



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 ESTIMASI KEANDALAN (*RELIABILITY*) DAN
MEAN TIME TO FAILURE (MTTF) PADA KOMPONEN SEAL
SILINDER HIDROLIK MESIN *HOT PRESS* PADA
PT XYZ**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh :

Okie Ferdiansah
NIM : 2302311005

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

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

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS ESTIMASI KEANDALAN (*RELIABILITY*) DAN *MEAN TIME TO FAILURE (MTTF)* PADA KOMPONEN SEAL SILINDER HIDROLIK MESIN *HOT PRESS* PADA PT XYZ

Oleh :

Oki Ferdiansah

2302311005

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Ir., Rosidi, S.T., M.T.

NIP. 196509131990031001

Pembimbing 2

Budi Yuwono, S.T.

NIP. 196306191990031002

Ketua Program Studi

Diploma III Teknik Mesin

Nabila Yudisha, S.T., M.T.

NIP. 199311302023212045



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

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS ESTIMASI KEANDALAN (*RELIABILITY*) DAN *MEAN TIME TO FAILURE* (MTTF) PADA KOMOPNEN SEAL SILINDER HIDROLIK MESIN *HOT PRESS* PT XYZ

Oleh:

Oki Ferdiansah

NIM. 2302311005

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 13 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Diploma III pada program studi Diploma III Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Ir. Sepriandi Parningotan. S.T., M.T. NIP:199409072024061001	Penguji 1		13 Juli 2026
2.	Andy Permana Rusdja, S.S.T., M.T NIP:199302222024061001	Penguji 2		13 Juli 2026
3.	Ir., Rosidi, S.T.,M.T NIP:196509131990031001	Moderator		13 Juli 2026

Depok, 13 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.T.
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 ORISINIL

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Oki Ferdiansah

NIM : 2302311005

Program Studi : Diploma III Teknik Mesin

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir 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 telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Tangerang Selatan,



Oki Ferdiansah

NIM. 2302311005



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 Estimasi Keandalan (Reliability) dan Mean Time to Failure (MTTF) pada Komponen Seal Silinder Hidrolik Mesin Hot Press

Oki Ferdiansah¹, Rosidi², Budi Yuwono³, Nugroho Eko Setijogiarto⁴

Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Kampus UI Depok, 16424

Email: oki.ferdiansah.tm23@stu.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik distribusi data kegagalan pada komponen *seal* hidrolik, menganalisis tingkat keandalan (*reliability*) komponen untuk mengetahui probabilitas komponen dapat berfungsi dengan baik dalam interval waktu tertentu, serta menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi jadwal penggantian komponen secara proaktif bagi departemen *maintenance* PT XYZ. Penelitian ini menggunakan metode *mixed methods* dengan pendekatan studi kasus pada komponen *seal* silinder hidrolik mesin *hotpress* di Departemen *Pad and Shoe* PT XYZ. Analisis kualitatif menggunakan metode *5 Why* untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan, sedangkan analisis kuantitatif menggunakan *reliability engineering* dengan distribusi Weibull untuk menganalisis keandalan dan menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF). Data diperoleh melalui observasi, wawancara, studi dokumentasi, dan studi pustaka, dengan menggunakan data historis kegagalan komponen *seal* periode Februari–April. Hasil analisis digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi *Corrective Action and Preventive Action* (CAPA) yang mengacu pada ISO 9001:2015 Klausul 10.2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola distribusi kegagalan bersifat deterministik-progresif (*wear-out*) dengan laju kegagalan $\lambda = 0,00625$ kegagalan/jam, serta parameter Weibull $\beta = 1,21$ dan $\eta = 170$ jam. Nilai keandalan komponen menurun seiring waktu operasi, yaitu 79,66% pada jam ke-50, 59,09% pada jam ke-100, dan 39,48% pada MTTF 160 jam. Nilai MTTF sebesar 160 jam menjadi acuan rekomendasi penggantian preventif pada 128 jam atau interval 37–59 jam untuk mencapai target keandalan $R(t) \geq 70-80\%$. Analisis *5 Why* menunjukkan bahwa akar penyebab utama kegagalan adalah ketidaksesuaian spesifikasi material *seal* NBR dengan kondisi operasi mesin 150°C, yang



© 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

diperparah oleh belum adanya sistem perawatan preventif berbasis data keandalan. Penyebab kegagalan meliputi degradasi termal material NBR (35,7%), *pressure spike* (25,0%), kontaminasi fluida hidrolik (17,9%), *mis pemasangan seal* (14,3%), dan pengoperasian melampaui interval penggantian optimal (7,1%).





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 Estimasi Keandalan (Reliability) dan Mean Time to Failure (MTTF) pada Komponen Seal Silinder Hidrolik Mesin Hot Pres

Oki Ferdiansah¹, Rosidi², Budi Yuwono³, Nugroho Eko Setijogiarto⁴

Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: oki.ferdiansah.tm23@stu.pnj.ac.id

ABSTRACT

This study aims to identify the failure data distribution characteristics of hydraulic seal components, evaluate component reliability by determining the probability of the components operating properly within a specified time interval, and determine the Mean Time to Failure (MTTF) as a basis for developing proactive component replacement schedules for the maintenance department of PT XYZ. The study employed a mixed-methods approach with a case study focusing on the hydraulic cylinder seals of a hot press machine in the Pad and Shoe Department of PT XYZ. Qualitative analysis was conducted using the 5 Why method to identify the root causes of failure, while quantitative analysis applied reliability engineering and Weibull distribution to evaluate component reliability and determine the Mean Time to Failure (MTTF). Data were collected through observation, interviews, document analysis, and literature review, using historical failure data of seal components from February to April. The analytical results were used as the basis for developing Corrective Action and Preventive Action (CAPA) recommendations in accordance with Clause 10.2 of ISO 9001:2015. The results showed that the failure distribution pattern was deterministic-progressive (wear-out), with a failure rate of $\lambda = 0.00625$ failures/hour and Weibull parameters of $\beta = 1.21$ and $\eta = 170$ hours. Component reliability decreased with operating time, reaching 79.66% at 50 operating hours, 59.09% at 100 hours, and 39.48% at the MTTF of 160 hours. The MTTF value of 160 hours was used as the basis for recommending preventive replacement at 128 hours or within an interval of 37–59 hours to achieve a reliability target of $R(t) \geq 70\text{--}80\%$. The 5 Why analysis identified the primary root cause of failure as the incompatibility between the NBR seal material specifications and the machine operating temperature of 150°C , further exacerbated by the absence of a reliability data-based preventive maintenance system. The identified failure causes included thermal degradation of NBR material (35.7%), pressure spikes (25.0%), hydraulic fluid contamination (17.9%), improper seal installation (14.3%), and operation beyond the optimal replacement interval (7.1%).



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul: “ANALISIS ESTIMASI KEANDALAN (RELIABILITY) DAN MEAN TIME TO FAILURE (MTTF) PADA KOMPONEN SEAL SILINDER HIDROLIK MESIN *HOT PRESS* PADA PT XYZ” Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.) pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Diploma III Teknik Mesin di Politeknik Negeri Jakarta. Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan pengalaman yang diperoleh penulis selama menjalani Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT XYZ, khususnya pada Departemen Pad and Shoe. Melalui penelitian ini, penulis berupaya menganalisis tingkat keandalan komponen seal silinder hidrolik pada mesin *Hot Press* menggunakan metode distribusi Weibull serta menghitung nilai Mean Time To Failure (MTTF) sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemeliharaan preventif yang lebih terstruktur. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
3. Ir., Rosidi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Budi Yuwono, S.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir
5. Kedua Orang tua, dan Keluarga yang telah memberikan dukungan selama masa kuliah dan doa yang baik kepada penulis dalam kelancaran dan penyelesaian Tugas Akhir.



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

6. Teman-Teman M23 yang secara tidak langsung memberikan semangat motivasi dan dukungan kepada penulis pada masa kuliah dan juga saat penyusunan tugas akhir
7. Teman-teman magang yang banyak membantu, berbagi pengetahuan, dan dukungan kepada penulis selama masa magang dan penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa banyak sekali kekurangan yang terdapat dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena ini, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan bagi penulis. Akhir kata, semoga tulisan ini mampu membawa manfaat bagi penulis sendiri dan juga bagi para pembaca.



**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 ISI

KATA PENGANTAR	5
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Hidrolik	6
2.1.1 Jenis - jenis Sistem Hidrolik	7
2.1.2 Sistem Hidrolik tertutup	7
2.2 Mesin <i>Hot Press</i>	8
2.3 Seal Hidrolik	8
2.3.1 Jenis Jenis seal pada silinder utama	9
2.3.2 Faktor faktor penyebab kerusakan seal.	9
2.4 Analisis Keandalan (Reliability Analysis)	10
2.5 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF)	13
BAB III	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Jenis Penelitian	16
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	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

3.4 Objek Penelitian	17
3.5 Teknik Pengumpulan Data	18
3.5.1 Observasi Lapangan	20
3.5.2 Wawancara	20
3.5.3 Studi Dokumentasi	20
3.5.4 Studi Pustaka	21
3.6 Variabel Penelitian	21
3.7 Metode Analisis Data	23
3.7.1 Metode 5 <i>Why</i>	25
3.7.2 Metode CAPA (Corrective Action Preventive Action)	27
3.8 Instrumen dan Alat Penelitian	29
3.9 Keabsahan dan Validitas Data	30
BAB IV	32
HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Identifikasi data utama dari catatan lapangan	32
4.2 Estimasi Parameter Bentuk (β) Distribusi Weibull	32
4.2.1 Memperoleh nilai β	32
4.3 Identifikasi Tema Utama dari Catatan Lapangan	33
4.4 Data kerusakan dan analisis penyebab seal hidrolik	34
4.4.1 Identifikasi Penyebab Kerusakan (Root Cause Analysis)	34
4.5 Analisis Kondisi Operasi terhadap Spesifikasi Komponen Seal	35
4.5.1 Tekanan Operasi 150 Bar	35
4.5.2 Suhu Operasional 150°C untuk menentukan bahan seal hidrolik	36
4.5.3 Interaksi Tekanan dan Suhu (Combined Loading) proses produksi	37
4.6 Analisis Frekuensi dan Pola Kegagalan Seal	37
4.6.1 Perhitungan Time Between Failure (TBF)	37
4.7 Estimasi Keandalan (Reliability) dan Mean Time to Failure (MTTF)	39
4.7.1 Model Distribusi yang Digunakan untuk keandalan	39
4.7.2 Fungsi Keandalan R(t)	39
4.7.3 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF)	41



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

4.7.4 Analisis Weibull Tinjauan Teoritis.....	41
4.8 Identifikasi Pola Temuan dan Kategorisasi Berdasarkan Teori	43
4.9 Implikasi dan Rekomendasi CAPA Berbasis Analisis Keandalan.....	44
4.9.1 Corrective Action (Tindakan Korektif).....	44
4.9.2 Preventive Action (Tindakan Preventif)	44
BAB V	48
PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	52

**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 Sistem Hidrolik.....	6
Gambar 2.3 Sistem Hidrolik Tertutup	8
Gambar 2.4 Mesin <i>Hot Press</i>	8
Gambar 4.1 Diagram Kerusakan Seal Hidrolik.....	35





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 TABEL

Tabel 2.1 Parameter dan Fungsi Distribusi Weibull dalam Analisis Keandalan ...	11
Tabel 3.1 Teknik Pengumpulan Data Penelitian.....	19
Tabel 3.2 Identifikasi Variabel Penelitian.....	22
Tabel 3.3 Tahapan Analisis Data Penelitian	23
Tabel 3.4 Kerangka Analisis 5 <i>Why</i> pada Kegagalan Seal Silinder Hidrolik.....	26
Tabel 3.5 Kerangka CAPA pada Komponen Seal Silinder Hidrolik	28
Tabel 4.1 Data operasi mesin.....	32
Tabel 4.2 Perhitungan nilai β	33
Tabel 4.3 deviasi.....	33
Tabel 4.4 Tema Utama Hasil Identifikasi Catatan Lapangan	34
Tabel 4.5 Identifikasi Penyebab Kerusakan	34
Tabel 4.6 Perbandingan Material Seal terhadap Suhu Operasi Aktual.....	36
Tabel 4.7 Perbandingan TBF	38
Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Aktual dengan Standar Industri	39
Tabel 4.9 Nilai Keandalan $R(t)$ Seal Silinder Hidrolik pada Berbagai Waktu Operasi	40
Tabel 4.10 Jadwal Penggantian Seal Berdasarkan Target Keandalan	42
Tabel 4.12 Rencana Preventive Action Berdasarkan Analisis Keandalan.....	45
Tabel 4.13 Hubungan Nilai Keandalan $R(t)$ dengan Rekomendasi Tindakan Preventif	46

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur otomotif saat ini dituntut untuk memiliki efisiensi produksi yang tinggi guna memenuhi permintaan pasar yang dinamis. PT XYZ, sebagai salah satu pemain utama dalam produksi komponen sistem pengereman (*brake system*) dan pengecoran aluminium (*casting*), sangat bergantung pada kesiapan mesin-mesin produksinya. Salah satu unit krusial dalam proses produksi tersebut adalah mesin *Hot Press*.

Mesin *Hot Press* bekerja dengan mengintegrasikan sistem panas dan tekanan hidrolik tinggi untuk membentuk atau menyatukan material komponen otomotif. Dalam sistem ini, seal hidrolik merupakan komponen vital yang berfungsi menjaga tekanan fluida dan mencegah kebocoran. Namun, lingkungan kerja di PT XYZ yang melibatkan suhu panas tinggi dari plat press serta tekanan kerja yang kontinu menyebabkan seal hidrolik rentan mengalami degradasi material, seperti pengerasan (*hardening*) atau keretakan.

Kegagalan pada seal hidrolik sering kali terjadi secara mendadak (*breakdown*), yang berdampak pada terhentinya aliran produksi (*downtime*). Hal ini tidak hanya merugikan dari segi waktu, tetapi juga meningkatkan biaya perbaikan reaktif dan risiko kecacatan produk akibat tekanan yang tidak stabil. Sejauh ini, penggantian komponen seal di lapangan cenderung dilakukan setelah terjadi kerusakan atau berdasarkan jadwal periodik yang belum tentu akurat secara statistik.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan ilmiah menggunakan teori keandalan (*Reliability Engineering*). Dengan menghitung nilai *Reliability* dan *Mean Time To Failure (MTTF)*, perusahaan dapat memprediksi masa pakai optimal komponen. Penelitian ini akan mengolah data historis kerusakan seal di PT XYZ untuk menentukan kapan waktu terbaik melakukan penggantian



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

sebelum kegagalan terjadi, sehingga efisiensi mesin *Hot Press* dapat ditingkatkan secara signifikan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pola distribusi kerusakan yang terjadi pada komponen seal silinder hidrolik mesin *Hot Press* di PT XYZ?
2. Berapakah nilai keandalan (Reliability) komponen seal pada jam operasional tertentu?
3. Berapa lama estimasi waktu rata-rata kegagalan (Mean Time To Failure) sebagai acuan penentuan jadwal perawatan preventif yang lebih akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Adalah :

1. Mengidentifikasi karakteristik distribusi data kegagalan komponen seal hidrolik.
2. Menganalisis tingkat keandalan (Reliability) komponen untuk mengetahui probabilitas berfungsi dengan baik dalam interval waktu tertentu.
3. Menentukan nilai MTTF guna memberikan rekomendasi jadwal penggantian komponen yang proaktif bagi departemen maintenance PT XYZ.

1.4 Batasan Masalah

Agar Penelitian ini lebih fokus, maka diberikan Batasan Batasan sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada seal silinder hidrolik utama pada mesin HOT Press



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. Data yang digunakan Adalah data sekunder berupa log book maintenance dan Riwayat kerusakan selana periode februari – April 2026
3. Penelitian tidak membahas analisis kimia dari material seal secara mendalam melainkan fokus pada umur teknisnya

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat penelitian ini Adalah sebagai berikut:

1. Bagi Institusi

1. Memberikan rekomendasi penerapan preventive maintenance pada seal slider mesin *Hot Press* untuk mengurangi downtime dan kerusakan berulang
2. Mendukung upaya continuous improvement melalui hasil analisis 5 *Why* dan rencana CAPA

2. Bagi Peneliti

1. Menambah Wawasan dan pengalaman praktis dalam metode *quality improvement* (analisis 5 *Why* dan CAPA) untuk mengatasi masalah nyata di industri
2. Melatih kemampuan analisis dan problem solving terhadap kasus kebocoran seal silinder pada mesin *Hot Press*
3. Menjadi bahan referensi dan portfolio dalam penyusunan laporan PKL maupun pengembangan karir kedepan

1.6 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan Studi kasus yang dilaksanakan melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Studi Lapangan (Observasi) : Melakukan pengamatan langsung di Departemen Pad and Shoe PT XYZ untuk mengidentifikasi kondisi operasional mesin *Hot Press* dan pola kerusakan komponen seal silinder hidrolik.



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. Pengumpulan Data : Data yang digunakan berupa data historis penggantian/kerusakan seal silinder hidrolik yang diperoleh dari catatan maintenance PT XYZ selama periode Februari – April 2026.

3. Analisis Kualitatif — 5 *Why* : Melakukan analisis akar penyebab kegagalan (*root cause analysis*) menggunakan metode 5 *Why* untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan seal silinder hidrolik secara berulang.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar memudahkan pembaca dalam memahami isi penelitian yang akan dilakukan. Adapun sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mengandung teori-teori dasar yang berkaitan dengan Seal hidrolik, Mesin *HotPress*, dan teori *Weilbull*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur maintenance, metode penghitungan, serta teknik pengumpulan dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat data hasil perhitungan MTTF dan realibility serta pengaplikasian CAPA (*corrective maintenance* dan *preventif maintenance*)

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

BAB V**PENUTUP****5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap komponen seal silinder hidrolik mesin *Hot Press* di PT XYZ, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola distribusi kegagalan komponen seal silinder hidrolik mesin *Hot Press* di PT XYZ bersifat deterministik-progresif (wear-out), ditandai dengan frekuensi kegagalan yang konsisten sebesar 3 kali per bulan per mesin. Berdasarkan analisis menggunakan distribusi eksponensial dengan data laju kegagalan agregat, diperoleh laju kegagalan $\lambda = 0,00625$ kegagalan/jam. Secara teoritis, pola wear-out ini direpresentasikan melalui parameter distribusi Weibull dengan nilai shape parameter $\beta = 1,21$ dan scale parameter $\eta = 170$ jam, yang mengindikasikan bahwa laju kegagalan seal terus meningkat seiring bertambahnya waktu operasi.
2. Nilai keandalan (Reliability) komponen seal silinder hidrolik menurun secara signifikan terhadap waktu operasi. Pada jam operasi ke-50, nilai keandalan masih sebesar 79,66%. pada jam ke-100 turun menjadi 59,09%) dan pada saat mencapai nilai MTTF (160 jam) hanya sekitar 39,48% seal yang masih berfungsi dengan baik. Nilai keandalan ini jauh di bawah standar keandalan komponen hidrolik industri otomotif yang umumnya menetapkan target $R(t) \geq 90\%$ selama periode operasi nominal. Penurunan keandalan yang curam ini disebabkan oleh kondisi operasi ekstrem berupa kombinasi tekanan hidrolik 150 bar dan suhu operasional 150°C yang secara sinergistik mempercepat degradasi material seal.
3. Nilai Mean Time to Failure (MTTF) komponen seal silinder hidrolik mesin *Hot Press* PT XYZ adalah 160 jam. Nilai ini setara dengan sekitar 6,6 hari kerja (asumsi 8 jam/shift, 6 hari/minggu). MTTF sebesar 160 jam berada 12–30 kali di bawah standar industri ISO 14224 yang menetapkan MTTF



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

normal seal hidrolik pada rentang 2.000–5.000 jam. Nilai MTTF ini menjadi acuan utama penetapan interval penggantian seal preventif, di mana penggantian direkomendasikan dilakukan pada $80\% \times \text{MTTF} = 128$ jam, atau lebih konservatif pada interval 37–59 jam untuk mencapai target keandalan $R(t) \geq 70\text{--}80\%$.

4. Akar penyebab (root cause) utama kegagalan seal, berdasarkan analisis 5 *Why*, adalah ketidaksesuaian spesifikasi material seal NBR (batas termal 120°C) dengan kondisi operasi aktual mesin *Hot Press* (150°C), diperparah oleh belum adanya sistem perawatan preventif berbasis data keandalan. Penyebab kegagalan dominan meliputi: degradasi termal material seal NBR (35,7%), pressure spike sistem hidrolik (25,0%), kontaminasi fluida hidrolik (17,9%), mis pemasangan seal (14,3%), dan pengoperasian melampaui interval penggantian optimal (7,1%).

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian di atas, berikut disampaikan saran-saran yang ditujukan kepada pihak perusahaan maupun bagi pengembangan penelitian selanjutnya:

A. Saran bagi PT XYZ

1. Segera melakukan penggantian jenis material seal dari NBR ke FKM (Viton) atau PTFE sebagai prioritas utama. Penggantian material ini merupakan tindakan korektif yang paling fundamental karena menysasar akar penyebab kegagalan terdalam ketidaksesuaian spesifikasi material dengan kondisi operasi aktual. Material FKM (Viton) direkomendasikan karena tahan terhadap suhu hingga $200\text{--}220^\circ\text{C}$ dan memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap fluida hidrolik bertekanan tinggi.
2. Mengimplementasikan sistem perawatan preventif berbasis data keandalan (Reliability-Centered Maintenance) dengan menggunakan nilai $\text{MTTF} = 167$ jam sebagai baseline. Interval penggantian seal awal yang direkomendasikan adalah setiap 120–130 jam operasi. Jika setelah penggantian ke material FKM/PTFE nilai MTTF meningkat secara



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

signifikan, interval perawatan dapat disesuaikan berdasarkan data kegagalan yang baru.

3. Membangun sistem pencatatan data kegagalan (failure log) yang terstruktur dan konsisten, mencakup waktu kegagalan, jenis kegagalan, dan waktu perbaikan untuk setiap unit mesin *Hot Press*. Data historis individual Time Between Failure (TBF) yang terkumpul dalam 12 bulan ke depan akan memungkinkan dilakukannya analisis Weibull yang lebih akurat secara statistik, sehingga parameter β dan η dapat diestimasi langsung dari data aktual perusahaan.
4. Melakukan pemeriksaan dan rekondisi permukaan komponen silinder (rod dan bore) secara berkala, minimal setiap 6 bulan sekali, untuk mendeteksi dan memperbaiki goresan mikro yang dapat mempercepat keausan seal pengganti.
5. Menyusun dan mendokumentasikan Standard Operating Procedure (SOP) perawatan seal silinder hidrolik yang mencakup: prosedur penggantian seal yang benar (untuk mencegah mis-alignment), prosedur inspeksi visual dan pressure test berkala, serta prosedur penanganan dan penyimpanan seal spare.

B. Saran bagi Penelitian Selanjutnya

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengumpulkan data Time Between Failure (TBF) secara individual dari setiap kejadian kegagalan seal selama minimal 12 bulan, sehingga analisis distribusi Weibull dapat dilakukan dengan estimasi parameter β dan η yang lebih presisi menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE) atau Median Rank Regression.
2. Studi komparatif perlu dilakukan untuk membandingkan nilai MTTF dan biaya siklus hidup (life cycle cost) antara material seal NBR, FKM (Viton), dan PTFE dalam kondisi operasi aktual mesin *Hot Press* PT XYZ, guna memberikan justifikasi kuantitatif yang kuat bagi keputusan investasi penggantian material seal.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan analisis keandalan dengan analisis ekonomi (Reliability and Maintainability Analysis) untuk



© 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

menghitung biaya downtime, biaya penggantian seal reaktif vs. preventif, serta nilai investasi penerapan sistem Reliability-Centered Maintenance secara menyeluruh.

4. Penggunaan perangkat lunak analisis keandalan khusus seperti ReliaSoft Weibull++ atau Python library scikit-reliability disarankan untuk penelitian selanjutnya guna memperoleh hasil estimasi parameter distribusi dan uji goodness-of-fit yang lebih akurat dan terstandardisasi secara statistik.



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 PUSTAKA

- [1] D. Ayala, L. Pozo, and W. Padilla, "Weibull Reliability Analysis in Hydraulic Jet Pumps, Case Study Block 56 - Ecuador," in *Applied Computer Sciences in Engineering BT - Communications in Computer and Information Science (CCIS)*, vol. 1431, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-72212-8_6.
- [2] G. D. Haryadi, I. Haryanto, D. Setyawan, T. C. Limbong, and K. P. Putra, "Reliability and Lifetime Analysis on Critical Components of Axial Hydraulic Pump Using the Weibull Method," in *AIP Conference Proceedings*, 2023, p. 40011. doi: 10.1063/5.0151071.
- [3] M. R. Widyanto, N. E. Setijogiarto, and R. G. Sudarmawan, "Analisis Pengaruh Preventive Maintenance pada Mesin Produksi dengan RCM," in *Prosiding SNTM PNJ*, 2023. [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/sntm/article/view/3409>
- [4] P. H. Corporation, *Parker O-Ring Handbook (ORD 5700)*. Parker Hannifin Corporation, 2018. [Online]. Available: <https://ph.parker.com/us/en/o-ring-handbook>
- [5] P. Kumar, S. Park, Y. Zhang, S.-H. Jo, H. S. Kim, and T. Kim, "A Review of Hydraulic Cylinder Faults, Diagnostics, and Prognostics," *Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 1637–1661, 2024, doi: 10.1007/s40684-024-00639-3.
- [6] A. Muhsin and I. Syarafi, "Analisis Keandalan dan Laju Kerusakan pada Mesin Continues Frying," *OPSI J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 11, no. 1, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/opsi>
- [7] A. Birolini, *Reliability Engineering: Theory and Practice*, 8th ed. Springer Berlin Heidelberg, 2017. doi: 10.1007/978-3-662-54209-5.
- [8] Subhan, "Analisis Keandalan Mesin CBF64S Berdasarkan Metode Weibull dan FTA," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, 2025, [Online]. Available: <https://ejournals.itda.ac.id/index.php/angkasa>
- [9] H. Pham, Ed., *Springer Handbook of Engineering Statistics*. Springer London, 2006. doi: 10.1007/978-1-84628-288-1.
- [10] J. Geisbush and S. T. Ariaratnam, "Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice," *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 29, no. 2, pp. 313–337, 2023, doi: 10.1108/JQME-02-2021-0018.
- [11] T. Varzakas and I. S. Arvanitoyannis, "Application of failure mode and effect analysis (FMEA), cause and effect analysis, and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a potato chips manufacturing plant," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 42, no. 12, pp. 1424–1442, 2007, doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.01424.x.

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

- [12] I. E. Commission, "IEC 60812:2018 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA)," 2018, *IEC, Geneva, Switzerland*.
- [13] G. L. Tortorella, R. Miorando, and G. Marodin, "Lean product development: Literature review and classification by similarity," *Production*, vol. 27, p. e20162073, 2017, doi: 10.1590/0103-6513.207316.
- [14] X. Duan, D. Liu, S. Wang, and Y. Shang, "A Hydraulic Reciprocating Rod Seal's Life Evaluation Method Incorporating Failure Mechanism Analysis and Test Observation Data," *Lubricants*, vol. 11, no. 8, p. 319, 2023, doi: 10.3390/lubricants11080319.
- [15] P. H. Corporation, "Parker O-Ring Handbook," Parker Hannifin Corporation, Cleveland, OH, USA, 2018.
- [16] W. Ebeling, *Engineering Reliability*, 6th ed. Long Grove, IL, USA: Waveland Press, 2010.
- [17] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, 2nd ed. Waveland Press, 2010.
- [18] P. D. T. O'Connor and A. Kleyner, *Practical Reliability Engineering*, 5th ed. John Wiley & Sons, 2012. doi: 10.1002/9781119961260.
- [19] I. O. for Standardization, "ISO 14224:2016 Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries: Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment," ISO, 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- [20] C. Nagaraju and D. Lingaraju, "Thermal degradation of naturally aged NBR with time and temperature," *Mater. Res. Express*, vol. 9, no. 6, p. 65305, 2022, doi: 10.1088/2053-1591/ac7302.
- [21] G. Huang *et al.*, "Effect of hydrothermal aging on the tribological performance of nitrile butadiene rubber seals," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 81, 2024, doi: 10.3390/polym16010081.
- [22] X. Zhao, E. Appiah, Y. Xia, and J. Wang, "Degradation process analysis and reliability prediction modeling of hydraulic reciprocating seal based on monitoring data," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 140, p. 106565, 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106565.
- [23] J. Fu, N. Zhao, Y. Qu, J. Yang, and S. Wang, "Review of hydraulic seal failures due to effect of medium to high temperature," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 150, p. 107319, 2023, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107319.
- [24] O. Serrat, "The Five Whys Technique," in *Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance*, Singapore: Springer, 2017, pp. 307–310. doi: 10.1007/978-981-10-0983-9_32.
- [25] F. Sgarbossa, I. Zennaro, E. Florian, and A. Persona, "Impacts of Weibull parameters estimation on preventive maintenance cost," *IFAC*



© 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

