

**EVALUASI KEGAGALAN PADA KOMPONEN GEAR
DRIVE SHAFT SCREW COMPRESSOR COMPAIR L160
MENGUNAKAN METODE FAILURE ANALYSIS**

*Failure Evaluation of the Gear Drive Shaft Component in a CompAir L160 Screw
Compressor Using the Failure Analysis Method*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Dan Melengkapi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Pada Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Sangga Buana YPKP Bandung

Disusun Oleh :

NARIFAN ILHAM

2115218001



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP

BANDUNG

2025

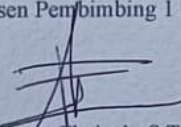
LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
EVALUASI KEGAGALAN PADA KOMPONEN GEAR DRIVE
SHAFT SCREW COMPRESSOR COMPAIR L160
MENGGUNAKAN METODE FAILURE ANALYSIS

Disusun oleh:
NARIFAN ILHAM
2115218001

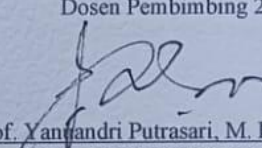
Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir Program S1 Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP
Bandung, 23 Juli 2025

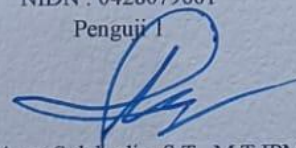
Disahkan oleh:

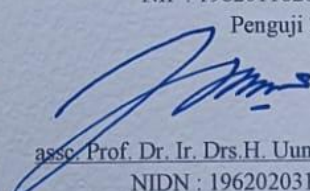
Dosen Pembimbing 1


Mohamad Agus Fhaizal., S.T., M.T
NIDN : 0428079601
Penguji 1

Dosen Pembimbing 2


Prof. Yandri Putrasari, M. Eng. Ph.D
NIP : 198201182005021002
Penguji 2


Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T.IPM
NIDN : 0420117101


asoc. Prof. Dr. Ir. Drs. H. Uum Sumirat, M.Pd, M.T
NIDN : 196202031985031003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Agus Solehudin, S.T., M.T
NIDN : 0420117101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Narifan Ilham
NPM : 2115218001
Alamat : Komp. Baleendah Permai Blok F No. 11 RT 010/Rw 025
Baleendah, Kab. Bandung, Provinsi Jawa Barat 40375
No. Telp/HP : 089507729096
E-mail : Narifan0902@gmail.com

Menyatakan bahwa TUGAS AKHIR ini merupakan karya ASLI saya sendiri. dengan judul :

*Evaluasi Kegagalan Pada Komponen Gear Drive Shaft Screw Compressor
Compair L160 Menggunakan Metode Failure Analysis*

Atas pernyataan ini. saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukan ketidak aslian karya ini.



Bandung, 21 Juli 2025



Narifan Ilham
NPM. 2115218001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir dengan judul "Evaluasi Kegagalan Pada Komponen Gear Drive Shaft Screw Compressor Compair L160 Menggunakan Metode Failure Analysis". Penulisan proposal ini disusun sebagai bagian dari upaya untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kegagalan pada *gear drive shaft screw compressor* dengan metode *failure analysis*. Kegagalan tersebut berupa terjadinya pitting, spalling keausan dan korosi pada gear drive shaft screw compressor. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu baru dan rujukan saat terjadinya kegagalan tersebut.. Berkat dukungan dan kontribusi dalam penyusunan proposal tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Mohamad Agus Fhaizal, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal tugas akhir..
2. Prof. Yanuandri Putrasari, ST., M. Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu penulis dalam menyelesaikan Proposal tugas akhir.
3. Bapak Wisnu Wijaya, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Sangga Buana.
4. Assoc. Prof. Slamet Risnanto, S.T., M.Kom., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

5. Dr. Didin Saepudin, S.E., M.Si. Selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung
6. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan do'a serta dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan proposal tugas akhir.
7. Bapak Asep Juhandi selaku pembimbing kerja praktek yang telah memberikan benda kerja sebagai bahan tugas akhir ini.
8. Teman - teman program studi teknik mesin angkatan 21 yang telah mensuport dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir.
9. Semua pihak yang turut mendukung baik secara langsung maupun tidak langsung. Yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal tugas akhir.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang material teknik yang berhubungan dengan ketahanan korosi dan kekuatan mekanik baja di lingkungan pertanian.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi perbaikan di masa yang akan datang.

Bandung, 21 Juli 2025

Narifan Ilham



ABSTRAK

Gear Drive Shaft adalah bagian dari sistem pemindahan daya pada unit *Screw Compressor* yang berfungsi sebagai pemindah daya dari motor listrik ke mesin kompresi. *Gear Drive Shaft* merupakan salah satu bagian penting dari sistem transmisi pada *screw compressor* L160, yang berfungsi mentransfer daya dari motor penggerak menuju elemen kompresi. Kompresor jenis ini banyak digunakan dalam sistem produksi udara bertekanan di lingkungan industri. Gangguan pada *gear drive shaft* dapat menyebabkan terhentinya proses kerja kompresor dan berpotensi menimbulkan *downtime* produksi yang signifikan. Salah satu permasalahan yang ditemukan adalah terjadinya kerusakan pada permukaan gigi, seperti *pitting* dan *spalling*, yang menunjukkan adanya indikasi kegagalan komponen. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti kelelahan material akibat beban siklik, pelumasan yang tidak optimal, serta kurangnya perawatan secara berkala. Dalam hal ini, penulis melakukan pengamatan dan serangkaian pengujian seperti uji visual, uji kekerasan, dan analisis metalografi untuk mengetahui tingkat kerusakan dan penyebab utama gangguan. Dari hasil analisis tersebut, dilakukan juga evaluasi terhadap sistem pelumasan dan prosedur pemeliharaan. Rekomendasi yang diberikan berupa perbaikan sistem pelumasan, penjadwalan ulang pemeliharaan preventif, dan peningkatan kualitas material *shaft* agar keandalan sistem kompresor dapat ditingkatkan.

Kata kunci: Screw compressor, Gear drive shaft, Scanning Electron Microscope, Rockwell, gigi



ABSTRACT

The Gear Drive Shaft is a crucial component of the power transmission system in a screw compressor unit, functioning as the medium for transferring power from the electric motor to the compression mechanism. In the L160 screw compressor, the Gear Drive Shaft plays a vital role in transmitting power from the drive motor to the compression elements. This type of compressor is widely used in industrial environments for pressurized air production systems. Malfunctions in the gear drive shaft can result in compressor shutdowns and potentially cause significant production downtime. One of the issues identified is damage on the gear surface, such as pitting and spalling, which indicates potential component failure. These failures may be attributed to several factors, including material fatigue due to cyclic loading, inadequate lubrication, and insufficient periodic maintenance. In this study, the author conducted observations and a series of tests, including visual inspection, hardness testing, and metallographic analysis, to determine the extent of the damage and the root causes of the failure. Based on the analysis results, further evaluation was carried out on the lubrication system and maintenance procedures. The recommendations proposed include improving the lubrication system, rescheduling preventive maintenance, and enhancing the material quality of the shaft to improve the overall reliability of the compressor system.

Keywords: Screw compressor, Gear drive shaft, Scanning Electron Microscope, Rockwell, gear teeth



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Screw Compressor.....	6
2.1.1 Definisi dan cara kerja <i>Screw Compressor</i>	6
2.1.2 Proses Kompresi pada Screw Compressor	7

2.1.3 Bagian – Bagian Utama pada <i>Unit Screw Compressor</i>	10
2.2 Kegagalan pada Gear Drive Shaft	13
2.2.1 Gear Drive Shaft	13
2.2.2 Material Gear Drive Shaft	14
2.2.3 Kegagalan Umum pada Gear Drive Shaft	15
2.3 Metode Pengujian pada Gear Drive Shaft	16
2.3.1 Pengujian Visual	16
2.3.2 Pengukuran Dimensi	17
2.3.3 Uji Kekerasan (Hardness Test)	17
2.3.4 Metode Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy)	19
2.4 Perhitungan Kegagalan	20
2.4.1 Perhitungan Momen Puntir (Torque)	20
2.4.2 Gaya Tangensial	20
2.4.3 Beban Dinamis (Dynamic Force)	21
2.4.4 Kekuatan Gear	22
2.5 Teori Kegagalan Material	23
2.6 Studi Terkait	23
BAB III	24
METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Tahapan Penelitian	24
3.1.1 Diagram Ulir	24
3.1.2 Studi Literatur	25
3.1.3 Tempat Penelitian	25
3.1.4 Ruang Lingkup Penelitian	25

3.1.5 Data Teknik	26
3.2 Pengambilan Data.....	26
3.3 Variabel Penelitian	30
3.4 Analisi Data	30
3.4.1 Analisi Kegagalan Gear Drive Shaft	30
3.4.2 Analisis Pengujian pada Kegagalan Gear Drive Shaft	31
3.5 Diskusi Hasil	31
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Deskripsi Data Penelitian	34
4.2 Perhitungan Kegagalan.....	34
4.2.1 Momen (T)	34
4.2.2 Gaya Tangensial (Tangensial Load, WT).....	35
4.2.3 Beban Dinamis (Dynamic Force, WD)	35
4.2.4 Kekuatan Gigi (Lewis Equation, Wb).....	36
4.2.5 Safety Factor.....	37
4.3 Hasil Pengujian.....	37
4.3.1 Pengujian Visual.....	37
4.3.2 Pengujian dengan Alat Ukur	39
4.3.3 Pengujian Kekerasan Rockwell HRC.....	43
4.3.4 Pengujian Mikroskopi dengan SEM.....	46
4.3.5 Hasil Analisis Data Struktur Micro	50
4.4 Pembahasan Hasil.....	51
4.4.1 Korosi sebagai Inisiasi Kegagalan.....	52

4.4.2 Degradasi Dimensi dan Keausan.....	52
4.4.3 Penurunan Kekerasan Material.....	52
4.4.4 Verifikasi Mikroskopis melalui SEM Cross-Section	53
4.4.5 Sintesis dan Interpretasi.....	53
4.5 Diagram Fishbone Analysis	54
BAB V.....	56
Kesimpulan dan Saran.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	58
Lampiran	62
Lampiran A.....	62
Lampiran B.....	64



DAFTAR GAMBAR

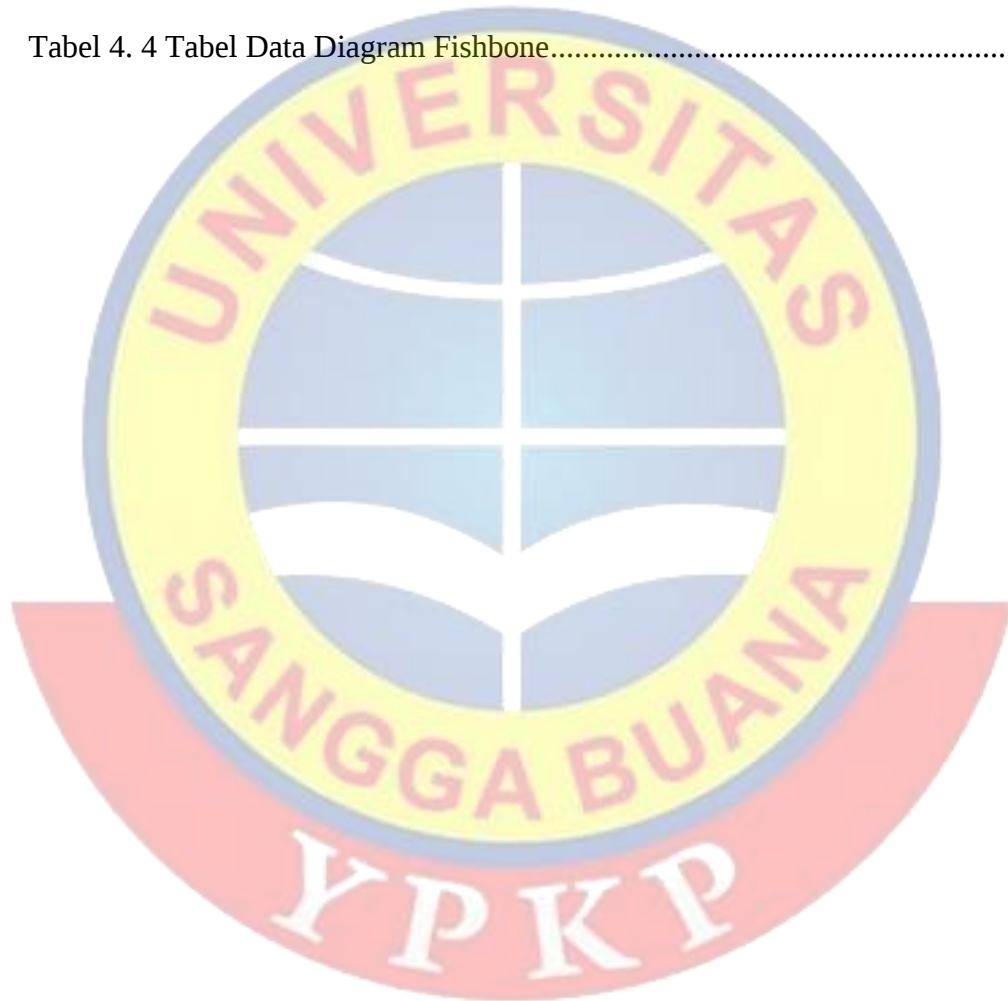
Gambar 2. 1 <i>Screw Compressor</i> (Comp Air, 2024).....	6
Gambar 2. 2 <i>Inti Screw Compressor</i>	8
Gambar 2. 3 Fase hisap (suction) Click or tap here to enter text.	8
Gambar 2. 4 Fase Transfer (Willie & Ganatra, 2024).....	9
Gambar 2. 4 Fase kompresi (<i>compression</i>) (Willie & Ganatra, 2024).....	9
Gambar 2. 5 Fase pembuangan (<i>Discharge</i>) (Willie & Ganatra, 2024)	10
Gambar 2. 6 <i>Unit Screw Compressor</i> (Comp Air, 2024).....	10
Gambar 2. 8 <i>Unit Screw Compressor</i> (Rozak & Mahendra Sakti, n.d.)	12
Gambar 2. 9 Hardness Rockwell HRC.....	17
Gambar 2. 10 Alat Uji SEM(Maiseka & Soegiarto, 2025)	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir	24
Gambar 3. 2 Gear Drive Shaft.....	27
Gambar 3. 3 Vernier Caliper	27
Gambar 4. 1 Korosi pad gear Drive Shaft	38
Gambar 4. 2 Pengukuran Diameter	39
Gambar 4. 2 Pengukuran Diameter	39
Gambar 4. 3 Pengukuran Inside Diameter	40
Gambar 4. 4 Pengukuran Jarak anatar Gigi.....	40
Gambar 4. 5 Pengukuran Kedalaman Gear	41
Gambar 4. 6 Grafik Pengujin Keausan Gigi.....	42
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Rockwell HRC.....	45
Gambar 4. 9 Titik gear yang diuji SEM cros section	47
Gambar 4. 10 Struktur Mikro gear crpss section titik 1 X500	47

Gambar 4. 11 Struktur Mikro gear crpss section titik 1 X1000	48
Gambar 4. 12 Struktur Mikro gear crpss section titik 2 X500	49
Gambar 4. 13 Struktur Mikro gear crpss section titik 2 X1000	49
Gambar 4. 14 Diagram Fishbone.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Aalat dan Bahan	26
Tabel 4. 1 Keausan Gigi Gear Drive S.....	34
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Rockwell HRC	44
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Data Struktur Mikro.....	43
Tabel 4. 4 Tabel Data Diagram Fishbone.....	54



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.....	55
Lampiran B.....	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Screw compressor atau kompresor ulir merupakan salah satu jenis kompresor gas yang bekerja berdasarkan prinsip perpindahan positif (positive displacement), di mana dua buah rotor ulir berputar secara berlawanan untuk memampatkan udara atau gas dalam ruang tertutup. Kompresor ini banyak digunakan dalam dunia industri karena mampu menghasilkan tekanan udara yang stabil, efisien, dan bekerja secara kontinu dengan tingkat kebisingan serta getaran yang relatif rendah. Fungsi utama dari *screw compressor* adalah untuk menghasilkan udara atau gas bertekanan yang dibutuhkan dalam berbagai proses, seperti penggerak peralatan pneumatik, sistem pendingin, hingga proses manufaktur dan pengolahan. Berdasarkan sistem pelumasannya, *screw compressor* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *oil-injected screw compressor* dan *oil-free screw compressor*. *Oil-injected screw compressor* menggunakan oli sebagai media pelumas, pendingin, sekaligus perapat selama proses kompresi, sedangkan *oil-free screw compressor* dirancang tanpa pelumas dalam ruang kompresi, dan umumnya digunakan untuk aplikasi yang memerlukan udara bersih seperti di industri makanan, farmasi, dan elektronik. Salah satu tipe kompresor yang banyak digunakan di sektor industri adalah *Screw Compressor* tipe L160 merek CompAir, yang termasuk dalam kategori *oil-injected* dan dirancang untuk mendukung proses produksi dengan kapasitas tinggi serta durabilitas kerja jangka panjang (Ofodu et al., 2023).

Dalam sistem *screw compressor*, proses pemindahan daya dari motor penggerak menuju elemen kompresi dilakukan melalui suatu

rangkaian transmisi daya mekanis. Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah *gear drive shaft*, yaitu poros penggerak yang mentransfer torsi dan rotasi dari motor ke rotor kompresor. *Gear drive shaft* bekerja di bawah kondisi beban torsi tinggi, rotasi cepat, serta beban siklik atau berulang, sehingga desain, kualitas material, dan kondisi operasional komponen ini sangat menentukan keandalan sistem secara keseluruhan. Interaksi antara *gear*, *shaft*, dan elemen bearing dalam sistem transmisi memerlukan tingkat presisi tinggi, pelumasan optimal, serta pemeliharaan yang sesuai agar dapat beroperasi secara efektif dan berumur panjang (Vorspohl & Burchardt, 2024).

Namun dalam praktiknya, *gear drive shaft* sering mengalami berbagai jenis kegagalan mekanis yang kompleks dan saling berkaitan. Beberapa bentuk kegagalan yang umum ditemukan meliputi fitting longgar, yaitu kondisi di mana sambungan antara shaft dan komponen lain seperti bearing atau gear tidak lagi presisi, sehingga menimbulkan getaran dan beban tambahan yang tidak terdistribusi dengan baik. Selain itu, spalling atau pengelupasan mikro pada permukaan akibat kelelahan kontak juga sering terjadi, yang dapat berkembang menjadi kerusakan makro. Keausan (*wear*) menjadi kegagalan berikutnya, yaitu berkurangnya material permukaan karena gesekan atau beban berulang, terutama pada area kontak *gear*. Di samping itu, korosi juga menjadi faktor yang mempercepat kerusakan, terutama apabila terdapat kelembaban tinggi atau pelumas yang terkontaminasi, yang menyebabkan reaksi kimia pada permukaan logam (Yu et al., 2021a).

Untuk memahami secara menyeluruh penyebab dari kerusakan tersebut, diperlukan serangkaian metode pengujian yang sistematis. Pemeriksaan visual digunakan untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal kegagalan seperti korosi permukaan, retakan, atau fitting yang longgar. Pengukuran dimensi menggunakan vernier caliper dilakukan untuk

mendeteksi tingkat keausan pada permukaan shaft dan gear. Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell HRC digunakan untuk mengetahui kekuatan dan ketahanan material terhadap beban kerja. Sementara itu, untuk analisis lebih mendalam terhadap morfologi permukaan dan mekanisme kegagalan mikro, dilakukan observasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dengan kombinasi pengujian ini, data yang diperoleh diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi material, jenis kegagalan yang terjadi, serta akar penyebabnya (Sahdiah & Kurniawan, 2023).

Dengan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian bertajuk “Evaluasi Kegagalan Pada Komponen Gear Drive Shaft Screw Compressor Compair L160 Menggunakan Metode Failure Analysis”. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan mekanisme kegagalan yang terjadi, menganalisis kondisi material serta pengaruh lingkungan kerja, dan memberikan rekomendasi teknis guna mencegah kegagalan serupa di masa depan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan keandalan operasional screw compressor, perbaikan sistem pemeliharaan, serta pemilihan desain dan material yang lebih tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian apa saja yang dibutuhkan untuk mengetahui penyebab kerusakan pada *Gear Drive Shaft*?
- b. Bagaimana tahapan – tahapan pengujian pada material *Gear Drive Shaft*?
- c. Bagaimana rekomendasi perbaikan dari hasil analisa pengujian pada *Gear Drive Shaft*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini memiliki tujuan, yaitu:

- a. Mengetahui pengujian apa saja yang dilakukan pada material *Gear Drive Shaft* ketika terjadi kegagalan.
- b. Menganalisis faktor yang menyebabkan kegagalan pada *Gear Drive Shaft*.
- c. Memberikan rekomendasi dalam perawatan *Gear Drive Shaft* pada *Unit Screw Compressor* dan Solusi perbaikan ketika *Gear Drive Shaft* mengalami kegagalan.

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini memiliki manfaat, antarlain:

- a. Mengetahui metode dan prosedur pengujian material *Gear Drive Shaft*.
- b. Mengetahui penyebab kegagalan dan rekomendasi perbaikan pada *Gear Drive Shaft*.
- c. Sebagai referensi mengenai pengujian material *Gear Drive Shaft*.

1.5 Batasan Masalah

Penulisan tugas akhir ini memiliki batasan masalah dengan tujuan tidak meluas dan keluar dari pokok pembahasannya

- a. Penelitian ini akan membahas mengenai analisis kegagalan pada *Gear Drive Shaft* pada *Unit Screw Compressor*.
- b. Penelitian ini hanya memaparkan mengenai pengujian pada material *Gear Drive Shaft* dan memberikan rekomendasi dalam perawatan dan perbaikan pada sistem pemindahan gaya jika terjadi kegagalan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan dilakukan dengan susunan yang secara umum dapat menjelaskan permasalahan secara terperinci dengan urutan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat penelitian dan batasan masalah, serta sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini membahas mengenai referensi atau rujukan yang berkaitan dengan tugas akhir dan Screw Compressor, komponen – komponen utama dan cara kerja *Screw Compressor* serta peran *Gear Drive Shaft* pada *Screw Compressor*.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas secara rinci mengenai metode pengujian *Gear Drift Shaft* pada *Screw Compressor*.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai analisis dan data pengujian *Gear Drive Shaft* dengan menggunakan metode *failure analysis*.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi semua kesimpulan yang dihasilkan dari serangkaian proses penulisan tentang pengujian pada material *Gear Drive Shaft* serta saran-saran.

BAB II

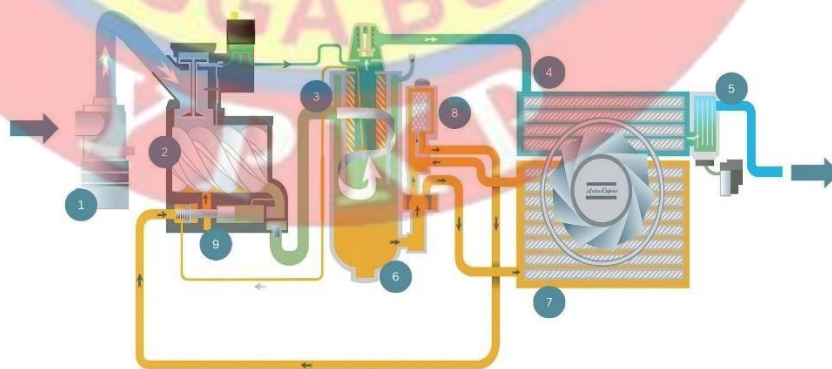
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Screw Compressor

Berikut ini penjelasan mengenai screw compressor.

2.1.1 Definisi dan cara kerja *Screw Compressor*

Kompresor adalah mesin atau alat mekanis yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan udara atau gas dengan cara mengompresinya. Pada kompresor terdapat jenis *Compressor Displacement (Positive Displacement Compressor)* yaitu jenis kompresor yang bekerja dengan prinsip mengurangi volume udara atau gas untuk meningkatkan tekanannya. Dalam proses ini, volume ruang di dalam kompresor secara bertahap dikurangi dengan menggunakan elemen mekanis seperti piston, rotor, atau bilah (*vane*), sehingga udara atau gas ditekan ke dalam ruang yang lebih kecil hingga mencapai tekanan yang diinginkan. Pada kompresor jenis ini terdapat kompresor ulir atau screw compressor yang biasanya terdapat 2 rotor ulir dalam ruang kompresinya. (Maiseka & Soegiarto, 2025)



Gambar 2. 1 *Screw Compressor*(Comp Air, 2024)

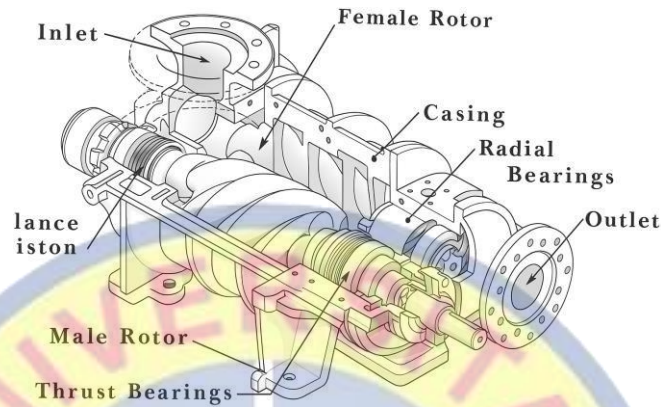
Dari gambar di atas dapat kita lihat cara kerja kompresor ulir (*Screw Compressor*), antara lain:

1. Udara masuk melalui filter udara masuk (*suction filter*) akan melalui suction regulator yang mengatur katup masuknya udara
2. Udara masuk ke dalam ruang kompresi yang di injeksikan oli sebagai pelumas, pendingin, sealing, cleaning dan peredam suara. Udara dan oli akan dikompresi oleh rotor dan menghasilkan fluida bertekanan.
3. Campuran udara bertekanan dan oli akan keluar melalui *Discharge Valve* dan dialirkan ke dalam tanki *Oil Separator* untuk dipisahkan dengan menyaring oli agar turun mengendap ke bagian bawah.
4. Udara bertekanan akan keluar dari *Oil Separator Tank* dan didinginkan melalui *Air Cooled System* untuk melepas suhu panas udara bertekanan
5. Udara akan dialirkan keluar (*Air Outlet*) untuk digunakan sesuai keperluan
6. Oli di dalam separator akan terpisah akan keluar melalui katup Oil Separator untuk didinginkan di *Oil Cooled*.
7. Oli di dalam *Oil Cooled* kan didinginkan untuk mengurangi suhu panas oli tersebut.
8. Setelah melalui *Oil Cooling System*, oli akan disaring di *Oil filter* agar oli yang akan masuk ruang kompresi sudah bersih embali. Oli yang sushunya belum mencapai panas yang ditentukan akan langsung dialirkan ke dalam *Oil Filter*.
9. Oli yang sudah disaring akan dialirkan ke ruang kompresi untuk mengulangi pelumasan pada ruang kompresi.(Wang et al., 2024)

2.1.2 Proses Kompresi pada Screw Compressor

Screw compressor adalah jenis kompresor yang menggunakan dua rotor berbentuk sekrup (*screw*) yang berputar secara berlawanan untuk mengkompresi gas atau udara. Saat rotor ini berputar, udara atau gas akah dihisap ke dalam ruang antar ulir,

yang kemudian ditekan dan didorong keluar menghasilkan udara bertekanan.(Wang et al., 2024)

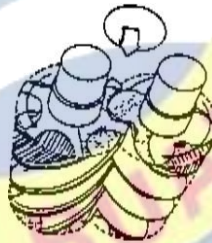


Gambar 2. 2 Inti Screw Compressor

Gambar 2. 3 bagian bagian dalam mesin screw compressor (Willie & Ganatra, 2024)

Dalam proses kompresi pada *screw compressor* terdapat 4 langkah

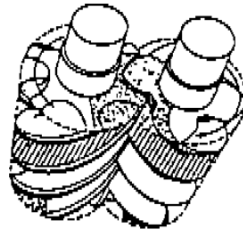
1. Fase Hisap (*Suction Phase*)



Gambar 2. 3 Fase hisap (*suction*) Click or tap here to enter text.

Saat pasangan rotor (Jantan) dan rotor (Betina) mulai terlepas, terbentuk ruang kosong dan udara tertarik masuk melalui port hisap. Sampai port hisap tertutup, seluruh ruang akan terisi gas seiring rotasi rotor.

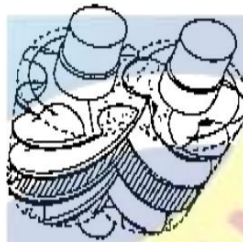
2. Fase Transfer (*Transfer Phase*)



Gambar 2. 4 Fase Transfer (Willie & Ganatra, 2024)

Udara yang terperangkap dan terisolasi dari inlet akan bergerak secara melingkar mengikuti putaran rotor pada tekanan hisap yang konstan.

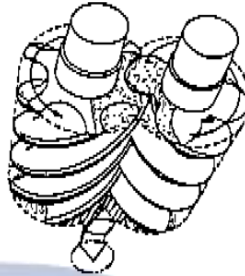
3. Fase Kompresi (*Compression Phase*)



Gambar 2. 4 Fase kompresi (compression) (Willie & Ganatra, 2024)

Saat rotasi berlanjut, lobe jantan lainnya mulai masuk ke dalam alur betina mendekati sisi akhir hisap. Seiring pasangan lobe mendekati ujung pembuangan, volume kantong gas menyusut secara bertahap dan tekanan gas meningkat. Pada fase ini, oli disuntikkan untuk mendinginkan, menyegel, dan melumasi.

4. Fase Pembuangan (*Discharge Phase*)

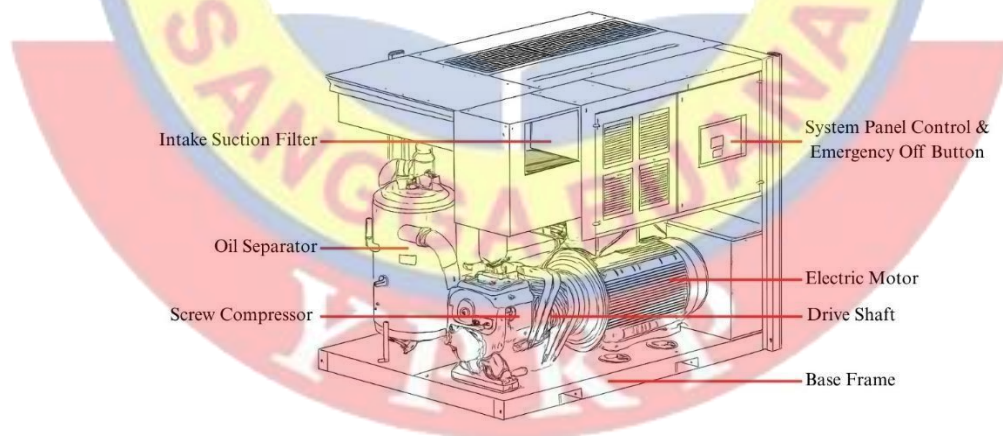


Gambar 2. 5 Fase pembuangan (*Discharge*) (Willie & Ganatra, 2024)

Pada saat tertentu yang ditentukan oleh rasio volume, kantong gas dilepaskan melalui port buang, dan gas yang terkompresi sepenuhnya dikeluarkan oleh tekanan melalui port tersebut. (Maiseka & Soegiarto, 2025)

2.1.3 Bagian – Bagian Utama pada *Unit Screw Compressor*

Berikut ini adalah bagian bagian pada *Unit Screw Compressor*



Gambar 2. 6 *Unit Screw Compressor* (Comp Air, 2024)

1. Intake Suction Filter adalah komponen yang berfungsi untuk menyaring udara dari lingkungan sebelum masuk ke dalam sistem kompresor.

Komponen ini berperan penting karena mampu menangkap debu, kotoran, dan partikel asing yang berpotensi merusak bagian internal kompresor. Oleh karena itu, keberadaan filter ini sangat penting dalam menjaga kebersihan udara yang dikompresi serta memperpanjang umur peralatan.(Comp Air, 2024)

2. Oil Separator merupakan unit pemisah oli yang terletak setelah kompresor udara. Fungsinya adalah untuk memisahkan partikel oli dari udara bertekanan setelah proses kompresi berlangsung. Dengan demikian, udara yang keluar dari sistem menjadi lebih bersih dan bebas dari kontaminasi oli, sementara oli yang telah dipisahkan dapat dikembalikan ke sistem pelumasan secara efisien.(Comp Air, 2024)
3. Screw Compressor adalah komponen utama dalam sistem yang berfungsi untuk mengompresi udara dengan menggunakan dua rotor ulir (male dan female rotor). Proses kompresi ini dilakukan secara kontinu dan efisien melalui gerakan berputar dari kedua rotor yang saling mengunci. Karena kinerjanya yang stabil dan menghasilkan tekanan tinggi, screw compressor banyak digunakan pada aplikasi industri skala besar.(Comp Air, 2024)
4. Drive Shaft merupakan poros penggerak yang menghubungkan motor listrik dengan screw compressor. Komponen ini bertugas mentransmisikan tenaga putar dari motor ke rotor kompresor sehingga dapat memulai proses kompresi. Tanpa drive shaft, energi dari motor tidak akan bisa diteruskan ke bagian pemampat udara.
5. Electric Motor adalah sumber tenaga utama pada sistem kompresor yang berfungsi untuk menghasilkan gerakan putar. Energi listrik diubah menjadi energi mekanik melalui motor ini, kemudian dialirkan ke screw compressor melalui drive shaft. Oleh karena itu, motor listrik menjadi komponen vital yang menentukan kinerja keseluruhan sistem.(Comp Air, 2024)
6. System Panel Control & Emergency Off Button adalah panel kendali yang berisi pengaturan operasional serta tombol darurat untuk mematikan

sistem secara cepat jika terjadi kegagalan. Panel ini memungkinkan operator untuk memonitor dan mengontrol seluruh proses kerja kompresor dengan lebih aman dan efisien. Keberadaan tombol darurat juga sangat penting dalam mencegah kecelakaan kerja.(Comp Air, 2024)

7. Base Frame adalah rangka dasar yang menopang seluruh komponen kompresor agar tetap stabil dan terstruktur dengan baik. Selain itu, base frame juga mempermudah pemasangan serta pemindahan unit karena berfungsi sebagai fondasi penyangga. Dengan adanya base frame, sistem dapat berdiri kokoh dan terhindar dari getaran yang berlebih selama pengoperasian.(Comp Air, 2024)



Gambar 2. 8 Unit Screw Compressor (Rozak & Mahendra Sakti, n.d.)

8. Cooling Fan adalah kipas pendingin yang berfungsi untuk mengalirkan udara secara paksa melalui radiator atau pendingin lainnya di dalam sistem kompresor. Komponen ini bekerja dengan cara membantu proses pelepasan panas dari oil cooler dan air cooler. Dengan demikian, suhu komponen internal tetap stabil selama operasional dan risiko overheating dapat diminimalkan.(Comp Air, 2024)
9. Compressed Air Outlet merupakan saluran keluaran udara bertekanan yang telah mengalami proses kompresi. Udara yang keluar melalui outlet

ini biasanya akan dialirkan menuju sistem distribusi udara atau tangki penyimpanan. Oleh karena itu, saluran ini sangat penting dalam mengarahkan hasil akhir dari proses kompresi ke penggunaan akhir secara efisien.(Comp Air, 2024)

10. Oil Cooler adalah alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan oli pelumas yang bersirkulasi di dalam sistem kompresor. Oli yang digunakan untuk melumasi dan mendinginkan komponen-komponen bergerak akan mengalami kenaikan suhu. Karena itu, oil cooler berperan penting dalam menjaga viskositas oli agar tetap optimal dan memperpanjang usia pakai komponen mesin.(Comp Air, 2024)
11. Air Cooler atau aftercooler merupakan komponen yang berfungsi untuk menurunkan suhu udara bertekanan setelah melalui proses kompresi. Saat udara dikompresi, suhunya meningkat drastis, dan pendinginan diperlukan sebelum udara digunakan dalam proses industri atau disimpan dalam tangki. Oleh sebab itu, air cooler membantu meningkatkan efisiensi dan mengurangi kadar kelembaban dalam udara bertekanan.(Comp Air, 2024)

2.2 Kegagalan pada Gear Drive Shaft

Berikut ini

2.2.1 Gear Drive Shaft

Gear drive shaft adalah poros penggerak yang digunakan untuk mentransmisikan daya dan torsi melalui elemen roda gigi (gear) dari satu komponen ke komponen lainnya dalam sistem mekanis. Pada unit screw compressor, gear drive shaft berperan dalam menghubungkan penggerak (motor) melalui gearbox ke flywheel dengan drive shaft rotor kompresor.(Yu et al., 2021b)

2.2.2 Material Gear Drive Shaft

Material yang digunakan pada gear drive shaft screw compressor memainkan peranan penting dalam menentukan kekuatan dan ketahanan kompresor terhadap beban yang di terimanya. Material gear drive shaft screw compressor umumnya terdiri dari logam atau paduan logam yang memiliki kombinasi sifat mekanis yang baik, seperti kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuan untuk menahan beban termal dan mekanis. Salah satu material yang digunakan adalah AISI 1045.

AISI 1045 adalah baja paduan rendah yang termasuk dalam kategori case hardening steel, yaitu baja yang dirancang untuk melalui proses pengerasan permukaan (case hardening) seperti carburizing. Baja ini biasanya digunakan untuk komponen mekanik yang membutuhkan permukaan keras untuk ketahanan aus, tetapi tetap memiliki inti yang tangguh untuk menahan beban. Kandungan unsur yang terdapat dalam material AISI 1045 antara lain:

Tabel 1 Kandungan Unsur dalam Material

Unsur	Kandungan %	Sifat Mekanis
Karbon	0,42 – 0,50	Yiled strengh
Mangan	0,60 – 0,90	Tensile strength
Fosfor	Maksimum 0,035	Elongation
Sulfur	Maksimum 0,040	Reduction in area
Silikon	0,15 – 0,40	Hardness

Karena sifat mekanik permukaan yang keras dan ini yang tinggi yang tangguh sehingga memiliki daya tahan dari beban dinamis maupun beban statis. Material ini biasanya diaplikasikan pada mesin salah satunya pada housing screw compresor in

2.2.3 Kegagalan Umum pada Gear Drive Shaft

Gear drive shaft pada unit screw compressor bekerja dalam kondisi pembebanan dinamis dan rotasi terus-menerus, sehingga sangat rentan mengalami kegagalan. Kegagalan ini dapat terjadi karena berbagai mekanisme kerusakan, yang masing-masing memiliki penyebab spesifik. Berikut ini adalah uraian jenis-jenis kegagalan beserta penyebab umumnya:

- Pitting

Merupakan kerusakan berupa lubang-lubang kecil pada permukaan shaft yang disebabkan oleh tekanan kontak berulang antara gigi gear. Pitting umumnya terjadi karena pelumasan yang tidak memadai, permukaan yang terlalu kasar, atau material permukaan yang tidak cukup keras akibat perlakuan panas yang kurang optimal.(Adawiyah et al., 2022)

- Spalling

Ditandai dengan pengelupasan sebagian permukaan logam akibat retak mikro di bawah permukaan. Penyebab utamanya antara lain kelelahan kontak (contact fatigue), beban berlebih, atau cacat dalam material seperti inklusi non-logam atau porositas.(Adawiyah et al., 2022)

- Fatigue Crack (Retak Kelelahan)

Muncul sebagai retakan halus yang kemudian menjalar akibat tegangan siklik jangka panjang. Penyebab utamanya adalah desain poros yang tidak sesuai, sudut tajam sebagai konsentrator tegangan, dan misalignment poros yang menyebabkan beban tidak merata.

- Torsional Fracture (Patah Puntir)

Terjadi ketika poros mengalami torsi mendadak atau melebihi batas kekuatan desain material. Kegagalan ini sering disebabkan oleh beban kejut (shock load), start/stop mendadak tanpa peredam torsi, atau kondisi operasi abnormal.

- Wear (Keausan)

Merupakan penipisan permukaan shaft akibat kontak gesek terus-menerus, terutama pada area yang bersinggungan dengan gear atau bearing. Keausan biasanya diperparah oleh pelumasan yang buruk, kontaminasi partikel dalam oli, atau kesalahan dalam perakitan yang menyebabkan gesekan tidak merata.(Alvianto Kurniawan et al., 2024)

- Korosi

Muncul dalam bentuk pengkaratan atau degradasi permukaan logam akibat reaksi kimia dengan lingkungan, seperti udara lembab, cairan kimia, atau oli tercemar air. Korosi sering mempercepat retak kelelahan dan menyebabkan kerusakan struktural lebih cepat.(Alvianto Kurniawan et al., 2024)

2.3 Metode Pengujian pada Gear Drive Shaft

Pengujian terhadap Gear Drive Shaft sangat penting dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual komponen dan mengidentifikasi penyebab potensial dari kerusakan yang terjadi. Berbagai metode pengujian digunakan guna memperoleh data yang komprehensif terkait karakteristik visual, dimensi, kekerasan material, dan mikrostruktur permukaan. Adapun metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

2.3.1 Pengujian Visual

Pengujian ini dilakukan sebagai tahap awal untuk mengamati adanya cacat makro seperti retakan, korosi, perubahan warna, atau indikasi keausan pada permukaan gear. Hasil pengamatan visual menjadi dasar dalam menentukan titik-titik kritis yang memerlukan pengujian lanjutan.

2.3.2 Pengukuran Dimensi

Pengukuran dimensi dilakukan untuk mengevaluasi adanya perubahan geometri atau keausan pada gigi gear. Parameter yang diukur antara lain diameter akar (root diameter), diameter puncak gigi (tip diameter), dan lebar muka gigi (face width). Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur presisi seperti vernier caliper dengan skala 0,02. Untuk mengetahui keausan pada gear drive shaft menggunakan rumus berikut.

$$Wr = \frac{Sv - Mw}{Sv} \times 100\%$$

Keterangan :

$Wr = \text{Wear rate (\%)}$

$Mw = \text{Meansured wear value (mm)}$

$Sv = \text{Standart value (mm)}$

2.3.3 Uji Kekerasan (Hardness Test)

Uji kekerasan mengukur ketahanan material terhadap deformasi permanen yang disebabkan oleh gaya tekan. Beberapa metode pengujian kekerasan yang umum digunakan adalah Metode Rockwell



Gambar 2. 9 Hardness Rockwell HRC

Metode ini sebenarnya merupakan gabungan antara Metode Brinnell dan Metode Vickers, sehingga hasilnya cukup presisi dan tepat. Dalam metode Rockwell terdapat 2 (dua) macam indenter yang ukurannya bervariasi, yaitu :

1. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai Rockwell Cone.
2. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai Rockwell Ball.

Cara Rockwell ini berdasarkan pada penekanan sebuah indenter dengan suatu gaya tekan tertentu ke permukaan yang rata dan bersih dari suatu logam yang diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya minor, maka yang akan dijadikan dasar perhitungan untuk nilai kekerasan Rockwell bukanlah hasil pengukuran diameter atau diagonal bekas lekukan, tetapi justru dalamnya bekas lekukan yang terjadi itu. Pengujian Rockwell yang umumnya dipakai ada tiga jenis, yaitu HRA, HRB, dan HRC. HR itu sendiri merupakan suatu singkatan kekerasan Rockwell atau Rockwell Hardness Number dan kadang-kadang disingkat dengan huruf R saja.

Untuk baja yang keras dan bahan lain yang lebih keras dari skala B-100 digunakan indenter kerucut intan sudut 120 dengan beban 150 kg, dan skala kekerasan 100 HRC. Metode Rockwell digunakan untuk menguji material dari yang lunak sampai yang keras.

Rumus Uji Kekerasan Rockwell

$$\text{Penurunan Kekerasan (\%)} = \left(\frac{HRC_{ideal} - HRC_{aktual}}{HRC_{ideal}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

- *HRC_{ideal}* = kekerasan standar atau spesifikasi material dalam kondisi baik.
- *HRC_{aktual}* = kekerasan hasil pengujian aktual dari material yang dianalisis.
- Hasil akhir = menunjukkan seberapa besar penurunan kekerasan dalam bentuk persen terhadap nilai idealnya.

2.3.4 Metode Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek padat atau solid secara langsung. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop optik, dengan memiliki perbesaran 10 sampai lebih dari 50.000 kali dimungkinkan.



Gambar 2. 10 Alat Uji SEM(Maiseka & Soegiarto, 2025)

SEM (Scanning Electron Microscope) merupakan metode yang secara luas digunakan untuk pengamatan morfologi permukaan, struktur, dan pemetaan kandungan berbagai jenis sampel mulai dari bahan alam, organik, anorganik, polimer, logam hingga sampel biologi. Metode pengamatan ini menggunakan berkas elektron pancaran energi tinggi untuk memindai objek sehingga menghasilkan citra dan komposisi sampel. Berkas elektron yang digunakan sebagai sumber memiliki panjang gelombang puluhan ribu kali lebih pendek dari panjang gelombang cahaya tampak sehingga citra yang dihasilkan metode ini memiliki resolusi dan detail gambar yang lebih baik daripada mikroskop optik. Prinsip tersebut membuat metode ini memiliki

keunggulan lebih dan sangat digemari jika dibandingkan mikroskop optik. Metode ini dapat menghasilkan citra gambar tiga dimensi dengan perbesaran dan resolusi yang jauh lebih tinggi. (Sahdiah & Kurniawan, 2023)

2.4 Perhitungan Kegagalan

Untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada material gear drive shaft diperlukan perhitungan dalam penyelesaiannya.

2.4.1 Perhitungan Momen Puntir (Torque)

Momen puntir merupakan besarnya torsi yang diteruskan dari poros penggerak ke roda gigi. Nilai momen ini ditentukan berdasarkan daya yang ditransmisikan serta kecepatan putar poros. Analisis momen penting dilakukan karena torsi berperan langsung dalam menentukan besarnya gaya yang bekerja pada gigi. Apabila momen yang dihitung melebihi kapasitas material, maka dapat terjadi kegagalan berupa patah puntir pada poros maupun kerusakan pada gigi. Untuk perhitungannya diperlukan rumus berikut.

$$T = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

T = Torsi (*Torque*)

P = daya (kW)

n = putaran (rpm)

Konstanta 9550 berasal dari konversi satuan kW dan rpm ke Nm.

2.4.2 Gaya Tangensial

Gaya tangensial adalah komponen gaya utama yang bekerja sepanjang lingkaran pitch roda gigi. Gaya ini diperoleh dari pembagian momen terhadap jari-jari lingkaran pitch. Besarnya gaya tangensial berpengaruh langsung terhadap tegangan lentur yang terjadi pada gigi. Apabila gaya

tangensial melampaui kekuatan lentur material, maka gigi berisiko mengalami patah lentur (bending failure), yang merupakan salah satu bentuk kegagalan paling umum pada roda gigi. Untuk menghitungnya menggunakan rumus berikut.

$$W_T = \frac{2T}{d}$$

W_T = Gaya tangensial

T = momen puntir (Nm)

d = diameter pitch circle (m)

2.4.3 Beban Dinamis (Dynamic Force)

Selain beban statis, roda gigi juga mengalami beban tambahan akibat ketidakakuratan manufaktur, defleksi gigi, serta getaran yang timbul pada saat beroperasi. Beban tambahan ini dikenal dengan istilah beban dinamis. Perhitungan beban dinamis umumnya menggunakan persamaan Buckingham yang mempertimbangkan kecepatan garis pitch, lebar muka gigi, konstanta material, dan sudut tekanan. Besarnya beban dinamis yang tinggi dapat mempercepat terjadinya keausan serta meningkatkan potensi retak lelah, sehingga parameter ini sangat penting dalam evaluasi umur pakai roda gigi. Pada perhitungan ini menggunakan persamaan Buckingham yaitu.

$$W_D = W_T + \frac{21v(b.c.\cos^2\alpha + W_T)\cos\alpha}{21v + \sqrt{b.c.\cos^2\alpha + W_T}}$$

W_T = Gaya tangensial

α = sudut tekanan

v = pitch line velocity (m/s)

b = lebar muka gigi (mm)

c = konstanta material gear (N/mm)

2.4.4 Kekuatan Gear

Kekuatan gigi merupakan kapasitas maksimum yang dapat ditahan oleh suatu gigi terhadap gaya tangensial maupun beban dinamis yang bekerja. Nilai kekuatan gigi umumnya dihitung menggunakan persamaan Lewis yang mempertimbangkan faktor geometri gigi, modul, serta lebar muka. Perbandingan antara kekuatan gigi dan beban kerja aktual akan menghasilkan faktor keamanan (safety factor). Faktor keamanan ini digunakan untuk menilai apakah rancangan roda gigi mampu beroperasi dengan andal atau berisiko mengalami kegagalan prematur. Untuk perhitungan tersebut menggunakan persamaan Lewis sebagai berikut.

$$W_b = \sigma_{allow} \cdot b \cdot \pi m \cdot y$$

σ_{allow} = tegangan izin material (N/mm²)

b = lebar muka gigi (mm)

m = modul (mm)

y = faktor bentuk Lewis (dimensi geometri gigi, tergantung jumlah gigi)

Lalu diperlukan mencari perhitungan Safety Factor sebagai berikut.

$$SF = \frac{W_b}{W_D}$$

W_b = beban yang dapat ditahan gigi (Lewis)

W_D = beban dinamis aktual

Setelah itu diperlukan untuk mencari kekuatan Tarik Izin dengan menggunakan persamaan Tabor's

$$\sigma_u(MPa) \approx 33 \cdot HRC = 850$$

2.5 Teori Kegagalan Material

Dalam perancangan elemen mesin, terutama untuk poros, penting untuk memastikan bahwa tegangan kerja tidak melebihi tegangan izin material.

1. Teori Tegangan Normal Maksimum

Digunakan untuk material getas. Kegagalan terjadi jika tegangan normal melebihi kekuatan tarik atau tekan material.

2. Teori Tegangan Geser Maksimum (Teori Tresca)

Kegagalan dianggap terjadi jika tegangan geser maksimum melampaui kekuatan geser material.

3. Teori Distorsi Energi (Teori von Mises)

Sangat umum untuk material duktal seperti baja. Tegangan ekuivalen dihitung untuk dibandingkan dengan tegangan luluh.

4. Teori Kelelahan (Fatigue Theory)

Untuk komponen yang mengalami pembebanan berulang (siklik), kegagalan bisa terjadi jauh di bawah kekuatan luluh. Diagram Goodman, Soderberg, dan Gerber biasanya digunakan untuk menganalisis kegagalan akibat kelelahan. (R. S. KHURMI J.K. GUFTA, 2005)

2.6 Studi Terkait

Pada penelitian sebelumnya terdapat penelitian mengenai analisa kegagalan gigi lurus (spur gear) pada mesin kempa (screw press) dan pencahayaannya, Dimana factor kegagalannya disebabkan oleh pelumasan yang tidak memadai, kondisi operasi, material. (Fiatno & Aprizal, 2024)

Studi lainya mengenai penelitian terkait dengan analisis kegagalan CRANK PIN NUMBER 4 SULZER 12 ZAF 40 S PLTD Ampenan Unit 7 dimana crankshaft pada mesin diesel megalamai retakan dan dalam melakukan pengujiannya melibatkan uji kekuatan material Rockwell HRC. (Fhaizal et al., 2024)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam tugas akhir ini metode penyelesaian mengenai bagaimana penyelesaian dalam mengerjakan tugas akhir yang dibuat adalah menggunakan metode analisis dan eksperimental.

3.1.1 Diagram Ulir

Berikut ini merupakan tahapan penyelesaian masalah yang digunakan dalam tugas akhir yang ditunjukkan pada Gambar III. 1 dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.1.2 Studi Literatur

Pada tahap pertama penelitian, dilakukan pencarian informasi untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Tahap ini melibatkan pengumpulan data dan referensi dari berbagai sumber, termasuk jurnal ilmiah, buku, artikel, dan laporan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik penelitian. Informasi yang dikumpulkan digunakan untuk memahami kemajuan terbaru dalam penelitian dan menentukan metode terbaik.

3.1.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada tanggal 2 - 10 Juni 2025 yang bertempat di workshop PT Fadnov Airtech untuk menganalisa terjadinya kegagalan pada Gear Drive Shaft, melakukan pengujian visual dan pengujian ukur pada benda kerja, yang bertempat di Bizpark Commercial Estate, Jl. kopo Cirangrang No.5 Blok B8, Cibaduyut, Kec. Bojongloa Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40238. Untuk pengujian kekuatan mekanik yaitu di Laboratorium Logam Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bahan dan Barang Teknik (b4t). Di Jl. Sangkuriang No 14. Dago, Kecamatan Coblong Kota Bandung Jawa Barat. Selanjutnya untuk pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) akan dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) beralamat di Jl. Sangkuriang, Dago, Kecamatan Coblong Kota Bandung Jawa Barat.

3.1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pengujian gear drive shaft yang mengalami kerusakan menggunakan metode merusak / Destructive Testing untuk keperluan pengujiannya dengan ruang lingkup dan peralatan uji sebagai berikut :

Sampel Uji	Metode Pengujian	Peralatan Uji
Gear Drive Shaft	Visual	Kamera Digital
	Outside Diameter Gear	

	Jarak antar Gigi	Vernier Caliper
	Inside Diameter Gear	
	Kedalaman Gear (Add+Edd)	
	Kekerasan	Rockwell Hardness Tester (HRC)
	Memotong bahan uji	Mesin Cutting
	Struktur Material Gear	Scanning Electron Microscopy (SEM)

Tabel 3. 1 Aalat dan Bahan

3.1.5 Data Teknik

Berikut adalah data teknik Screw Compressor CompAir L160 :

Merk kompresor	: CompAir
Type	: L160
Input (kW)	: 160 kW
Output (Bar)	: 4 – 11 Bar
Diameter Gear Drive Shaft	: 62,18 mm
Jarak antar Gigi	: 2,90 mm
Inside Diameter Gear	: 36,50 mm
Kedalaman Gear	: 5,04 mm

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilaksanakan dengan cara melakukan pengujian material menggunakan metode metode merusak / Destructive Testing. adapun pengujian yang dilakukan antara lain:

1. Pengujian Visual



Gambar 3. 2 Gear Drive Shaft

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi benda yang mengalami kegagalan. Alat uji menggunakan kamera dan hasil uji akan dilampirkan sebagai bahan pengamatan.

Langkah pengujian :

- Permukaan benda uji dikondisikan bersih dan terdapat akses
- Hidupkan alat uji
- Posisikan benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- Amati layar dan kemudian ambil gambar.
- Catat nilai hasil pengujian pada Blanko Uji

2. Pengujian ukuran gear driveshaft



Gambar 3. 3 Vernier Caliper

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran gear drive shaft. Alat uji menggunakan Vernier Caliper dan hasil uji akan dilampirkan sebagai bahan pengamatan.

Langkah pengujian:

- Kalibrasi alat ukur
- Posisikan bagian benda kerja yang akan diukur secara tegak lurus
- Ukur bagian benda kerja (Outside, Inside, jarak anatar gigi, kedalaman gigi dan panjang benda kerja.
- Baca hasil pengukuran pada alat ukur
- Catat hasil pengukuran
- Bersihkan alat ukur dan benda kerja

3. Pengujian kekerasan dengan Hradness Rockwell HRC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan pada material gear drive shaft yang mengalami kegagalan di Laboratorium Logam Balai Besar Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bahan dan Barang Teknik (b4t).

Langkah pengujian :

- a. Siapkan Alat dan Benda Uji
 - Gunakan mesin Rockwell hardness tester dengan jarum atau layar digital.
 - Pastikan permukaan benda uji rata, bersih, dan tidak berkarat.
 - Gunakan indenter berlian (cone 120°) untuk skala HRC.
- b. Letakkan Benda Uji di atas meja (anvil) mesin dengan posisi stabil dan rata.
- c. Naikkan Meja Mesin, putar tuas/meja secara perlahan hingga indenter menyentuh permukaan benda uji.
- d. Terapkan Beban Awal (10 kgf), mesin akan memberikan beban ringan sebagai beban awal untuk menetapkan titik nol.

- e. Terapkan Beban Utama (150 kgf), mesin akan secara otomatis atau manual menambahkan beban penuh untuk mengindentasi permukaan benda.
- f. Tunggu Beberapa Detik, tahan beban selama sekitar 4–6 detik, lalu mesin akan secara otomatis mengurangi beban ke posisi awal.
- g. Baca Hasil Uji, nilai kekerasan akan langsung muncul di layar digital atau jarum penunjuk, dalam satuan HRC.
- h. Lakukan Uji Ulang, lakukan pengujian di beberapa titik untuk hasil yang akurat dan konsisten.

4. Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mikro struktur pada material yang mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN).

Langkah – Langkah pengujian SEM :

1. Siapkan sampel yang akan diamati. Sampel harus bersih dan kering agar hasil pengamatan jelas.
2. Pasang sampel pada holder. Tempelkan sampel pada dudukan khusus agar tidak bergeser saat pengamatan.
3. Masukkan sampel ke dalam ruang vakum SEM. Tutup ruang SEM rapat agar mencapai kondisi hampa udara.
4. Atur parameter pengamatan pada computer. Tentukan besar tegangan, perbesaran, dan fokus sesuai kebutuhan.
5. Lakukan pemindaian permukaan dengan sinar electron. SEM akan memindai permukaan dan menghasilkan sinyal dari interaksi elektron dengan sampel.
6. Amati hasil citra pada layar monitor. Gambar permukaan sampel akan muncul di monitor dan bisa disimpan untuk analisis.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam analisis kegagalan ini adalah:

a. Variabel Bebas

Terjadinya kegagalan berupa pitting, spalling dan korosi pada bagian permukaan giginya.

b. Variabel Terikat

1. Kekuatan mekanik material yang diuji dengan Rockwell menggunakan HRC
2. Perubahan Struktur mikro pada material gear Drive shaft yang diuji dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

c. Variabel Kontrol

Gear Drive Shaft pada sistem transmisi daya screw compressor yang mengalami kegagalan.

3.4 Analisi Data

3.4.1 Analisi Kegagalan Gear Drive Shaft

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kegagalan pada *gear drive shaft* maka akan dilakukan beberapa pengujian, yaitu : pengujian secara visual, pengukuran spesimen, pengujian kekerasan dan pengujian *scanning electron microscopy* (SEM).

Pengujian secara visual dilakukan untuk mengetahui kegagalan yang terlihat secara langsung. Pengujian ini menggunakan alat bantu berupa kamera digital untuk mendokumentasikan kegagalan pada gear drive shaft. Kegagalan yang terlihat secara langsung berupa korosi dimana pada gear tersebut terdapat bercak-bercak korosi yang terlihat pada permukaan gear tersebut. Pengujian ini juga dapat melihat kegagalan berupa pitting. Pitting adalah

lubang lubang kecil pada permukaan gear drive shaft. Pada permukaan gear drive shaft juga terjadi kegagalan berupa keausan(wear).

Kegagalan keausan dapat diukur menggunakan alat ukur vernier caliper. Keausan tersebut terlihat ketika diukur antara gear yang mengalami beban momen paling banyak dengan gear yang tidak terlalu mendapat beban momen. Ketika diukur gear yang mengalami beban momen paling banyak akan mengalami penurunan ukuran ketika diukur dengan vernier caliper. Vernier caliper juga digunakan untuk mengukur diameter luar, diameter dalam, jarak antar gear dan kedalaman gear. Saat terjadi keausan akibat adanya beban momen di sebagian gear akan terjadinya perubahan mikro struktur pada material gear tersebut.

Perubahan mikro struktur pada gear dapat dilihat dengan pengujian secara mikroskopis menggunakan scanning electron microscopy (SEM). Pengujian SEM akan menunjukkan perubahan mikro struktur pada bagian irisan dalam gear drive shaft. (Rozak & Mahendra Sakti, n.d.)

3.4.2 Analisis Pengujian pada Kegagalan Gear Drive Shaft

1. Pengujian Visual : Pengujian dapat memberikan data kegagalan berupa korosi dan pitting.
2. Pengujian pengukuran untuk mengetahui keausan pada gear drive shaft.
3. Pengujian Kekerasan untuk mengetahui perbedaan pada material yang mengalami kegagalan.
4. Pengujian mikroskopi dengan SEM digunakan untuk mengemukakan kegagalan mikro struktur pada gear yang mengalami beban momen paling tinggi.

3.5 Diskusi Hasil

Data yang diperoleh dari literatur atau penelitian sebelumnya untuk mendapatkan pemahaman mengenai jenis kegagalan yang terjadi pada gear drive shaft screw compressor. Hasil dari penelitian ini akan memberikan ilmu dan

rujukan ketika gear drive shaft screw compressor mengalami kegagalan berupa pitting, spaling, keausan dan korosi. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti pengujian secara visual dengan menggunakan kamera digital, pengukuran spesimen dengan vernier caliper pada kegagalan keausan, uji kekerasan untuk mengetahui kekuatan mekanik pada specimen yang mengalami kegagalan dan pengujian mikroskopi dengan SEM untuk mengetahui kegagalan mikro struktur pada material yang mengalami kegagalan. Dari seluruh pengujian ini diharapkan dapat memberikan solusi baru ketika gear drive shaft mengalami kegagalan.





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan metode failure analysis pada specimen gear drive shaft yang mengalami kegagalan. Kegagalan yang terjadi pada *gear drive shaft screwcompressor* berupa pitting, spalling, keausan dan korosi. Spesimen yang mengalami kegagalan diuji menggunakan beberapa metode pengujian. Metode pengujian yang dilakukan pada specimen ini terdapat 4 pengujian yaitu, pengujian visual, pengukuran dengan vernier caliper, uji kekerasan dengan hardness rockwell hrc dan uji mikroskopi dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

4.2 Perhitungan Kegagalan

Berikut ini adalah perhitungan yang digunakan dalam mencari batas aman material agar tidak terjadi kegagalan.

4.2.1 Momen (T)

Diketahui:

- Daya motor $P = 160$ kW
- Putaran pinion $n = 1500$ rpm

Perhitungan :

$$T = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

$$T = \frac{9550 \cdot 160}{1500} = 1018,93 \text{ Nm}$$

Momen puntir sebesar 1018,93 Nm ini adalah torsi yang diteruskan poros akibat putaran motor. Nilai ini menjadi dasar dalam menghitung gaya

tangensial yang bekerja pada gigi.

4.2.2 Gaya Tangensial (Tangensial Load, W_T)

Diketahui :

- Momen puntir $T = 1018,93 \text{ Nm} = 1018930 \text{ N/mm}$
- Modul $m = 3,109 \text{ mm}$
- Jumlah gigi $z = 20$
- Diameter pitch circle:

$$d = m \cdot z = 3,109 \cdot 20 = 62,18 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$W_T = \frac{2T}{d}$$
$$W_T = \frac{2 \cdot 1018930}{62,18} = 32773,6 \text{ N}$$

Gaya tangensial sebesar 32,77 kN bekerja pada lingkaran pitch roda gigi. Gaya ini adalah beban utama yang ditanggung gigi dalam mentransmisikan daya.

4.2.3 Beban Dinamis (Dynamic Force, W_D)

Diketahui :

- $W_T = 32773,6 \text{ N}$
- Lebar muka gigi $b = 62,18 \text{ mm}$
- Sudut tekanan $\alpha = 30^\circ \rightarrow \cos^2 \alpha = 0,75$

- Pitch line velocity: $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 1000}$
$$v = \frac{3,14 \cdot 0,06218 \cdot 1500}{60} = 4,88 \text{ m/s}$$

- Konstanta manufaktur $c \rightarrow$ perlu ditentukan dari tabel kualitas gigi (misalnya 118 N/mm untuk kualitas baik, bisa disesuaikan).

Rumus Buckingham :

$$W_D = W_T + \frac{21v (b \cdot c \cdot \cos^2 \alpha + W_T) \cos \alpha}{21v + \sqrt{b \cdot c \cdot \cos^2 \alpha + W_T}}$$

- Perhitungan dengan $c = 118 \text{ N/mm}$:
- $b \cdot c \cdot \cos^2 \alpha = 62,18 \cdot 118 \cdot 0,75 = 5493,7$
- $b \cdot c \cdot \cos^2 \alpha + W_T = 38267,3$
- $\sqrt{38267,3} = 195,6$
- Penyebut $= 21 \cdot 4,88 = 195,6 = 297,1$
- Pembilang $= 21 \cdot 4,88 \cdot 38267,3 \cdot 0,866 = 2287000$
- Hasil Pecahan $= 11402,5$

$$W_D = 32773,6 + 11402,5 = 44176,1 \text{ N}$$

Beban dinamis meningkat menjadi 44,18 kN akibat pengaruh getaran, deviasi manufaktur, dan defleksi gigi. Nilai ini lebih realistis disbanding gaya tangensial murni.

4.2.4 Kekuatan Gigi (Lewis Equation, W_b)

Diketahui :

- Material: AISI 1045
- Hasil uji kekerasan: 42,66 HRC $\rightarrow \sigma_{allow} \approx 1400 \text{ N/mm}^2$
- Yield strength $\sigma_y = 530 \text{ N/mm}^2$
- Ultimate tensile strength $\sigma_u = 625 \text{ N/mm}^2$
- Modul $m = 3,109 \text{ mm}$
- Lebar muka $b = 62,18 \text{ mm}$
- Jumlah gigi $z = 20 \rightarrow$ Faktor bentuk Lewis $y \approx 0,322$

Perhitungan :

$$W_B = \sigma_{allow} \cdot b \cdot \pi m \cdot y$$

- $\pi m = 9,77\text{mm}$
- $b \cdot \pi m \cdot y = 62,18 \cdot 9,77 \cdot 0,322 = 195,4$
- $W_b = 1400 \cdot 195,4 = 273560 \text{ N}$

Kekuatan lentur gigi adalah 273,56 kN. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan beban dinamis 44,18 kN.

4.2.5 Safety Factor

Perhitungan :

$$SF = \frac{W_B}{W_D}$$

$$SF = \frac{273560}{44176,1}$$

Faktor keamanan sebesar 6,19 menunjukkan bahwa gigi memiliki kapasitas menahan beban jauh di atas beban kerja dinamisnya, sehingga secara kekuatan gear termasuk aman

4.3 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini dilakukan beberapa pengujian, yaitu:

4.3.1 Pengujian Visual

Pada pengujian secara visual *gear drive shaft screw compressor* terlihat mengalami kegagalan berupa korosi pada bagian permukaan gear drive shaft.



Gambar 4. 1 Korosi pad gear Drive Shaft

Hasil pengamatan visual terhadap gear drive shaft menunjukkan bahwa salah satu bentuk kerusakan yang paling menonjol adalah korosi, yang muncul sebagai akibat dari interaksi elektrokimia antara material logam dan lingkungan sekitar. Korosi yang teridentifikasi tampak dalam bentuk perubahan warna permukaan, terbentuknya oksida logam berwarna coklat kemerahan, serta adanya permukaan tidak rata pada beberapa bagian gigi gear. Gejala ini mengindikasikan terjadinya proses oksidasi pada permukaan yang berlangsung secara progresif seiring waktu.

Jenis korosi yang diamati cenderung tidak merata, yang menunjukkan kemungkinan terjadinya korosi pitting, yaitu korosi yang terjadi secara terfokus di titik-titik tertentu pada permukaan logam. Pitting sangat berbahaya karena lubang-lubang kecil yang terbentuk dapat menembus lapisan permukaan dan menjadi lokasi awal tumbuhnya retakan mikro akibat beban kerja dinamis. Lubang-lubang tersebut seringkali memiliki ukuran yang kecil dan sulit terdeteksi secara kasat mata, tetapi dapat menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan dalam jangka panjang.

Faktor-faktor penyebab terjadinya korosi ini antara lain adalah kurangnya perlindungan pelumas, adanya kelembapan atau uap air, serta kondisi lingkungan kerja yang bersifat agresif, seperti adanya partikel korosif atau cairan kimia yang dapat mempercepat reaksi elektrokimia.

Selain itu, ketidakteraturan dalam jadwal perawatan atau kesalahan prosedur pelumasan turut memperparah tingkat kerusakan korosi yang terjadi.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan visual memperlihatkan bahwa korosi merupakan salah satu bentuk kegagalan dominan pada gear drive shaft. Jika tidak ditangani dengan baik, korosi dapat mempercepat degradasi material, memperlemah kekuatan permukaan, dan menyebabkan inisiasi kegagalan mekanik yang lebih kompleks, seperti pitting, retak kelelahan, hingga patah komponen.

4.3.2 Pengujian dengan Alat Ukur

Pengukuran dimensi pada gear drive shaft dilakukan dengan menggunakan alat ukur vernier caliper dengan ketelitian 0.02 mm, bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan dan perubahan geometri yang terjadi pada permukaan gigi gear akibat proses kerja berulang dan beban dinamis. Pengukuran ini juga berfungsi untuk mengidentifikasi sejauh mana kerusakan telah memengaruhi presisi bentuk gigi yang menjadi penentu kualitas transmisi daya.

a. Pengukuran diameter outside gear drive shaft



Gambar 4. 2 Pengukuran Diameter

Hasil pengukuran didapatkan diameter outside gear drive shaft adalah 62,18 mm

b. Pengukuran diameter inside geardrive shaft



Gambar 4. 3 Pengukuran Inside Diameter

Hasil pengukuran didapatkan diameter inside gear drive shaft adalah 36.30 mm

c. Pengukuran jarak antar gigi pada gear drive shaft



Gambar 4. 4 Pengukuran Jarak anatar Gigi

Hasil pengukuran didapatkan jarak antar gigi pada gear drive shaft adalah 2.90 mm.

d. Pengukuran kedalaman gigi pada gear drive shaft



Gambar 4. 5 Pengukuran Kedalaman Gear

Hasil pengukuran kedalaman gigi pada gear drive shaft adalah 5,04 mm

Pengukuran dilakukan pada beberapa parameter penting, yaitu:

- Lebar gigi gear (face width),
- Diameter dasar (root diameter) dan puncak gigi (tip diameter),
- Kedalaman pitting dan spalling pada permukaan kerja gear.

Berikut adalah table hasil pengukuran lebar gigi gear.

Tabel 4. 1 Keausan gigi Gear Drive S

Spesimen	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5
Gear Drive Shaft	4,52 mm	4,50 mm	4,42 mm	4,32 mm	4,34 mm

Dari hasil tersebut didapatkan grafik berikut.



Gambar 4. 6 Grafik Pengujian Keausan Gigi

Dari hasil pengukuran, diketahui bahwa terjadi penurunan ketebalan lebar gigi gear dari titik uji material 1 hingga 4, dengan nilai awal sebesar 4,52 mm menjadi 4,32 mm, sehingga total penurunan mencapai $\pm 0,2$ mm. Penurunan ini menandakan adanya proses keausan berkelanjutan saat komponen beroperasi, yang menyebabkan deformasi geometris di area kontak. Setelah titik 4, nilai sedikit meningkat kembali menjadi 4,34 mm pada titik ke-5, namun tidak signifikan untuk mengindikasikan pemulihan kondisi.

Pada titik 4 terjadi keausan paling parah Dimana berkurangnya 0,2 mm. Untuk mengetahui persentase keausan pada gear tersebut dapat menggunakan rumus berikut.

$$Wr = \frac{Sv - Mw}{Sv} \times 100\%$$

$$Wr = \frac{4,52 - 4,32}{4,52} \times 100\%$$

$$= 4,42 \%$$

Jadi persentase keausannya sebesar 4,42% yang terjadi pada geardrive shaft n

Selain itu, kedalaman pitting rata-rata berada pada kisaran 0,2 mm, sedangkan kedalaman spalling di beberapa lokasi mencapai lebih dari 1 mm, mengindikasikan bahwa kerusakan telah berkembang dari permukaan ke bagian dalam material. Hal ini umumnya disebabkan oleh beban siklik berulang dan sistem pelumasan yang tidak optimal.

Perubahan dimensi ini berdampak langsung pada ketidaksesuaian profil gigi gear, yang dapat menyebabkan distribusi beban menjadi tidak merata, getaran berlebih, dan meningkatkan risiko kerusakan pada komponen lainnya dalam sistem transmisi daya. Ketidakseimbangan ini juga meningkatkan kemungkinan terjadinya kontak langsung antar logam (metal-to-metal contact), yang mempercepat keausan dan memicu terbentuknya retakan akibat konsentrasi tegangan lokal

Hasil pengukuran ini menjadi indikasi bahwa gear drive shaft telah mengalami degradasi bentuk fisik yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi ulang terhadap umur pakai dan strategi pemeliharaan, untuk mencegah kegagalan menyeluruh pada sistem kompresor.

4.3.3 Pengujian Kekerasan Rockwell HRC

Pengujian kekerasan merupakan metode evaluasi penting dalam menganalisis tingkat ketahanan material terhadap deformasi plastis. Dalam studi ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell skala HRC untuk menilai karakteristik kekerasan permukaan gear drive shaft yang diduga mengalami kerusakan akibat pembebanan siklik, keausan, dan korosi.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan indentor kerucut berlian (cone diamond) dan beban total sebesar 150 kgf, sesuai dengan standar pengujian Rockwell C. Pengujian dilakukan pada spesimen uji dengan

identitas U312, dan hasilnya diperoleh dari lima titik pengukuran berbeda. Data hasil pengujian disajikan pada gambar dan tabel berikut:



Gambar 4. 7 Gambar Titik Pengujian Gear

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Rockwell HRC

Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Hasil Uji					Rata-rata
		H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	
U312	(HRC) 150	44,47	43,97	41,84	41,45	41,55	42,66 ± 1,43

Berdasarkan data pada Tabel 4.1, nilai kekerasan Rockwell HRC untuk spesimen U312 menunjukkan nilai rata-rata sebesar 42,66 HRC dengan standar deviasi $\pm 1,43$. Nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan nilai tipikal kekerasan untuk gear drive shaft yang umumnya berada pada rentang 55–60 HRC, terutama untuk baja paduan dengan perlakuan panas (heat-treated alloy steel) yang digunakan pada sistem transmisi daya bertekanan tinggi.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian Rockwell HRC

Penurunan nilai kekerasan ini mengindikasikan terjadinya degradasi mikrostruktur material, yang dapat disebabkan oleh kelelahan material, serta kondisi pelumasan yang tidak optimal selama siklus operasi. Permukaan material yang mengalami degradasi biasanya menunjukkan gejala pelunakan (softening), sehingga mengurangi ketahanan terhadap abrasi dan meningkatkan risiko kerusakan progresif seperti spalling dan retakan kelelahan.

Secara kuantitatif, penurunan kekerasan terhadap nilai ideal (59 HRC) dapat dihitung sebagai berikut:

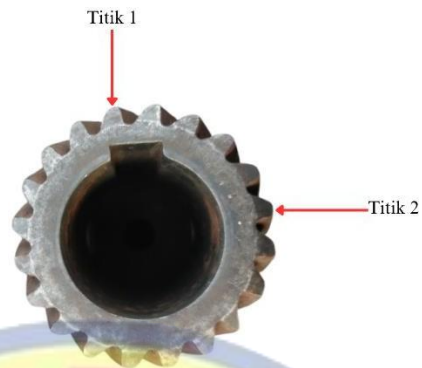
$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekerasan (\%)} &= \left(\frac{HRC_{ideal} - HRC_{aktual}}{HRC_{ideal}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{59 - 42,66}{59} \right) \times 100\% \\
 &= 27,71\%
 \end{aligned}$$

Nilai penurunan sebesar $\pm 27,7\%$ menunjukkan degradasi yang signifikan dan dapat dikategorikan sebagai indikator awal dari hilangnya integritas struktural material. Oleh karena itu, hasil pengujian ini memberikan kontribusi penting dalam mengidentifikasi penyebab utama kegagalan gear drive shaft dan mendukung perlunya evaluasi terhadap kondisi operasi, sistem pelumasan, dan pemilihan material yang digunakan.

4.3.4 Pengujian Mikroskopi dengan SEM

Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk menganalisis lebih lanjut kondisi kerusakan mikro pada gear drive shaft dengan tingkat ketelitian tinggi. SEM merupakan instrumen yang memanfaatkan berkas elektron untuk memindai permukaan spesimen, memberikan citra mikroskopis tiga dimensi dengan resolusi tinggi, dan memungkinkan identifikasi morfologi permukaan, retakan mikro, serta indikasi degradasi material lainnya.

Dalam penelitian ini, pengujian SEM termasuk dalam kategori pengujian destruktif, karena pengambilan sampel dilakukan melalui proses cutting secara cross-section atau irisan melintang dari gigi gear drive shaft yang telah menunjukkan indikasi kerusakan secara visual maupun hasil pengukuran kekerasan. Metode cross-section ini memungkinkan visualisasi struktur internal material dari arah penampang gigi, sehingga fenomena seperti pertumbuhan retakan dan zona plastis dalam dapat dianalisis lebih komprehensif.



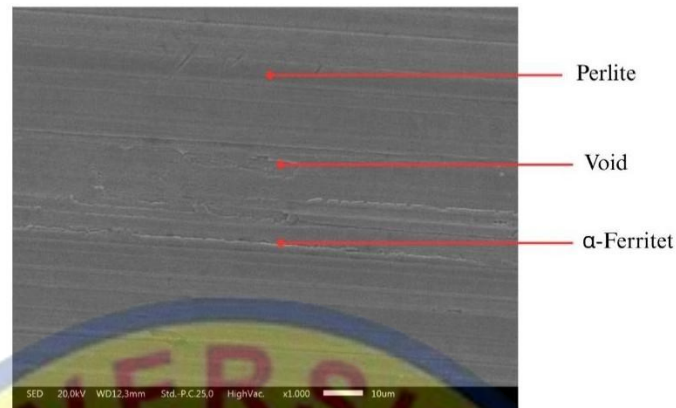
Gambar 4. 9 Titik gear yang diuji SEM cros section

Pengujian ini dilakukan pada 2 titik, dimana Titik 1 tempat terjadinya momen yang besar dari gear yang dihubungkan ke poros screw, dan pada titik 2 dijadikan sebagai perbandingan adanya kegagalan mikro struktur.

1. Pengujian SEM pada titik 1



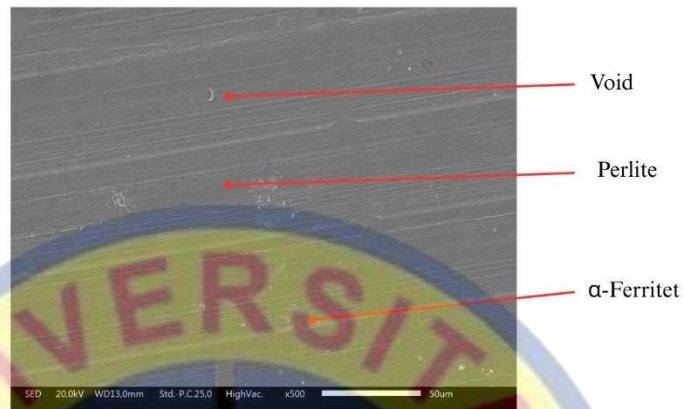
Gambar 4. 10 Struktur Mikro gear crpss section titik 1 X500



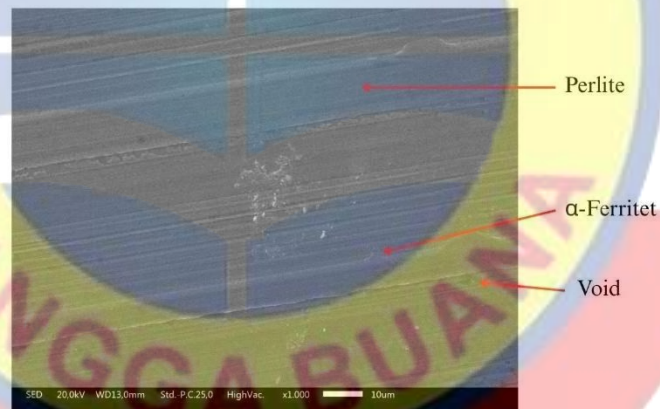
Gambar 4. 11 Struktur Mikro gear crpss section titik 1 X1000

Hasil pengujian menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) pada pembesaran 500x dan 1000x menunjukkan karakteristik morfologi permukaan yang terdiri atas fasa ferrite dan perlit. Pada citra dengan perbesaran 500x terlihat adanya pola garis sejajar yang merupakan indikasi struktur lamelar dari perlit serta kemungkinan bekas proses preparasi permukaan. Struktur ferrite tampak lebih homogen dan halus, sedangkan perlit menunjukkan bentuk lamelar yang khas, sebagaimana terlihat lebih jelas pada citra dengan perbesaran 1000x. Pada perbesaran tinggi juga ditemukan adanya mikrovoid yang ditandai dengan area cekungan tidak beraturan serta retakan mikro yang cenderung mengikuti arah lamela perlit. Kehadiran mikrovoid dan retakan mikro ini mengindikasikan adanya mekanisme degradasi material yang berpotensi berkembang menjadi retakan lebih besar ketika material menerima tegangan berulang. Dengan demikian, struktur mikro yang diamati menunjukkan bahwa fasa ferrite memberikan sifat ulet, sementara fasa perlit yang lamelar cenderung menjadi lokasi awal terbentuknya kerusakan berupa mikrovoid dan retakan mikro, yang pada akhirnya dapat mengarah pada mekanisme kegagalan akibat fatigue fracture.

2. Pengujian SEM pada titik 2



Gambar 4. 12 Struktur Mikro gear crpss section titik 2 X500



Gambar 4. 13 Struktur Mikro gear crpss section titik 2 X1000

Hasil pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) pada perbesaran 500x dan 1000x memperlihatkan morfologi permukaan material yang terdiri dari fasa ferrite dan perlite. Pada perbesaran 500x tampak pola garis sejajar yang menunjukkan struktur lamelar khas dari perlite, sedangkan daerah dengan permukaan lebih homogen dan terang diidentifikasi sebagai fasa ferrite. Pada citra dengan perbesaran 1000x struktur lamelar perlite terlihat lebih jelas, dengan

orientasi garis yang memanjang secara sejajar, sementara ferrite tetap menunjukkan permukaan yang lebih halus. Selain itu, tampak adanya mikrovoid berupa cekungan kecil dan tidak beraturan pada permukaan, yang berfungsi sebagai indikasi awal terbentuknya porositas akibat konsentrasi tegangan lokal. Kehadiran retakan mikro juga dapat diamati, terutama pada area yang mengikuti arah lamela perlite, yang menunjukkan kecenderungan perlit menjadi jalur preferensial inisiasi retak. Hal ini menguatkan pemahaman bahwa ferrite berperan dalam meningkatkan keuletan material, sedangkan perlite dengan struktur lamelarnya cenderung menjadi lokasi awal terbentuknya kerusakan mikro berupa mikrovoid dan retakan. Mekanisme ini dapat berkembang lebih lanjut menjadi retak fatik (fatigue crack) ketika material mengalami pembebanan siklik berulang.

4.3.5 Hasil Analisis Data Struktur Micro

Hasil analisis data struktur micro agar lebih mudah dipahami dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Hasil analisis data struktur mikro

Titik	Perbesaran	Hasil Irisan	Identifikasi Struktur	Indikasi Kerusakan
Titik 1	x500	Pola garis sejajar, permukaan relatif halus	Ferrite (daerah terang homogen), Perlite (lamelar sejajar)	Awal alur mikro pada lamela, indikasi potensi retakan
	x1000	Struktur lamelar lebih	Ferrite (fase halus), Perlite	Ditemukan mikrovoid

		jelas, area gelap tidak beraturan	(lamela lebih tajam)	kecil, retakan mikro mengikuti lamela perlit indikasi fatigue crack
Titik 2	x500	Pola garis sejajar, terdapat area bercak terang	Ferrite (daerah homogen), Perlite (lamelar tipis)	Indikasi awal porositas pada area bercak
	x1000	Lamelar perlite lebih jelas, terlihat cekungan dan bercak terang tidak merata	Ferrite (fase halus), Perlite (lamelar lebih rapat)	Teridentifikasi mikrovoid lebih nyata, serta retakan mikro pada lamela perlite, potensi jalur inisiasi retak lebih kuat

4.4 Pembahasan Hasil

Hasil pengujian yang dilakukan secara menyeluruh terhadap gear drive shaft unit screw compressor menunjukkan bahwa kegagalan komponen tersebut terjadi akibat kombinasi dari korosi, keausan mekanis, dan kelelahan material. Pendekatan multidisipliner melalui pengamatan visual, pengukuran dimensi, pengujian kekerasan Rockwell, dan analisis mikrostruktur menggunakan Scanning

Electron Microscope (SEM) memberikan gambaran yang saling melengkapi dalam menjelaskan penyebab utama degradasi fungsional komponen.

4.4.1 Korosi sebagai Inisiasi Kegagalan

Berdasarkan pengamatan visual (Subbab 4.2.1), ditemukan adanya gejala korosi pitting yang cukup signifikan pada permukaan gigi gear. Lubang-lubang korosi (pit) yang terlihat bersifat lokal, dalam, dan tidak merata. Pit semacam ini merupakan hasil dari interaksi elektrokimia antara logam dan lingkungan sekitar, serta dipicu oleh keberadaan kelembapan dan pelumas yang tidak sepenuhnya melindungi permukaan kerja. Korosi pitting memiliki potensi tinggi sebagai lokasi inisiasi kerusakan mikro, yang pada kondisi pembebanan berulang dapat berkembang menjadi retakan.

4.4.2 Degradasi Dimensi dan Keausan

Hasil pengukuran dimensi menggunakan vernier caliper (Subbab 4.2.2) menunjukkan bahwa terjadi penurunan ukuran pada beberapa parameter utama, termasuk lebar puncak gigi dan diameter efektif. Keausan tersebut mengindikasikan bahwa permukaan gear mengalami gesekan berlebih akibat pelumasan yang tidak optimal. Keausan ini mengubah profil kontak gear, yang selanjutnya menyebabkan distribusi beban menjadi tidak merata dan meningkatkan tegangan kontak, mempercepat kelelahan material.

4.4.3 Penurunan Kekerasan Material

Dari pengujian kekerasan Rockwell HRC, diperoleh rata-rata kekerasan sebesar 42,66 HRC, yang menunjukkan penurunan sekitar 27,71% dibandingkan dengan nilai ideal material (sekitar 59 HRC). Penurunan ini menandakan bahwa material mengalami degradasi sifat mekanik, yang dapat dikaitkan dengan pelunakan lokal akibat beban termomekanik berulang, serta

efek jangka panjang dari korosi dan gesekan. Material dengan kekerasan rendah lebih mudah mengalami deformasi plastis, keausan progresif, dan pembentukan retakan mikro.

4.4.4 Verifikasi Mikroskopis melalui SEM Cross-Section

Analisis menggunakan SEM pada penampang melintang gigi gear (Subbab 4.2.4) memperlihatkan morfologi permukaan rusak secara mikroskopis, yang mencakup lubang pitting dengan kedalaman bervariasi serta retakan mikro yang menjalar dari dasar pit menuju arah dalam material. Retakan ini menunjukkan pola inisiasi akibat korosi dan propagasi kelelahan. Permukaan patahan menunjukkan ciri khas retak getas akibat pembebanan siklik, yang memperkuat bukti bahwa interaksi antara korosi pitting dan tegangan dinamis berperan besar dalam mekanisme kegagalan. Tidak ditemukan indikasi inklusi non-logam dominan, sehingga proses degradasi lebih difokuskan pada faktor eksternal dan kerja mekanis.

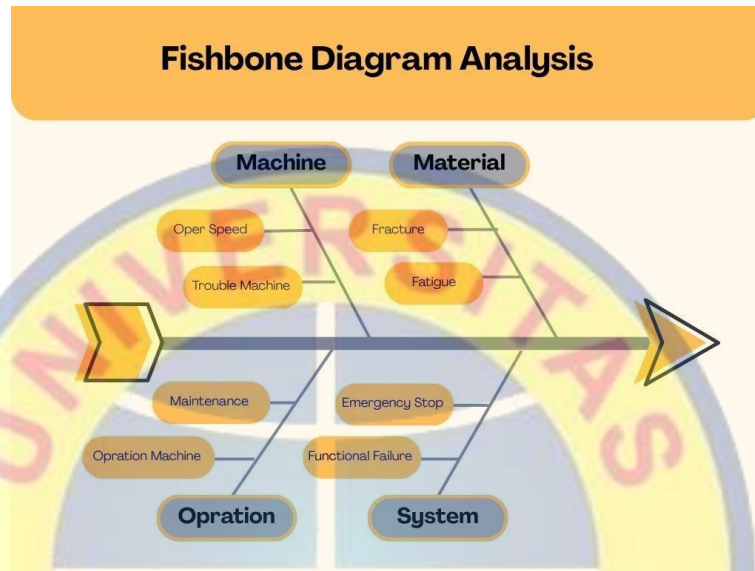
4.4.5 Sintesis dan Interpretasi

Dari integrasi keempat metode pengujian, dapat disimpulkan bahwa gear drive shaft mengalami kegagalan multimekanisme. Korosi pitting bertindak sebagai titik awal degradasi, kemudian diikuti oleh propagasi kerusakan akibat keausan dan pembebanan siklik. Penurunan kekerasan memperburuk kondisi ini, karena menurunkan ketahanan permukaan terhadap beban kontak tinggi.

Kerusakan seperti ini menunjukkan bahwa aspek pelumasan, kondisi lingkungan, dan beban dinamis harus dikontrol secara lebih ketat untuk mencegah terulangnya kegagalan serupa. Penggunaan material dengan perlakuan permukaan tahan korosi dan inspeksi berkala berbasis pendekatan prediktif akan sangat disarankan untuk sistem kerja berkelanjutan.

4.5 Diagram Fishbone Analysis

Berikut ini adalah *diagram fishbone analysis* tentang kegagalan pada *gear drive shaft screw compressor*



Gambar 4. 14 Diagram Fishbone

Tabel 4. 4 Tabel Data Diagram Fishbone

Faktor Penyebab	Faktor Akibat	Hasil Temuan	Evaluasi
Operation	Maintenance	Ditemukan adanya kegagalan dalam pelumasan ketika maintenance	Indikasi penyebab
	Operation Machine	Tidak ditemukan adanya kesalahan dalam pengoperasian mesin	clear

<i>Machine</i>	<i>Over Speed</i>	Tidak ditemukan adanya overspeed pada motor penggerak	<i>clear</i>
	<i>Trouble Machine</i>	Ditemukan adanya kerusakan pada mesin screw yang menyebabkan kegagalan transmisi	Indikasi penyebab
<i>System</i>	<i>Emergency Stop</i>	Sistem emergency stop tidak ada kendala	<i>clear</i>
	<i>Fuctional Failure</i>	Tidak ditemukan adanya kegagalan fungsi sistem	<i>clear</i>
<i>Material</i>	<i>Fracture</i>	Tidak ditemukan adanya ciri ciri fracture	<i>clear</i>
	<i>Fatigue</i>	Ditemukan adanya kegagalan material mikroskopi	Indikasi penyebab

Berdasarkan fishbone diagram analysis di atas, factor penyebab kegagalan gear gear drive shaft karena kegagalan dalam pelumasan dalam maintenance unit screw compressor yang menyebabkan korosi dan keausan , ditemukan adanya kegagalan pada mesin utama screw yang merambat ke sistem transmisi menyebabkan adanya kegagalan pada material secara mikroskopi ketika dilakukan pengujian SEM.

Pada titik 1 juga terlihat retakan yang lebih jelas karena terjadinya momen berlebih yang diterima gear dari poros screw. Pada titik 1 juga tempat terjadinya peneruan daya dari gear ke poros screw., sedangkan pada titik 2 gear tidak meneruskan langsung daya dari gear, sehingga ketika dilihat secara mikro terjadi perbedaan dengan titik 2.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan dari penelitian ini :

1. Untuk mengetahui penyebab kerusakan pada Gear Drive Shaft, diperlukan serangkaian metode pengujian yang mencakup:
 - Pengujian visual untuk mengidentifikasi kerusakan yang terlihat langsung pada permukaan gigi gear.
 - Pengukuran dimensi geometris (face width, root diameter, tip diameter) guna mengetahui tingkat keausan pada bagian gigi gear.
 - Pengujian kekerasan material menggunakan metode Rockwell HRC, untuk mengetahui perubahan kekuatan material pada *gear drive shaft*.
 - Pengamatan mikroskopis melalui SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengidentifikasi morfologi retakan, atau kelelahan material pada bagian potongan melintang (cross section) dari gigi gear.
2. Setelah dilakukan serangkaian pengujian di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:
 - Ditemukan terjadinya korosi pada permukaan gigi gear drive shaft setelah dilakukan pengujian secara visual.
 - Ditemukan adanya keausan pada gigi gear drive shaft mencapai 0,2 mm.
 - Ditemukan adanya penurunan kekuatan material pada gigi gear drive shaft sebesar 1,43 HRC setelah dilakukan pengujian Rockwell HRC.
3. Karena adanya kegagalan tersebut pada *gear drive shaft screw compressor*, maka perbaikan tidak bisa dilakukan maupun digunakan kembali karena permukaan gear yang sudah mengalami keausan sampai 0.2 mm dan terjadinya korosi.

5.2 Saran

Analisis kegagalan pada gear drive shaft masih belum sempurna, beberapa saran yang dapat membangun dan menyempurnakan perancangan ini adalah sebagai berikut:

4. Proses pengukuran menggunakan alat ukur dengan ketelitian 0,01 mm seperti mikrometer sekrup, menggunakan dial untuk mengetahui keoblakan diameter bagian dalam gear.
5. Pada sistem transmisi screw compressor terdapat beberapa gear yang saling terhubung, alangkah lebih baiknya melakukan analisa pada semua gear tersebut.
6. Penelitian ini belum menyertakan simulasi pembebanan atau pemodelan tegangan menggunakan software berbasis *finite element analysis* (FEA) untuk memverifikasi kondisi torsi berlebih yang diduga menjadi penyebab utama kegagalan. Disarankan agar penelitian mendatang mengintegrasikan pendekatan eksperimental dan simulasi untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.
7. Faktor eksternal seperti temperatur operasi, kelembaban, serta kondisi getaran lingkungan belum menjadi bagian analisis dalam penelitian ini. Padahal, kondisi tersebut dapat memengaruhi degradasi material dalam jangka panjang. Penelitian mendatang perlu mempertimbangkan parameter lingkungan sebagai variabel pengujian tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R., Syahwansyah Effendi, M., Hendrawan, A., Abdul Halim, D., Banjarmasin, N., Selatan, K., Negeri Banjarmasin, P., & Brig Jend Hasan Basri, J. (2022). Identification of Damage to Plate And Disc Components On Transmission Off Highway Truck (OHT) 789C. *Jurnal Teknologi MEDIA PERSPEKTIF*, 14(1), 28–40. <http://e-journal.polnes.ac.id/index.php/mediaperspektif/index>IdentifikasikerusakankomponenPlatedanDisk....
- Alvianto Kurniawan, F., Danny Kurniawan, S., & Delfian Prihadianto, B. (2024). Analisis keausan slewing gear 242-UB1 area unit ship unloader PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. In *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* (Vol. 19, Issue 2).
- Comp Air. (2024). *Translation of the original operating instructions Screw Compressor L160 - L290 V3, L110FC - L290FC V3, L160RS - L290RS V3, L110FC-RS - L290FC-RS V3* (Vol. 01).
- Fhaizal, M. A., Faizun, A., Wijaya, W., Sani, W., & Kristianti, L. (2024). Damage Analysis Of Crank Pin Number 4 Sulzer 12 ZAV 40 S PLTD Ampenan Unit 7. *Journal of Physics: Conference Series*, 2928(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2928/1/012012>
- Fiatno, A., & Pasir Pengaraian Jalan Tuanku Tambusai Simp Kumu Rambah Hilir Pasir Pengaraian, U. (n.d.). *PADA MESIN KEMPA (SCREW PRESS) DAN PENCEGAHANNYA*.
- Maiseka, G., & Soegiarto, T. S. (2025). ANALISIS DAN EVALUASI UNJUK KERJA SCREW COMPRESSOR SH250 PADA UTILITIES UNIT PT. CPP GUNDIH. In *Jurnal Penelitian Multidisiplin Terpadu* (Vol. 9, Issue 1).

- Ofodu, J. C., Saturday, E. G., & Torbira, M. S. (2023). *Reliability-Centered Maintenance Analysis on a Single-Stage Water-Cooled Oil-Injection Screw Compressor*. 7(12), 57–63.
- R. S. KHURMI J.K. GUFTA. (2005). *A TEXT BOOK OF MACHINE DESIGN* (Vol. 1).
- Rozak, A., & Mahendra Sakti, A. (n.d.). *Analisis Kepadatan pada Proses Pelapisan Nikel dengan Variasi Tegangan dan Lama Pencelupan Baja ST 41*.
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p117-123>
- Vorspohl, J., & Burchardt, L. (2024). *Experimental investigation and modelling of the noise and vibration in screw compressors*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1322/1/012001>
- Wang, Y., Xiong, L., Feng, D., Liu, X., & Zhao, S. (2024). Research Progress on the Manufacturing of Screw-Shaped Parts in Screw Compressors. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14051945>
- Willie, J. F., & Ganatra, R. (2024). Experimental investigation and modelling of the noise and vibration in screw compressors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1322(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1322/1/012001>
- Yu, P., Manalo, A., Ferdous, W., Salih, C., Abousnina, R., Heyer, T., & Schubel, P. (2021a). Failure analysis and the effect of material properties on the screw pull-

out behaviour of polymer composite sleeper materials. *Engineering Failure Analysis*, 128(July), 105577. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105577>

Yu, P., Manalo, A., Ferdous, W., Salih, C., Abousnina, R., Heyer, T., & Schubel, P. (2021b). Failure analysis and the effect of material properties on the screw pull-out behaviour of polymer composite sleeper materials. *Engineering Failure Analysis*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105577>





Lampiran

Lampiran A





Lampiran B



BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA
INDUSTRI LOGAM DAN MESIN
LABORATORIUM KALIBRASI DAN PENGUJI
Jalan Sangkurang No.12 Bandung 40135 Telp: 022-2503171, e-mail: sekretariat_bblm@kemperin.go.id



Nomor : 0431-9/UJI BBLM/VII/2025 No. Order : U312_2025
Tanggal : 02 Juli 2025 Halaman : 1 dari 2

LAPORAN PENGUJIAN **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Kekerasan Rockwell
Type of Testing : Rockwell Hardness Test

STANDAR ACUAN / METODE UJI : SNI 8388:2017
Test Method/ Reference Standard

MEREK/ TIPE : - / Gear Drive Shaft
Brand/ Type

TANGGAL TERIMA : 27 Juni 2025
Received Date

TANGGAL PENGUJIAN : 02 Juli 2025
Tested Date

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 22,9 °C / 64 %
Temperature and humidity

PEMILIK : Narifan Ilham
Owner

ALAMAT PEMILIK : Baleendah Permai RT 10 RW 25 Blok F No 11,
Owner Address Baleendah, Kab. Bandung, Jawa Barat

HASIL PENGUJIAN : Terlampir
Test Result Attached



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi
Yoyon Suyono
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0431-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U312_2025

Tanggal : 02 Juli 2025

Halaman : 2 dari 2

HASIL PENGUJIAN **TEST RESULT**



Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Hasil Uji					
		H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	Rata-rata
U312	(HRC) 150	44,47	43,97	41,84	41,45	41,55	42,66 ± 1,43

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan Rockwell
Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini