



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS *ROOT CAUSE OVER* VIBRASI PADA MOTOR
COOLING TOWER UNTUK MENINGKATKAN *LIFETIME*
BEARING DI PT. PERTAMINA *GEOTHERMAL ENERGY***

Oleh:

Fikri Dzakiy Makarim

NIM. 2202441002

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMELIHARAAN ALAT BERAT
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



***ANALISIS ROOT CAUSE OVER VIBRASI PADA MOTOR
COOLING TOWER UNTUK MENINGKATKAN LIFETIME
BEARING DI PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY***

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Teknik Mesin

Oleh:

Fikri Dzakiy Makarim

NIM. 2202441002

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PEMELIHARAAN ALAT BERAT
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**ANALISIS *ROOT CAUSE OVER* VIBRASI PADA MOTOR *COOLING TOWER*
UNTUK MENINGKATKAN *LIFETIME BEARING* DI PT. PERTAMINA
*GEOTHERMAL ENERGY***

Oleh:

Fikri Dzakiy Makarim

NIM. 2202441002

Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

(Dr. Ahmad Maksum, S.T., M.T.)

NIP. 197401042006041001

Pembimbing 2

(Idrus Assagaf, S.ST, M.T.)

NIP. 196811042000121001

Kepala Program Studi

Diploma IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

(Muhammad Todaro S.T., MT.rT)

NIP. 199105012024061003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS *ROOT CAUSE OVER VIBRASI*
PADA MOTOR *COOLING TOWER* UNTUK MENINGKATKAN
LIFETIME BEARING DI PT. PERTAMINA *GEOTHERMAL ENERGY***

Oleh:

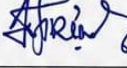
Fikri Dzakiy Makarim

NIM.2202441002

Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan dihadapan Dewan Penguji pada tanggal 9 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Idrus Assagaf, S.ST, M.T.	Ketua		20/7-2026
2.	Asep Apriana, S.T., M.Kom	Anggota		20/7.26
3.	Muhammad Ridwan , S.Hum., M.Hum	Anggota		20/7 '26

Depok, 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

(Dr. Fuad Zainuri S.T., M.Si)

NIP: 197602252000121002



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fikri Dzakiy Makarim
NIM : 2202441002
Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Menyatakan bahawa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik Sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 6 Agustus 2026



Fikri Dzakiy Makarim

NIM. 2202441002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ANALISIS *ROOT CAUSE OVER* VIBRASI PADA MOTOR *COOLING TOWER* UNTUK MENINGKATKAN *LIFETIME BEARING* DI PT. PERTAMINA *GEOTHERMAL ENERGY*

Fikri Dzakiy Makarim¹, Ahmad Maksum^{1*}, Idrus Assagaf¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Cooling Tower Fan Cell E Unit 1 PT Pertamina Geothermal Energy Area Lumut Balai mengalami *overvibrasi* melampaui batas Zona C ISO 10816-3 (4,5 mm/s RMS) untuk *machine group 2 Rigid Foundation*. Penelitian ini bertujuan menganalisis tren vibrasi, mengidentifikasi *root cause* menggunakan metode 5 *Whys* berbasis spektrum FFT, menghitung dampak terhadap umur *bearing* (ISO 281), dan merumuskan rekomendasi berbasis Operation and Maintenance Manual (OMM). Data dikumpulkan menggunakan VibXpert II pada titik NDE dan DE arah H/V/A selama Juli–Oktober 2025. Hasil menunjukkan DE-X mencapai 4,8 mm/s RMS (Zona C) sejak Juli 2025 dan NDE-X meningkat 56,4% hingga 4,849 mm/s pada Oktober 2025. Spektrum FFT mengkonfirmasi Mechanical Looseness sebagai fault primer melalui empat bukti: sub-harmonik 0,45X RPM, dominasi 2X RPM (rasio 5,28:1 terhadap 1X), deret harmonik 3X–4X, dan noise floor tinggi. Analisis 5 *Whys* mengungkap *root cause* adalah ketidakpatuhan terhadap prosedur pengecekan *abnormal vibration* motor mingguan (1W) yang ditetapkan *Operation Maintenance Manual* Hamon, sementara prosedur *bolt tightening* 6 bulan telah dijalankan. *Overvibrasi* memangkas umur bearing dari 30 tahun menjadi 18,31 tahun (turun 38,97%). Rekomendasi meliputi implementasi penuh prosedur 1W OMM dengan log book terstruktur, mekanisme audit kepatuhan OMM bulanan, inspeksi visual korosi baut, dan *dynamic balancing* periodik.

Kata kunci: vibrasi, *Cooling Tower Fan motor*, keandalan bearing, losses daya, panas bumi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ROOT CAUSE ANALYSIS OF EXCESSIVE VIBRATION IN COOLING TOWER MOTORS TO EXTEND BEARING SERVICE LIFE AT PT PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY

Fikri Dzakiy Makarim¹, Ahmad Maksum^{1*}, Idrus Assagaf¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id

Abstract

The Cooling Tower is a vital component of a Geothermal Power Plant (PLTP), functioning to cool The Cooling Tower Fan Cell E Unit 1 motor at PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) Lumut Balai Area has been experiencing over-vibration exceeding the Zone C limit of ISO 10816-3 (4.5 mm/s RMS) for Group 2 flexible-mounted machines. This study aims to analyze vibration trends, identify the root cause using the 5 Whys method supported by FFT spectrum analysis, quantify the impact on bearing life (ISO 281), and formulate recommendations based on the Operation and Maintenance Manual (OMM). Vibration data were collected using a VibXpert II analyzer at NDE and DE points in H/V/A directions across four periods from July to October 2025. Results show the DE-X point reached 4.8 mm/s RMS (Zone C) in July 2025, while NDE-X increased progressively by 56.4% to 4.849 mm/s in October 2025. FFT spectrum analysis confirmed Mechanical Looseness as the primary fault through four signatures: 0.45X RPM sub-harmonic, 2X RPM dominance (5.28:1 ratio over 1X), continuous 3X–4X harmonic series, and elevated noise floor. The 5 Whys RCA revealed the root cause as non-compliance with the weekly abnormal vibration check procedure (1W) stipulated in the OMM (Hamon, EGMH00882 Rev.0, 2018), while the 6-month bolt tightening procedure was consistently performed. Over-vibration reduced bearing life from 30 years to 18.31 years (38.97% reduction). Recommendations include full implementation of the OMM 1W procedure with structured log book, monthly OMM compliance audit, visual bolt corrosion inspection, and periodic dynamic balancing.

Keywords: vibration, Cooling Tower Fan motor, bearing reliability, power losses, geothermal



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala Rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Program Studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat di Politeknik Negeri Jakarta. Skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Syamsurizal, S.E., M.M., selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta.
2. Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, atas arahan, dukungan, serta fasilitas yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan dan menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ahmad Maksum, S.T M.T, selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, kritik, serta saran yang sangat berharga sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Idrus Assagaf S.ST, M.T, selaku Dosen Pembimbing 2, yang telah memberikan bimbingan, masukan, motivasi, serta perhatian selama proses penyusunan skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
5. Kedua orang tua saya bapak Parman, ibu Tinik Surati dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral maupun materil pada skripsi ini.
6. Bapak Surya Hernando Silitonga, S.T. selaku *Quality Control Engineer* PT. Pertamina *Geothermal* Energy Area Lumut Balai yang telah berkenan menjadi mentor. Penulis sangat berterima kasih atas segala bimbingan, arahan, ilmu, pengalaman, serta masukan teknis yang diberikan, sehingga penulis dapat memahami permasalahan di lapangan dengan lebih baik dan menyelesaikan penelitian ini dengan optimal.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Bapak Hervan Otami selaku Tim *mechanical rotating* PT. Nusantara Power Services selaku mentor lapangan selama pelaksanaan penelitian. yang senantiasa membimbing dan memberikan pengetahuan baru bagi penulis.
8. Aranda Maulana Ramadhani atas kebaikan hati dalam meminjamkan laptop kepada penulis sehingga proses penyusunan skripsi dapat berjalan dengan baik. Bantuan tersebut sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Teman-teman saya di Alat Berat, yang telah menyemangati, memberikan bantuan dan menjalani kebersamaan selama ini.
10. Seluruh teman-teman MTs yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, serta menemani penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Kebersamaan, canda tawa, dan hiburan yang diberikan di tengah berbagai tantangan penyusunan skripsi telah menjadi penyemangat tersendiri bagi penulis untuk tetap berusaha menyelesaikan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan di masa mendatang.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Depok, 09 Juli 2026

Fikri Dzakiy Makarim



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LAMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
Astrak	v
Astract	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Landasan Teori	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 <i>Cooling Tower</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 <i>Komponen Cooling Tower</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 <i>Motor Listrik</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 <i>Bantalan (Rolling Element Bearing)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 <i>Vibrasi</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.6 <i>Penyebab Vibrasi</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.7 <i>Root cause Analysis dan 5 Why</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2 <i>Perawatan Cooling Tower Fan Motor Berbasis Operation and Maintenance Manual</i>	Error! Bookmark not defined.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2.1	Filosofi Perawatan Berbasis OMM	Error! Bookmark not defined.
2.2.2	Jadwal Perawatan <i>Cooling Tower Fan Motor</i> Sesuai OMM.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3	Pentingnya Pengecekan Vibrasi Mingguan sebagai Deteksi Dini....	Error! Bookmark not defined.
3	Kajian Literatur	Error! Bookmark not defined.
BAB III	METODE PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1	Jenis Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Kerangka Pemikiran dan Pengembangan Hipotesis.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Objek Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4	Metode Pengambilan Sampel.....	Error! Bookmark not defined.
3.5	Jenis dan Sumber Data Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.6	Metode Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
BAB IV		Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil Pengumpulan Data Vibrasi.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.1	Standar Evaluasi ISO 10816-3 Machine Group 2 Rigid Foundation....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	Data Historis Vibrasi Juli hingga Oktober 2025.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3	Interpretasi Tren Analisis Pola Degradasi	Error! Bookmark not defined.
4.2	Analisis Spektrum Vibrasi (FFT)	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	Parameter Pengukuran Spektrum FFT	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Hasil Pembacaan Spektrum dan Identifikasi Puncak Frekuensi	Error! Bookmark not defined.
4.2.3	Pembahasan Detail Diagnosis Fault Berdasarkan Spektrum.....	Error! Bookmark not defined.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.4 Validasi Diagnosis Perbandingan Pola Spektrum Referensi.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.5 Sintesis Diagnosis Matriks Konfirmasi Fault.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Analisis <i>Root cause</i> dengan Metode 5 <i>Whys</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 Kerangka Analisis dan Hierarki Kegagalan	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Analisis 5 <i>Whys</i> Jalur 2: Kegagalan Sistem Monitoring dan Manajemen Perawatan	Error! Bookmark not defined.
4.3.3 Matriks Validasi Bukti Lapangan	Error! Bookmark not defined.
4.3.4 Konvergensi <i>Root cause</i> Sintesis Kedua Jalur	Error! Bookmark not defined.
4.4 Perhitungan keandalan bearing akibat terjadinya over vibrasi..	Error! Bookmark not defined.
4.5 Rekomendasi Perbaikan Berbasis Kepatuhan OMM	Error! Bookmark not defined.
4.5.1 Implementasi Penuh Prosedur Pengecekan Vibrasi Mingguan Sesuai OMM	Error! Bookmark not defined.
4.5.2 Sistem Verifikasi Kepatuhan OMM oleh Supervisor <i>Maintenance</i> .	Error! Bookmark not defined.
4.5.3 Inspeksi Visual Korosi Baut Sebagai Early Warning	Error! Bookmark not defined.
4.5.4 Dynamic Balancing Periodik Pasca-Perbaikan	Error! Bookmark not defined.
BAB V	5
5.1 Kesimpulan.....	5
5.1.1 Pola dan Tingkat Overvibrasi Berdasarkan Data Historis 2025.....	5
5.1.2 <i>Root cause</i> Overvibrasi Berdasarkan RCA 5 <i>Whys</i>	6
5.1.3 Dampak Kuantitatif dan Rekomendasi Perbaikan Terintegrasi	7
5.2 Saran	8



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.2.1 Saran kepada PT Pertamina <i>Geothermal</i> Energy Area Lumut Balai	8
5.2.2 Saran kepada Tim <i>Maintenance</i>	8
5.2.3 Saran untuk Penelitian Lanjutan.....	9
DAFTAR PUSTAKA	10
LAMPIRAN	14





DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Maintenance Schedule Cooling Tower Fan</i> berdasarkan OMM (Hamon, 2018).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran Vibrasi Rutin.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2 Data historis Nusantara Power Services	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Ringkasan Tren Zona Vibrasi per Periode Pengukuran	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Identifikasi dan Interpretasi Puncak Frekuensi Spektrum FFT Motor DE Horizontal	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5 Perbandingan Pola Spektrum FFT dengan Referensi Standar Diagnosis Fault	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6 Diagnosis Fault Berdasarkan Analisis Spektrum FFT	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7 Analisis 5 <i>Whys</i> Jalur 3.1: Degradasi Fisik Baut Mounting dan Korosi	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 8 Analisis 5 <i>Whys</i> Jalur 3.2: Ketidakpatuhan Prosedur Monitoring OMM	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 9 Validasi Bukti Lapangan <i>Root cause Analysis</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 11 Data acuan untuk perhitungan normal load	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 12 Data Spesifikasi Motor <i>Fan</i>	Error! Bookmark not defined.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Cooling Tower</i> Flow	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 <i>Cooling Tower</i> Basin	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Spray Nozzle.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Drift Eliminator	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Intake flow <i>Cooling Tower</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Name plate CT <i>Fan</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Name Plate Gear Box	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Motor <i>Fan</i> Spesifikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Raiser Piping	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 NCG Pipeline.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 12 Motor Arus DC	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 15 Ball Bearing	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 20 Sistem Getaran pada Pegas.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 21 Karakteristik Vibrasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 22 Deskriptor Amplitudo	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 23 Sensor Simpangan Tak Kontak Kelengkapan dan Cara Pemasangan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 24 Transducer Kecepatan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 25 Transducer Percepatan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 26 Daerah Sinyal Frekuensi.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 27 Lokasi Sensor Getaran.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 28 <i>Fan Blade</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 29 Static Imbalance	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 30 Couple Imbalance	Error! Bookmark not defined.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 2. 31 Dynamic Imbalance	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 32 Imbalance: Overhung Machines	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 33 Imbalance: Vertical Machines	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 34 <i>Misalignment</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 35 Angular <i>Misalignment</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 36 Parallel <i>Misalignment</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 37 Rotating Looseness.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 38 Structural Looseness.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 39 Pedestrial Bearing Looseness	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 40 Scintific Diagram ISO-10816-3.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerja	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Motor <i>Fan</i> dan Data Sheet.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Bearing 6320-3 dan spesifikasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 VibExpert II Analyzer.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Spektrum FFT Motor Cooling Tower <i>Fan</i> Cell E DE Horizontal.....	Error!
	Bookmark not defined.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Dokumentasi Lapangan	14
Lampiran 2: Diagram 5 Whys Analysis	16
Lampiran 3 : Daftar Riwayat Hidup	17



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Operasional unit *Cooling Tower* pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Lumut Balai menghadapi tantangan lingkungan yang sangat korosif akibat keberadaan *Non-Condensable Gas* (NCG) dan uap Hidrogen Sulfida (H₂S). Berdasarkan data operasional, unit *Cooling Tower Fan E* mengalami overvibrasi berkelanjutan yang berdampak pada penurunan efisiensi dan keandalan komponen mekanis. Fenomena overvibrasi ini bukan merupakan masalah tunggal, melainkan hasil dari interaksi kompleks antara faktor lingkungan dan kegagalan manajemen pemeliharaan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, ditemukan bahwa *Misalignment* poros terjadi akibat pergeseran fondasi yang dipicu oleh korosi kimia dari NCG dan uap H₂S. Kondisi ini diperparah oleh kelelahan struktur (*fatigue*) akibat operasi unit yang dilakukan secara nonstop (Julfri Hadi, 2018). Di sisi lain, munculnya Unbalance pada *Fan Blade* diidentifikasi berasal dari akumulasi massa non-seragam berupa scaling mineral H₂S. Penempelan kerak ini tidak hanya menambah beban dinamis, tetapi juga mengubah profil aerodinamis (*angle of attack*) bilah kipas yang merusak gaya angkat (*lift force*) presisi (*Industrial Fan Blade Vibration: Causes, Symptoms & Solutions - ICS - Thailand, 2025*).

Masalah ketiga yang krusial adalah *Mechanical Looseness*. Korosi pada mounting bolts akibat lingkungan yang selalu basah dan terpapar uap korosif menyebabkan penurunan torsi baut secara drastis. Hal ini memicu pergeseran permukaan kontak dan munculnya celah antara motor dengan baseplate (*Industrial Fan Blade Vibration: Causes, Symptoms & Solutions - ICS - Thailand, 2025*). Lemahnya kontrol inspeksi dan ketiadaan SOP spesifik untuk pengecekan torsi baut fondasi menyebabkan degradasi ini berlangsung tanpa deteksi dini. Seluruh rangkaian kegagalan mekanis ini secara akumulatif berkontribusi pada beban dinamis berlebih yang berdasarkan standar ISO 281 akan mempercepat kerusakan bearing motor.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan tinjauan terhadap beberapa penelitian sebelumnya, analisis vibrasi pada mesin berputar umumnya masih berfokus pada identifikasi tingkat getaran dan klasifikasi kondisi mesin berdasarkan standar tertentu tanpa dilanjutkan pada penelusuran akar penyebab kegagalan secara sistematis. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan analisis spektrum getaran dengan metode *Root cause Analysis* (RCA) secara terstruktur khususnya pada sistem *Cooling Tower Fan* di lingkungan *geothermal*. Kondisi tersebut diperparah oleh praktik perawatan yang belum sepenuhnya mendukung deteksi dini kegagalan. Di lapangan, program perawatan yang diterapkan umumnya bersifat reaktif terhadap kerusakan yang sudah terjadi (*run-to-failure*), atau jika terjadwal pun masih berbasis waktu (*time-based Maintenance*) yang tidak mempertimbangkan kondisi aktual komponen. Meskipun pengukuran vibrasi telah dilakukan secara periodik, data yang diperoleh seringkali tidak ditindaklanjuti dengan analisis mendalam karena tidak adanya *threshold* alarm yang terkalibrasi terhadap standar ISO 10816-3, serta tidak tersedianya sistem dokumentasi historis yang memadai untuk mendukung analisis tren jangka panjang. Akibatnya, kondisi overvibrasi yang sebenarnya telah berkembang secara progresif tidak terdeteksi hingga mencapai tahap kritis yang berpotensi menyebabkan kegagalan operasional di lingkungan *geothermal* yang memiliki karakteristik korosif akibat paparan gas H_2S serta tingkat kelembaban yang tinggi, yang berpotensi mempercepat degradasi komponen mekanis seperti bearing dan sistem transmisi. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang tidak hanya mengidentifikasi tingkat vibrasi, tetapi juga menelusuri akar penyebabnya secara komprehensif dengan mempertimbangkan karakteristik lingkungan operasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola dan tingkat overvibrasi *Fan* motor *Cooling Tower* E berdasarkan data historis 2025, termasuk klasifikasi zona ISO 10816-3?
2. Apa *root cause* utama overvibrasi tersebut menggunakan metode *Root cause Analysis* (RCA) 5 *Whys*, khususnya faktor *Misalignment* , unbalance, dan mechanical losses?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Bagaimana usulan perbaikan, SOP inspeksi dan integrasi Condition Based Maintenance (CBM) untuk mencegah terjadinya overvibrasi berkelanjutan?

1.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai, diantaranya sebagai berikut:

1. Menganalisis pola dan tingkat overvibrasi *Fan* motor dari data historis OJT (2025) dan terbaru, termasuk pembagian zona ISO 10816-3.
2. Mengidentifikasi penyebab utama overvibrasi menggunakan metode *Root cause Analysis* (RCA) 5 *Whys*, dengan fokus pada faktor seperti *Misalignment*, *unbalance*, dan *mechanical lossnes*.
3. Menghitung dampak kuantitatif overvibrasi terhadap dan keandalan bearing.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis
Memberikan kontribusi ilmiah mengenai studi kegagalan mekanis pada mesin rotasi di lingkungan panas bumi yang ekstrem.
2. Manfaat bagi perusahaan
Memberikan solusi teknis untuk mengatasi masalah overvibrasi guna memperpanjang umur pakai komponen.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada analisis akar masalah vibrasi pada unit *Cooling Tower Fan E* PLTP Lumut Balai.
2. Analisis dibatasi pada tiga aspek utama: *Misalignment*, *Unbalance*, dan *Mechanical Looseness*.
3. Data yang digunakan merujuk pada histori vibrasi dan observasi fisik komponen baut, fondasi, dan bilah kipas selama periode OJT.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Penulisan skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan skripsi sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah pada penelitian, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang diharapkan dari penelitian, serta sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori penelitian, kajian hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi dan pembanding, serta kerangka pemikiran penelitian ini ditulis.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi tahapan perancangan, pengumpulan data, pelaksanaan simulasi, serta metode analisis yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil yang diperoleh dari proses penelitian serta analisis pembahasan yang dilakukan berdasarkan data dan teori yang relevan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk pengembangan atau penelitian selanjutnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akar penyebab overvibrasi pada Motor *Cooling Tower Fan Cell E Unit 1* di PT Pertamina *Geothermal Energy Area Lumut Balai* melalui pendekatan analisis spektrum FFT dan metode *Root cause Analysis 5 Whys*. Berdasarkan seluruh rangkaian analisis yang telah dilaksanakan pada Bab IV, dapat ditarik tiga kesimpulan utama yang secara langsung menjawab ketiga rumusan masalah penelitian ini.

5.1.1 Pola dan Tingkat Overvibrasi Berdasarkan Data Historis 2025

Berdasarkan analisis data historis pengukuran vibrasi pada empat periode antara Juli hingga Oktober 2025, ditemukan pola degradasi yang progresif dan mengkhawatirkan pada Motor *CT Fan E Unit 1*. Motor diklasifikasikan ke dalam Machine Group 2 – Rigid Foundation sesuai ISO 10816-3, dengan batas Zona C pada 3,5 mm/s RMS dan Zona D pada 3,6 mm/s RMS.

Titik Drive End (DE) arah Horizontal telah memasuki Zona D sejak pengukuran pertama pada Juli 2025 (4,8 mm/s RMS), menandakan bahwa degradasi mekanis sudah berlangsung sebelum periode observasi penelitian ini dimulai. Titik Non-Drive End (NDE) arah Horizontal menunjukkan tren kenaikan progresif sebesar 56,4% dalam tiga bulan dari 3,1 mm/s pada Juli 2025 menjadi 4,849 mm/s pada Oktober 2025, melampaui ambang batas Zona C untuk pertama kalinya. Pada Oktober 2025, kedua titik pengukuran utama secara bersamaan berada di Zona C, yang merupakan kondisi paling kritis selama periode observasi.

Temuan penting lainnya adalah dominansi ekstrem nilai arah Horizontal terhadap Vertikal dengan rasio H/V sebesar 4,26:1 yang konsisten di seluruh periode pengukuran. Pola ini merupakan signature diagnostik kuat untuk structural looseness, mengindikasikan bahwa motor bergerak lebih bebas secara lateral akibat hilangnya kekakuan struktural pada sistem pengikat fondasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5.1.2 Root cause Overvibrasi Berdasarkan RCA 5 Whys

Analisis spektrum FFT yang dilaksanakan pada titik Motor DE Horizontal menggunakan VibXpert II mengidentifikasi empat bukti spektral yang secara sinergis mengkonfirmasi *Mechanical Looseness* sebagai fault primer. Pertama, kehadiran sub-harmonik pada ~11 Hz (0,45X RPM) yang merupakan signature khas structural looseness akibat impacting. Kedua, dominasi puncak 2X RPM (~47 Hz, 6,6 mm/s O-P) dengan rasio 5,28:1 terhadap puncak 1X RPM (1,25 mm/s O-P) pola yang secara tegas mengeksklusikan unbalance sebagai fault primer. Ketiga, deret harmonik berkelanjutan pada 3X RPM (4,30 mm/s O-P) dan 4X RPM (2,50 mm/s O-P) yang konsisten dengan non-linearitas akibat kelonggaran struktural. Keempat, noise floor yang tinggi dan tidak rata di seluruh rentang spektrum, mencerminkan impacting acak dari komponen yang longgar.

Analisis 5 Whys yang dilaksanakan melalui dua jalur paralel mengungkap bahwa *root cause* overvibrasi bersumber pada ketidakpatuhan terhadap prosedur *Operation and Maintenance Manual* (OMM) Cooling Tower khususnya prosedur pengecekan *abnormal vibration* motor setiap minggu (1W) yang ditetapkan. OMM yang ada sudah mengantisipasi risiko kerusakan akibat vibrasi melalui mekanisme monitoring mingguan yang jika dilaksanakan konsisten akan mendeteksi eskalasi vibrasi sebelum memasuki Zona C. Temuan penting dari penelitian ini adalah bahwa prosedur *bolt tightening* 6M sudah dijalankan, namun prosedur pengecekan vibrasi mingguan 1W tidak dilaksanakan secara konsisten — yang menjadi faktor determinan berkembangnya overvibrasi tanpa deteksi dini.:

1. Kegagalan Prosedural: Interval inspeksi torsi baut yang ditetapkan dalam OMM sebesar 6 bulan sekali terlalu panjang untuk mendeteksi laju degradasi akibat korosi H₂S/NCG kontinu dan efek *self-loosening* (efek Junker) di lingkungan *geothermal* yang beroperasi 24/7.
2. Kegagalan Sistem Monitoring: Ketiadaan sistem *Condition Based Maintenance* (CBM) aktif berbasis data vibrasi menyebabkan kondisi overvibrasi Zona D berlangsung selama berbulan-bulan tanpa memicu tindakan korektif yang terstruktur dan tepat waktu.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kedua dimensi kegagalan ini berkonvergensi pada satu *root cause* tunggal: tidak adanya sistem perawatan berbasis kondisi aktual yang mampu mendeteksi dan merespons degradasi baut fondasi secara tepat waktu di lingkungan operasi *geothermal* yang korosif. *Misalignment* angular teridentifikasi sebagai fault sekunder yang kontribusinya diperbesar oleh mekanisme looseness, sedangkan unbalance dikonfirmasi bukan merupakan fault dominan berdasarkan rendahnya amplitudo 1X RPM.

5.1.3 Dampak Kuantitatif dan Rekomendasi Perbaikan Terintegrasi

Perhitungan kuantitatif menggunakan standar ISO 281 menunjukkan bahwa beban dinamis tambahan akibat *overvibrasi* sebesar 4,8 mm/s menghasilkan gaya dinamis sebesar 1.214 N, yang meningkatkan beban total pada bearing menjadi 7.265 N. Kondisi ini memangkas umur bearing dari desain nominal 30 tahun menjadi hanya 17,32 tahun, penurunan umur bearing sebesar 42,27 % yang menempatkan aset pada risiko kegagalan prematur yang serius.

Berdasarkan temuan diagnostik dan kuantitatif tersebut, penelitian ini merumuskan empat rekomendasi perbaikan terintegrasi yang secara langsung menyasar kedua dimensi *root cause*:

1. Implementasi penuh prosedur pengecekan *abnormal vibration* motor setiap minggu (1W) sesuai OMM Hamon hal. 14, disertai pencatatan terstruktur dalam log book resmi sebagai bukti kepatuhan dan sumber data historis.
2. Implementasi SOP Torque Check 8 langkah yang terstruktur, mencakup prosedur LOTO, inspeksi visual, pengukuran torsi, pengencangan dengan torque sequence, dan verifikasi vibrasi pasca-perbaikan.
3. Implementasi mekanisme pengawasan kepatuhan OMM oleh supervisor *Maintenance* melalui audit bulanan terhadap seluruh item *Maintenance schedule*, dengan target tingkat kepatuhan $\geq 95\%$.
4. Penambahan inspeksi visual korosi baut bulanan sebagai *early warning* di antara periode *bolt tightening* OMM 6M tanpa mengubah interval OMM yang sudah ditetapkan produsen.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Keempat rekomendasi ini bersifat saling melengkapi dan harus diimplementasikan secara simultan untuk menghasilkan solusi yang permanen. Implementasi yang parsial misalnya hanya melakukan balancing atau alignment tanpa memperbaiki *looseness* tidak akan memberikan hasil yang berkelanjutan karena akar masalah struktural dan sistemiknya tidak tertangani.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian dan temuan-temuan yang diperoleh selama proses analisis, berikut dirumuskan saran yang ditujukan kepada tiga pihak: PT. Pertamina *Geothermal Energy Area Lumut Balai* selaku pemilik aset, tim *Maintenance* dan engineering selaku pelaksana teknis, serta peneliti lanjutan yang akan mengembangkan topik ini lebih jauh.

5.2.1 Saran kepada PT Pertamina *Geothermal Energy Area Lumut Balai*

Berdasarkan temuan *root cause* yang bersifat sistemik, penelitian ini merekomendasikan agar PT. PGE Area Lumut Balai segera mengambil tindakan prioritas yaitu mengadopsi Sistem CBM Berbasis Data: Prioritaskan implementasi sistem Condition Based *Maintenance* yang mengintegrasikan data vibrasi secara real-time ke dalam sistem manajemen perawatan (CMMS). Hal ini memastikan bahwa kondisi Zona C pada parameter vibrasi akan secara otomatis memicu work order perbaikan tanpa menunggu jadwal inspeksi periodik yang interval-nya tidak sesuai dengan laju degradasi aktual.

5.2.2 Saran kepada Tim *Maintenance*

Kepada tim *Maintenance* dan engineering PT PGE Area Lumut Balai yang bertanggung jawab atas operasional unit CT *Fan*, disampaikan saran teknis berikut:

1. Urutan Tindakan Korektif yang Tepat: Pastikan urutan tindakan perbaikan mengikuti hierarki yang benar: (1) perbaiki *Mechanical Looseness* melalui torque check dan penggantian baut/baseplate yang terdegradasi, (2) lakukan shaft alignment ulang, (3) baru kemudian lakukan dynamic balancing. Melakukan balancing sebelum *looseness* diperbaiki akan menghasilkan perbaikan yang tidak bertahan lama.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Pertimbangan Penggunaan Locking Device: Pada baut-baut kritis yang rentan terhadap self-loosening akibat vibrasi tinggi, pertimbangkan penggunaan thread locker atau lock washer untuk mencegah pengurangan preload secara progresif akibat efek Junker di lingkungan vibrasi kontinu.
3. Dokumentasi Data Vibrasi Terpusat: Bangun sistem penyimpanan data vibrasi historis yang terpusat dan mudah diakses, sehingga analisis tren jangka panjang dapat dilakukan secara sistematis. Data yang tersebar dalam catatan pengukuran periodik tanpa sistem agregasi formal menyulitkan deteksi dini pola degradasi progresif.

5.2.3 Saran untuk Penelitian Lanjutan

Mengingat keterbatasan scope dan metode dalam penelitian ini, berikut disampaikan saran bagi peneliti yang akan mengembangkan topik ini lebih lanjut:

1. Validasi Pasca-Perbaikan: Lakukan pengukuran vibrasi dan analisis FFT setelah implementasi seluruh rekomendasi perbaikan (after commissioning) untuk memverifikasi efektivitas tindakan korektif secara kuantitatif. Perbandingan spektrum sebelum dan sesudah perbaikan akan menghasilkan kontribusi ilmiah yang sangat bernilai.
2. Metode Perhitungan Bearing Life yang Lebih Akurat: Kembangkan perhitungan umur bearing menggunakan equivalent dynamic load berbasis ISO 281, yang mempertimbangkan distribusi beban pada elemen bearing secara lebih tepat dibandingkan pendekatan $F = m \times a$ dengan massa motor total yang digunakan dalam penelitian ini. Penyempurnaan ini akan meningkatkan akurasi proyeksi umur bearing secara signifikan.
3. Studi Komparatif Lintas Unit: Kembangkan penelitian serupa pada unit CT *Fan* Cell lain (Cell Alpha, Bravo, Charlie, Delta, *Fanta*) di PLTP Lumut Balai untuk memvalidasi apakah pola overvibrasi akibat *Mechanical Looseness* bersifat sistemik lintas unit di lingkungan *geothermal* yang sama. Hasil studi komparatif ini akan memperkuat generalisasi temuan dan rekomendasi penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Adinarto, T. W., & Romahadi, D. (2024). Analisis Sinyal Getaran Pompa Cooling Water Tipe Sentrifugal Menggunakan Metode Fft Dan Iso 10816-3. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(1), 42. <https://doi.org/10.22441/jtm.v13i1.20992>
- Amin, T. muhammad, Situmeang, U., & Tanjung, A. (2023). Analisis Kinerja Cooling Fan Terhadap Temperatur Air Untuk Meningkatkan Kinerja Generator Di PLTG Balai Pungut. *SainETIn : Jurnal Sains, Energi, Teknologi, Dan Industri*, 7(2), 56–63. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v7i2.10767>
- Andra, D., Hakim, L., & Surono, B. (2025). Proses Perbaikan Cooler Fan 5W1K14 dengan Mendekteksi Kerusakan berdasarkan Analysis Vibration. 14(02).
- Anoi, Y. H., Yani, A., & Seto, B. A. (2019). Analisis Penyebab dan Perbaikan Vibrasi Pada Fin Fan Blower F1-Ek-9-D1 Milik PT. Badak LNG Bontang. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 48–55. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.920>
- Bentley, J. P. (2005). Principles of Measurement Systems. In *Pearson Education Limited* (Vol. 30, Number 1).
- Busono, P. (2021). ANALISA PENYEBAB TERJADINYA VIBRASI POMPA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER PA-02 AP001. *Reaktor : Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, 18, 40. <https://doi.org/10.17146/bprn.2021.18.1.6276>
- Caesarriani, C. (2025). Analisis Kualitas untuk Mengurangi Defect Produk Sepatu dengan Metode Statistical Process Control dan Root cause Analysis di PT XYZ. *Jurnal Logic: Logistics & Supply Chain Center*, 3(2), 78–86. <https://doi.org/10.33197/jlscc.v3i2.2488>
- Carnegie, N., Suryadi, D., Mesin, T., Teknik, F., Bengkulu, U., Elektro, T., Teknik, F., Bengkulu, U., Supratman, J. W. R., Limun, K., Bangkahulu, M., Vibration, C. M., & Pendahuluan, I. (2020). Analisa Level Getaran Cooling Water Pump 1. *Rekayasa Mekanik*, 4, 25–32.
- Darmawan, I. N., Kholistianingsih, K., Purwanto, A., Yulianto, P., & Pramono, S.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- A. (2023). Pengurangan Gangguan Akibat Kegagalan Pengukuran Vibrasi pada Primary Air Fan (PAF) di PLTU Jateng 2 Adipala Operation and Maintenance Services Unit. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 7(2), 35–46. <https://doi.org/10.32528/jp.v7i2.8306>
- Handoyo, Y. (2015). Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 38–52. <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- Hussain, V. M. S., & Naikan, V. N. A. (2016). Reliability modeling for rotor systems with imbalance based on vibration analysis. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 341–351.
- Ickwanda, 2017. (2019). SIMULASI GETARAN PADA PIRINGAN TUNGGA AKIBAT PERUBAHAN PUTARAN. 175.45.187.195, 31124. [ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri \(0710710019\).pdf](ftp://175.45.187.195/Titipan-Files/BAHAN WISUDA PERIODE V 18 MEI 2013/FULLTEKS/PD/lovita meika savitri (0710710019).pdf)
- Industrial Fan Blade Vibration: Causes, Symptoms & Solutions - ICS - Thailand*. (2025). https://icsthailand.co.th/industrial-Fan-Blade-vibration/#Effective_Solutions_for_Common_Vibration_Issues
- ISO-281-2007. (2022). *INTERNATIONAL STANDARD iTeh STANDARD PREVIEW iTeh STANDARD PREVIEW*. 2022, 6.
- ISO 10816-3:2000 (E). (2009). International Standard International Standard. 61010-1 © Iec:2001, 2009, 13.
- Julfi Hadi. (2018). Perbaikan Fan Dan Housing Motor Cooling Tower Di Unit 3 PLTP Lahendong. 4(3), 57.
- Kim, Y. H., Kim, H. J., Moon, J. W., & Jung, S. Y. (2017). A study on the estimation of bearing life of electric motor using ISO 281 and accelerated life test. *2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety, ICSRS 2017, 2018-Janua*, 223–226. <https://doi.org/10.1109/ICSRS.2017.8272825>
- Krodkiewski, J. M. (2008). *Mechanical vibration 436-431 Mechanics 4 Unit 2*. 247.
- Mobius Institute. (2012). *Vibration Analysis Distance Learning*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Mubarak, M. R., Apriana, A., Mulyana, F., Studi, D., Mesin, T., Mesin, J. T., Jakarta, P. N., & A, J. P. G. (2023). Studi Kasus Kerusakan Bearing Mesin Filling Up Tube Nordenmatic 702. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 82–89.
- Muhammad Idham Yahya. (2025). ANALISA VIBRASI PADA KERUSAKAN BEARING TURBINE. *TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA*, 2(1), 41–49.
- Pasetyo, A. T. S. (2018). *DETEKSI CACAT LINTASAN DALAM BANTALAN BOLA PADA POROS ENKOL (CRANK SHAFT) MESIN VESPA MENGGUNAKAN ANALISIS ENVELOPE GETARAN*. 32(3), 167–186.
- Pertmina Geothermal Project, L., Project, L., Fcrs, G., Project, P. P., & Data. (2019). *As Built Lumut Balai Project*.
- Raffi, S., & Rahman, H. (2025). *Analisis Penyesuaian Kemiringan Sudut Blade Fan Terhadap Kinerja Dan Getaran Cooling Tower Cell-B Pltp Unit 4 Pt Xyz*. 2340–2349.
- Raihan Pratamasyah Nugraha. (2023). INSPEKSI VIBRASI PADA BEARING TURBIN PLTU 100 MW. *Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta*, 4–46.
- Ramadona, R. D., Widodo, A., Haryanto, I., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2024). *Ekstraksi fitur domain waktu sinyal getaran pada bearing za-2115 1*. 12(3), 258–263.
- Sandi Satria W, Aris Budiyo, M. H. A. (2021). Guidance Handbook Operation Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lumut Balai Unit 1. In *PT.Pertamina Geothermal Energy Area Lumut Balai (Vol. 1)*. <https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/guidance-handbook-and-q-and-a/>
- Shohibul Wafa, S. P. (2023). *Pengaruh Getaran Mesin-Mesin Pabrik*. 517–522.
- Sihombing, S., Naibaho, W., Nababan, W., & Sinaga, A. (2023). Analisa Karakteristik Getaran Pada Mesin Stone Crusher Berdasarkan Kapasitas Pemecah Batu Koral 50 Ton/Jam Pada Daerah Horizontal, Vertikal dan Longitudinal Berdasarkan Time Domain. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 173–180. <https://doi.org/10.36655/sprocket.v4i2.895>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sitompul, M. A. (2024). Implementasi Metode *Root cause Analysis* (RCA) untuk Mengendalikan Reject Produk NP Project di PT. XYZ. *Journal of Manufacturing in Industrial Engineering & Technology*, 3(2), 83–92.

<https://doi.org/10.30651/mine-tech.v3i2.24157>

SKF. (2025). 6320 / C3 (6320 / C3).

SPX Cooling Technologies, I. (2009). *Cooling Tower Fundamentals*.

<https://doi.org/10.1201/9780203912492.pt4>

Sulthon Raffi Asshidiq. (2025). ANALISIS PENYESUAIAN KEMIRINGAN SUDUT *BLADE FAN* TERHADAP KINERJA DAN GETARAN COOLING TOWER CELL-B PLTP UNIT 4 PT XYZ. *Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta*, 1(69), 5–24.

vikinganalytics. (2024). *Vibration Condition Monitoring Fundamentals: Key Vibration Metrics Explained*No Title.

<https://www.vikinganalytics.se/publications/vibration-condition-monitoring-fundamentals-key-vibration-metrics-explained>

Wibawaputra, D. R. A. (2024). Analisis Spektrum Vibrasi Pada Motor Cooling Tower 2 di WHRS PT. Cemindo Gemilang Bayah. *Thesis Politeknik Negeri Jakarta*, 1(69), 5–24.

Wibawaputra, D. R. A., Gunadi, G. G. R., & Santoso, B. (2024). Analisis Sinyal Vibrasi Untuk Mendeteksi Kerusakan Pada Motor Cooling Tower Pabrik Semen XYZ. *Prosiding B Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 1549–1555. <http://prosiding.pnj.ac.id>

Yongkimandalan, N., & Ariyansah, R. (2023). Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Motor Listrik dengan Analisa Sinyal Getaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(2), 152. <https://doi.org/10.22441/jtm.v12i2.2009>

LAMPIRAN

Lampiran 1: Dokumentasi Lapangan

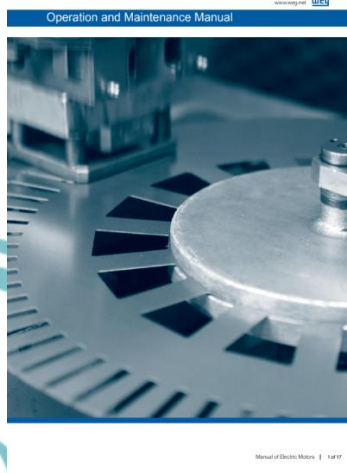
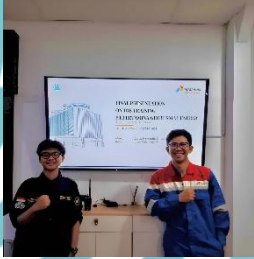
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

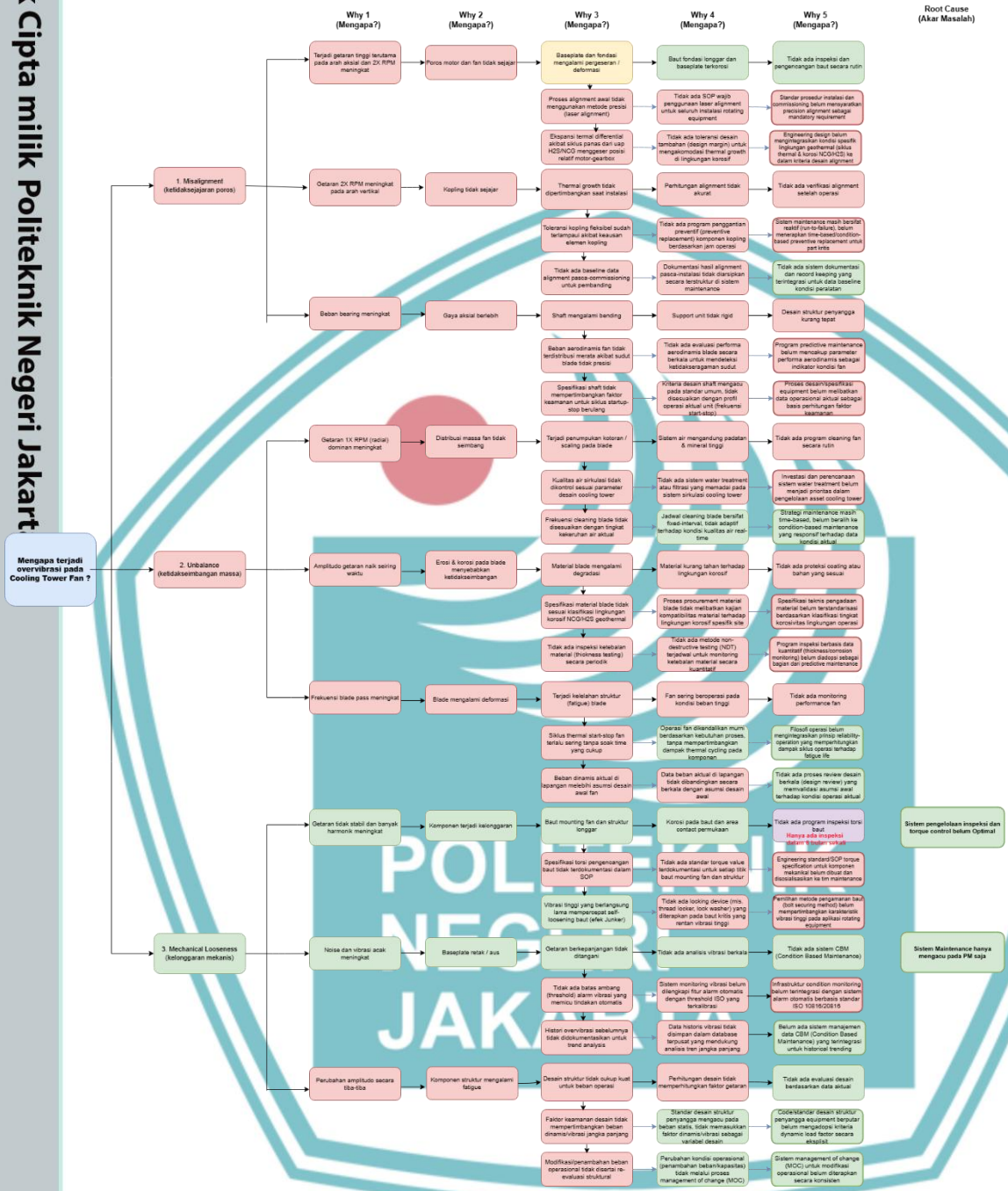
<i>Landmark Geothermal PowerPlant-Unit 1</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	
<i>Proses Pengambilan Data Vibrasi</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	
<i>Operation And Manual Maintenance For Cooling Tower</i> (Sumber: LMB-Project)	

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<i>Operation And Manual Maintenance WEG Motor</i> (Sumber: <i>LMB-Project</i>)	
Final Presentasi OJT dengan mentor Bapak Surya Hernando Silitonga, S.T. (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	
Foto bersama Tim Operator PT. Pertamina <i>Geothermal Energy Area</i> Lumut Balai (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	
Foto bersama Tim Rotating <i>Maintenance</i> PT. Nusantara <i>Power Services</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	

Lampiran 2: Diagram 5 Whys Analysis





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 : Daftar Riwayat Hidup

Daftar Riwayat Hidup



1. Nama Lengkap : Fikri Dzakiy Makarim
2. NIM : 2202441002
3. Tempat, Tanggal Lahir : Bojonegoro, 16 Februari 2004
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Alamat : Jl. Bintara VI, Kel. Bintara, Kec. Bekasi Barat, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat.
6. Email : fikridzakiymakarim@gmail.com
7. Pendidikan
 - SD (2010-2016) : SDN Bintara 1
 - SMP (2016-2019) : MTs N 24 Jakarta
 - SMA (2019-2022) : SMKN 34 Jakarta
8. Program Studi : Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat
9. Bidang Peminatan : Teknik Alat Berat
10. Tempat/Topik OJT : PT. PERTAMINA *GEOTHERMAL ENERGY*