27). Cooling Tower Maintenance (Top 4 problems). Belzona Blog. <https://blog.belzona.com/cooling-tower-maintenance/>
- Ahluriza, P. & Sinaga, N. (2021). Review Pengaruh Range Dan Approach Terhadap Efektivitas Cooling Tower di PT. IP. 9, no. 2 (2021).
- Asri, R. (2013). Analisis Frekuensi Getaran Gearbox Cooling Tower Untuk Optimalisasi Predictive Maintenance Universitas Pendidikan Indonesia.
- Basavaraj, Y. et al. (2017) Prediction of Blade Resonance of Cooling Tower Fans using Vibration Analysis. Retrieved 11 August 2025, from [https://www.researchgate.net/publication/345740626\\_Prediction\\_of\\_Blade\\_Resonance\\_of\\_Cooling\\_Tower\\_Fans\\_using\\_Vibration\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/345740626_Prediction_of_Blade_Resonance_of_Cooling_Tower_Fans_using_Vibration_Analysis)
- Boiler. (2025). Review on Performance of Existing cooling Tower Fan Blade in the Production Industry. Retrieved 11 August 2025, from <https://www.scribd.com/document/725358385/COOLINGTOWERFANBLADE>
- Chennareddy, R., Tuwair, H., Kandil, U. F., ElGawady, M., & Reda Taha, M. M. (2019). UV-resistant GFRP composite using carbon nanotubes. *Construction and Building Materials*, 220, 679–689. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.167>
- engtechsol.co.uk (2025). Cooling Tower Fan Blade Refurbisheds. Retrieved 11 August 2025, from <https://www.engtechsol.co.uk/wp-content/uploads/2020/04/Fan-Blade-Refurbishments.pdf>
- Fahanani, A. F., & Kamajaya, L. (2023). Leonardo Kamajaya, 2023. Universitas Brawijaya Press.
- Kushawa, T. N. (2025). Fatigue Failure Analysis of A Cooling Fan Blade: A Case Study. Retrieved 11 August 2025, from <https://www.scribd.com/document/405937307/Kuswwaha-Triloki-Nath-fan-blade-cooling-tower>
- Kushwaha, T. N. (2016). Fatigue Failure Analysis of a Cooling Fan Blade: A Case Study. <https://www.semanticscholar.org/paper/Fatigue-Failure-Analysis-of-a-Cooling-Fan-Blade-%3A-A-Kushwaha/c2ffab11662812f8d45633f60357c394e66f2865>
- Medrea, C., Papageorgiou, D. G., Bravos, H., & Chicinas, I. (2021). Failure analysis of a fan blade holding assemblment, installed on the cooling tower of a power plant. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105505. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105505>
- Morita, K. (2021). Ammonia – a fuel of the future? Spectra by MHI. <https://spectra.mhi.com/ammoniaafuelofthe future>
- Oktavianto, A. B, & Tamjidillah, T. (2020). Analisis Kegagalan Operasi Cooling Tower Fan Unit 2B PLTU Asam Asam. *JTAM ROTARY 2*, no. 1 (2020): 65.
- Padasale, B. et al. (2020). Failure Analysis of Cooling Tower Fan-Arm. Retrieved 11 August 2025, from [https://www.researchgate.net/publication/343439521\\_Failure\\_Analysis\\_of\\_Cooling\\_Tower\\_Fan-Arm](https://www.researchgate.net/publication/343439521_Failure_Analysis_of_Cooling_Tower_Fan-Arm)

- Sabarudin, A., Respati, S. M. B. & Dzulfikar, M. (2019). Pengaruh Arah Serat Pada Serat Ampas Tebu Polymer Composites. *Jurnal Ilmiah Momentum* 15, no. 2.
- saracoolingtower.com. (2025). Menara Pendingin FRP, Produsen Menara Pendingin, Harga Menara Pendingin, Harga Menara Pendingin FRP - Menara Pendingin Sara. (n.d.). Retrieved 11 August 2025, from <https://www.saracoolingtower.com/frp-cooling-tower/>
- Setiawan, R. A. & Anugra, B. A. (2025). Blade cooling tower ammonia plant. Retrieved December 10, 2025, from [https://docs.google.com/document/d/1tzQIP8lXUikFjr\\_9jlqliGn9vVFjHb\\_UkabfFmr\\_cK0s/edit?tab=t.0](https://docs.google.com/document/d/1tzQIP8lXUikFjr_9jlqliGn9vVFjHb_UkabfFmr_cK0s/edit?tab=t.0)
- springer.com. (2023). The Synergy Between Corrosion and Fatigue: Failure Analysis of an Aerator and a Cooling Tower | *Journal of Failure Analysis and Prevention*. (n.d.). Retrieved 11 August 2025, from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11668-023-01729-1>
- Technomax\_wp. (2025.). Vibration Analysis Of Fiber Reinforced Plastic Fan Blade. Retrieved 11 August 2025, from <https://www.technomaxme.com/fiber-reinforced-plastic-fan-blade/>
- Tim Bozic. (2010). Aluminum vs FRP Fan Blades—New Cooling Tower Construction, Parts, Maintenance, Upgrades. (2010, November 1). <https://h2ocooling.com/blog/aluminum-versus-frp-fan-blades/>
- Zhao, Z. (2017). FIG. 3. Curve of the torque coefficient of a single blade. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Curve-of-the-torque-coefficient-of-a-single-blade\\_fig5\\_319917730](https://www.researchgate.net/figure/Curve-of-the-torque-coefficient-of-a-single-blade_fig5_319917730)