



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



ANALISIS KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

SKRIPSI
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:
Purnomo Setyo
NIM. 2102411038

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



ANALISIS KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan Sarjana Terapan Program Studi
Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Purnomo Setyo
NIM. 2102411038

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2025**



© 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

HALAMAN PERSEMBAHAN



“Skripsi ini ku persembahkan untuk ayah, ibu, bangsa, dan almamater”



Hak Cipta :

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

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**ANALISIS KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING
MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)**

Oleh:

Purnomo Setyo

NIM. 2102411038

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Drs. R. Sugeng Mulyono, S.T., M.Kom.
NIP. 196010301986031001

Pembimbing 2

Andy Permiana Rusdja, S.S.T., M.T.
NIP. 199302222024061001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.
NIP. 199403192022031006



Hak Cipta :

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

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

**ANALISIS KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING
MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)**

Oleh:

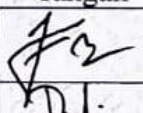
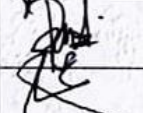
Purnomo Setyo

NIM. 2102411038

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 4 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Fajar Mulyana, S.T., M.T. NIP. 197805222011011003	1		15 JULI 2025
2.	Radhi Maladzi S.T., M.T. NIP. 199307282024061001	2		21 Juli 2025
3.	Drs. R. Sugeng Mulyono, S.T., M.Kom. NIP. 196010301986031001	3		17 JULI 2025

Depok, 24 Juli... 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. H. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005



Hak Cipta :

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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Purnomo Setyo

NIM : 2102411038

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 4 Juli 2025



Purnomo Setyo

NIM. 2102411038



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 KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

Purnomo Setyo¹, R. Sugeng Mulyono¹, dan Andy Permana Rusdja¹

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

Email : purnomo.setyo.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Pegas heliks kompresi merupakan salah satu komponen yang sering ditemukan pada mesin, kendaraan, atau alat perkakas. Komponen tersebut berfungsi sebagai pemberi gaya dorong yang berlawanan arah terhadap gaya yang diberikan. Pada saat observasi awal, fenomena kegagalan pegas heliks kompresi ditemukan pada mesin produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses terjadinya kegagalan dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan patah yang terjadi. Pendekatan analitik dan pendekatan eksperimental dilakukan untuk menentukan faktor penyebab kegagalan patah. Metode-metode tersebut di antaranya yaitu pengujian makro fraktografi, pengujian metalografi, pengujian kekerasan mikro *Vickers*, dan *Finite Element Analysis (FEA)*. Temuan dari penelitian ini menunjukkan kegagalan pegas disebabkan oleh kegagalan *fatigue*. Cacat permukaan berupa *crow's feet* dan inklusi non logam menjadi titik konsentrasi tegangan yang menyebabkan inisiasi retak. Pengujian kekerasan dan metalografi menunjukkan *return spring* telah menggunakan material yang sesuai dengan spesifikasinya. Hasil simulasi *FEA* menunjukkan bahwa tegangan geser yang bekerja pada *return spring* sebesar 589,827 MPa masih berada di bawah tegangan izin material yaitu sebesar 825 MPa. Penelitian ini memberikan saran untuk mengganti material *return spring* dengan tipe SWP-B yang memiliki ketahanan *fatigue* yang lebih tinggi. Selain itu, sistem pelumasan kawat saat proses *cold drawn* perlu diperbaiki agar menghasilkan pegas dengan kualitas permukaan yang halus.

Kata kunci: pegas heliks kompresi, kegagalan patah, tegangan geser, cacat permukaan, *finite element analysis*.



Hak Cipta :

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

ANALISIS KEGAGALAN PATAH RETURN SPRING PADA CHUCKING MACHINE DENGAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

Purnomo Setyo¹, R. Sugeng Mulyono¹, dan Andy Permana Rusdja¹

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

Email : purnomo.setyo.tm21@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

Helical compression springs are one of the components commonly found in machines, vehicles, or tools. This component serves as a force provider that acts in opposition to the given force. During the initial observation, a failure phenomenon of the helical compression spring was found in a production machine. This research aims to understand the failure process and the factors influencing the fracture failure that occurs. An analytical approach and an experimental approach were undertaken to determine the factors causing the fracture failure. The methods used include macro fractography testing, metallographic testing, Vickers microhardness testing, and Finite Element Analysis (FEA). The findings of this study indicate that the failure of the spring is caused by fatigue failure. Surface defects become points of stress concentration that lead to crack initiation. Hardness and metallographic testing show that the spring has complied with the material standards. The results of the FEA simulation indicate that the shear stress is still below the material's allowable stress of 825 MPa. This study suggests replacing the return spring material with type SWP-B, which has higher fatigue resistance. Additionally, the lubrication system for the wire during the cold drawn process needs to be improved to produce springs with a smooth surface quality.

Keywords: helical compression springs, fracture failure, shear stress, surface defects, finite element analysis.



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Kegagalan Patah Return Spring Pada Chucking Machine Dengan Metode Finite Element Analysis (FEA)”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Diploma IV (sarjana terapan) program studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Hambatan dan tantangan tidak menyurutkan semangat penulis. Selama penulisan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak di antaranya:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku ketua jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T. selaku kepala program studi D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur.
3. Bapak Sugeng Mulyono, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Andy Permana Rusdja, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak dan Ibu seluruh dosen yang telah memberikan saran dalam penyusunan skripsi.
6. Ayah dan Ibu orang tua penulis, atas doa dan dukungan mental maupun material selama penulisan skripsi ini.
7. Bapak Nugroho Budi Santoso dan bapak Permana Racharjo yang mendukung dan memberikan data yang dibutuhkan selama penulisan skripsi.
8. Bapak Ade Irawan, bapak Muhammad Rifai, dan bapak Tri Haryanto yang mendampingi penulis dalam pengumpulan data di lapangan.
9. Farhan Adi Nugroho dan Shabrina Putri Ledenta selaku teman magang penulis yang membantu proses pengumpulan data di lapangan.



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

10. Seluruh pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis berusaha mengerahkan segala kemampuan yang penulis miliki demi mencapai hasil yang terbaik. Namun, apabila ditemukan adanya kesalahan pada penulisan skripsi ini, penulis membuka kritik dan saran untuk penulisan skripsi yang lebih baik. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Depok, 12 Juni 2025

Purnomo Setyo



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



© 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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	6
1.6 Asumsi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Mesin Bubut Otomatis (<i>Automatic Turning Machines</i>).....	8
2.1.2 <i>Chucking Machine</i>	9
2.1.3 <i>Return Spring</i>	10
2.1.4 Pegas Heliks	11
2.1.5 Desain Pegas Heliks	13
2.1.6 Material Pegas Heliks	19



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

2.1.7	<i>Piano Wire</i>	20
2.1.8	Proses Manufaktur <i>Piano Wire</i>	20
2.1.9	<i>Hardening</i> pada <i>Piano Wire</i>	23
2.1.10	Hubungan Antara Nilai Kekerasan dengan Kekuatan Baja	23
2.1.11	Pengaruh Temperatur Pada Sifat Mekanis <i>Piano Wire</i>	25
2.1.12	Analisis Kegagalan.....	26
2.1.13	Kegagalan Pada Pegas.....	26
2.1.14	Perhitungan <i>Fatigue Strength</i> Pegas	34
2.1.15	Perhitungan Umur Siklus Kegagalan	35
2.1.16	Makro Fraktografi	36
2.1.17	Pengukuran Kekerasan Vickers (<i>Vickers Hardness Test</i>).....	36
2.1.18	Metalografi	38
2.1.19	<i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	38
2.2	Kajian Literatur	39
2.3	Kerangka Berpikir	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		47
3.1	Jenis Penelitian.....	47
3.2	Objek Penelitian	47
3.3	Metode Pengambilan Sampel.....	47
3.4	Jenis dan Sumber Data Penelitian	47
3.4.1	Jenis Data Penelitian	47
3.4.2	Sumber Data Penelitian.....	48
3.5	Metode Pengumpulan Data Penelitian	48
3.5.1	Observasi.....	48
3.5.2	Dokumen dan Arsip	50
3.6	Metode Analisis Data	50
3.6.1	Uji Kekerasan Mikro Vickers	51
3.6.2	Uji Makro Fraktografi	51
3.6.3	Uji Metalografi.....	52
3.6.4	<i>Finite Element Analysis</i>	55



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

3.7	Diagram Alir Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		66
4.1	Pengujian Makro Fraktografi	66
4.1.1	Pengamatan Sudut Patahan	66
4.1.2	Pengamatan Pola Patahan	67
4.2	Pengujian Metalografi	68
4.2.1	Pengujian Metalografi Pada Permukaan Kawat	69
4.2.2	Pengujian Metalografi Pada Bagian Dalam Kawat	71
4.3	Pengujian Kekerasan Mikro Vickers	72
4.4	Hasil Simulasi <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	73
4.4.1	Pengukuran Dimensi Pegas	73
4.4.2	Pengukuran Massa Pegas	75
4.4.3	Pengukuran Temperatur Ruang	75
4.4.4	Pengukuran Defleksi Maksimum	76
4.4.5	Pengukuran Frekuensi Gerak Pegas	76
4.4.6	Pengukuran Umur Pegas	77
4.4.7	Perhitungan Teoritis	77
4.4.8	Hasil Simulasi Tegangan Geser	79
4.4.9	Hasil Simulasi Defleksi	81
4.4.10	Hasil Simulasi Faktor Keamanan	82
4.4.11	Hasil Simulasi Siklus <i>Fatigue</i>	83
4.4.12	Validasi Data	84
BAB V PENUTUP		86
5.1	Kesimpulan	86
5.2	Saran	87
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN		94



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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Terjadinya Patah <i>Return Spring</i>	3
Gambar 1.2 Grafik Penggantian <i>Return Spring</i>	3
Gambar 2.1 Jenis-Jenis <i>Automatic Bar and Chucking Machines</i>	9
Gambar 2.2 <i>Chucking Machine</i>	10
Gambar 2.3 <i>Return Spring</i>	11
Gambar 2.4 Pegas Tipe <i>Open Ends</i>	12
Gambar 2.5 Pegas Tipe <i>Open and Squared Ends</i>	12
Gambar 2.6 Pegas Tipe <i>Closed Ends</i>	12
Gambar 2.7 Pegas Tipe <i>Closed and Ground Ends</i>	12
Gambar 2.8 Grafik Hubungan Antara Indeks Pegas dengan Faktor Wahl	15
Gambar 2.9 Grafik Tegangan Geser Izin Material Pegas	16
Gambar 2.10 Hasil Analisis Regresi untuk Berbagai Kumpulan Data	24
Gambar 2.11 Variasi Sifat Mekanis Saat Terjadi Pemanasan (RT–250°C).....	25
Gambar 2.12 Permukaan Patah Lelah Penampang Bulat.....	28
Gambar 2.13 Permukaan Patah Pegas Heliks karena Inklusi	30
Gambar 2.14 Inklusi Non Logam Pada Material S275 JRC	31
Gambar 2.15 Kontur Tajam Pada Material ASTM A228	32
Gambar 2.16 Perbedaan Struktur Mikro Akibat Temperatur Pemanasan.....	32
Gambar 2.17 Struktur Mikro Lubang Korosi.....	33
Gambar 2.18 Grafik S-N Material <i>Piano Wire</i>	35
Gambar 2.19 Pola Indentasi Uji Kekerasan Vickers.....	37
Gambar 2.20 Alur Kerangka Berpikir.....	46
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Uji Kekerasan Mikro Vickers.....	51
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Uji Makro Fraktografi	52
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Uji Metalografi	53
Gambar 3.4 Lokasi Pengamatan Metalografi.....	54
Gambar 3.5 <i>Flowchart Finite Element Analysis (FEA)</i>	55



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

Gambar 3.6 <i>Datasheet</i> Material SWP-A.....	56
Gambar 3.7 Pembuatan Lilitan pada <i>Return Spring</i>	57
Gambar 3.8 Pembuatan Bagian Ujung Rata <i>Return Spring</i>	58
Gambar 3.9 Pembuatan <i>Spring Seat</i>	59
Gambar 3.10 Pembuatan <i>Assembly Return Spring</i>	60
Gambar 3.11 Pembuatan Parameter Studi	61
Gambar 3.12 Pembuatan <i>Mesh Control</i> Pada Pegas.....	62
Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 4.1 Ukuran Sampel Patahan <i>Return Spring</i>	66
Gambar 4.2 Patahan <i>Return Spring</i> dengan Sudut 45°	66
Gambar 4.3 Citra Patahan <i>Return Spring</i>	67
Gambar 4.4 Lokasi Pengamatan Struktur Mikro Kawat Pegas.....	68
Gambar 4.5 Struktur Mikro Permukaan Luar Pegas (Tidak Dietsa).....	69
Gambar 4.6 Struktur Mikro Permukaan Dalam Pegas (Tidak Dietsa).....	70
Gambar 4.7 Struktur Mikro Pegas (Sesudah Dietsa)	71
Gambar 4.8 Sampel Uji Kekerasan	72
Gambar 4.9 Gambar 2D <i>Return Spring</i>	74
Gambar 4.10 Daerah Tegangan Geser Maksimum <i>Return Spring</i>	79
Gambar 4.11 Daerah Tegangan Geser Minimum <i>Return Spring</i>	79
Gambar 4.12 Bentuk <i>Return Spring</i> Sebelum Defleksi	81
Gambar 4.13 Bentuk <i>Return Spring</i> Saat Terjadi Defleksi.....	81
Gambar 4.14 Nilai Faktor Keamanan Pada <i>Return Spring</i>	82
Gambar 4.15 Nilai Siklus <i>Fatigue</i> Pada <i>Return Spring</i>	83



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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Modulus Elastisitas, Modulus Geser dan <i>Poisson's Ratio</i>	13
Tabel 2.2 Data Nilai Modulus Geser Material Pegas.....	16
Tabel 2.3 Modulus Elastisitas, Modulus Geser dan <i>Poisson's Ratio</i>	18
Tabel 2.4 Jenis dan Tipe pada <i>Oil Tempered Wire</i>	19
Tabel 2.5 Jenis dan Tipe pada <i>Cold Drawn Steel Wire</i>	20
Tabel 2.6 Jenis dan Tipe Kegagalan Pegas	27
Tabel 2.7 Peta Kontribusi Penelitian.....	39
Tabel 3.1 Data Dimensi <i>Return Spring</i>	49
Tabel 3.2 Data Sifat Mekanik dan Fisik <i>Return Spring</i>	50
Tabel 3.3 Data Pengaturan <i>Mesh</i>	62
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekerasan	73
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran <i>Pitch Return Spring</i>	74
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Dimensi <i>Return Spring</i>	75
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Waktu Siklus <i>Return Spring</i>	76
Tabel 4.5 Data Penggantian <i>Return Spring</i> Posisi 1 Pada CM 1	77
Tabel 4.6 Tingkat Persentase <i>Error</i> Simulasi FEA.....	84



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 Penelitian

Industri otomotif merupakan salah satu sektor utama pendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia (Ridhawati & Suryantara, 2023). Dunia otomotif terus berkembang dengan cepat setiap tahunnya. Kendaraan seperti motor dan mobil dianggap oleh masyarakat sebagai barang kebutuhan yang harus dimiliki oleh setiap orang sebagai sarana transportasi dalam aktivitas sehari-hari (Gilalom et al., 2023). Oleh sebab itu, hal tersebut sebanding dengan permintaan suku cadang kendaraan bermotor yang semakin tinggi. Namun, industri otomotif menghadapi sejumlah masalah, seperti persaingan sengit, biaya produksi yang tinggi, dan tuntutan untuk mengikuti standar emisi kendaraan yang semakin ketat (Pratama et al., 2024).

PT X adalah salah satu pemasok dan produsen suku cadang kendaraan terbesar di Indonesia yang bergerak di bidang otomotif. Komponen kendaraan yang di produksi oleh PT. X yaitu busi (*spark plug*) dan tutup busi (*plug cap*). Aji Sanjaya selaku *marketing manager* PT. X mengungkapkan tingkat penjualan busi di PT. X pada tahun 2024 terus mengalami peningkatan. Berdasarkan data penjualan busi di PT. X pada tahun 2024, kontribusi penjualan busi masih di dominasi oleh sepeda motor dengan persentase 55%, sedangkan 20-25% di dominasi oleh mobil. PT. X menargetkan pertumbuhan penjualan busi jenis Iridium di tahun 2025 dapat mencapai 30% (Rahedian, 2025). Dalam kegiatan produksinya, PT. X berupaya untuk terus memberikan peningkatan dedikasi, performa, dan kualitas dari produk yang dihasilkan. Dengan adanya peningkatan permintaan komponen busi di pasar otomotif, PT. X terus berupaya dalam meningkatkan jumlah produksi dengan memaksimalkan penggunaan seluruh mesin yang tersedia.

Busi adalah komponen kendaraan yang terletak di bagian *cylinder head*. Bagian ujung elektroda busi berada di dalam ruang bakar. Ujung elektroda pada busi berfungsi untuk menghasilkan percikan api dalam proses pembakaran (*combustion*). Kualitas busi dapat mempengaruhi kualitas pengapian yang

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

dihasilkan. Penggunaan bahan bakar dan busi yang berkualitas dapat meningkatkan efisiensi mesin dan memberikan tenaga yang lebih baik (Artika et al., 2023). Busi memiliki beberapa komponen pendukung untuk dapat berfungsi dengan baik. Komponen tersebut terdiri dari *metal shell*, *insulator*, *terminal nut*, *corrugation*, *brand and part number*, *special powder filling*, *gasket*, *copper core*, *spark gap*, *center electrode*, dan *ground electrode*. *Metal shell* adalah komponen yang berfungsi untuk menghubungkan dan mengunci busi ke dalam *cylinder head* (Anshori, 2018).

Proses pembuatan *metal shell* di PT. X melewati beberapa proses dengan mesin yang berbeda. Salah satu mesin yang digunakan yaitu *chucking machine*. *Chucking machine* tergolong ke dalam tipe *cam driven multi spindle lathe machine*. Mesin tipe ini bergerak secara mekanis menggunakan desain *cam profile* untuk mengatur proses pembubutan benda kerja. Mesin ini sangat berguna untuk industri manufaktur karena tingkat kecepatan dan keefektifannya yang tinggi (Tsinfu, 2025). *Chucking machine* memiliki komponen mesin yang berperan pada proses pembubutan yaitu *return spring*. *Return spring* pada *chucking machine* merupakan pegas heliks kompresi yang berbentuk silindris dan dipasang pada *tool slide*. Komponen tersebut berfungsi untuk membantu proses pengembalian *tool slide* ke posisi istirahat, menjaga stabilitas kontak antara *cam follower*, dan memberikan stabilitas pada saat proses *feeding material*.

Kekuatan utama perusahaan dalam keberlangsungan proses produksi adalah mesin dan peralatan. Untuk menghasilkan setiap produk berkualitas tinggi, mesin harus dalam kondisi prima (Rifaldi et al., 2020). *Preventive maintenance* adalah salah satu tindakan perawatan paling penting untuk mencegah kerusakan mesin yang tidak disengaja yaitu dengan memperbaiki mesin atau mengganti suku cadang yang telah usang (Hardt et al., 2021). Data kegiatan *preventive maintenance* menunjukkan adanya fenomena kegagalan *return spring* yang terjadi di *chucking machine*. Kegagalan tersebut berupa timbulnya patah pada *return spring* terutama di bagian *pusher material*. Gambar 1.1 menunjukkan lokasi *return spring* yang sering mengalami patah.

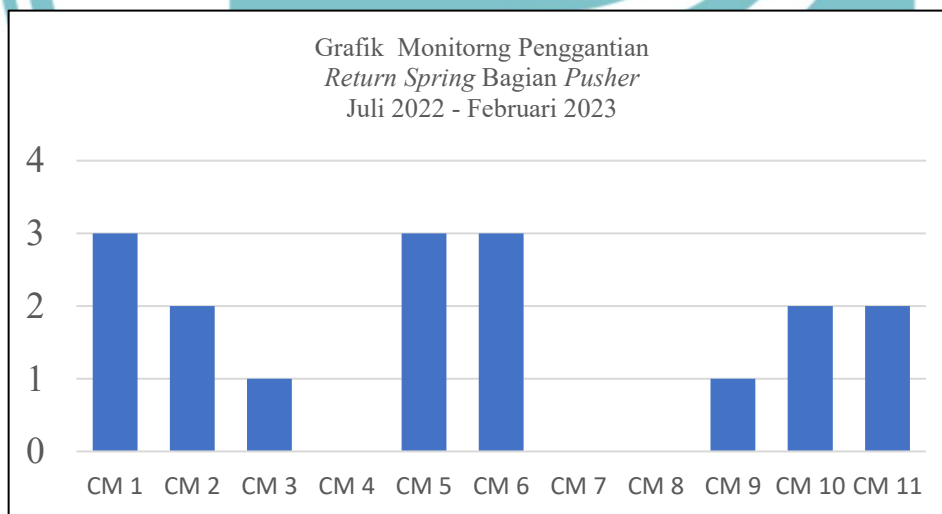
Hak Cipta :

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



Gambar 1.1 Lokasi Terjadinya Patah *Return Spring*

Berdasarkan data penggantian komponen *return spring* yang dikumpulkan dari kegiatan *preventive maintenance* dari tahun 2022 sampai tahun 2023, menunjukkan bahwa 8 dari 11 mesin yang mengalami kejadian patah pada komponen *return spring*. Gambar 1.2 menunjukkan terdapat 3 mesin yang mengalami kejadian patah dengan intensitas tertinggi yaitu mesin CM 1, mesin CM 5, dan mesin CM 6.



Gambar 1.2 Grafik Penggantian *Return Spring*

Penyebab utama patah pada *return spring* hingga saat ini belum diketahui secara pasti. Fenomena kegagalan patah pada *return spring* tentunya menjadi perhatian serius karena dapat meningkatkan waktu *corrective maintenance* yang dapat menurunkan produktivitas. Selain itu, kerusakan *return spring* juga meningkatkan biaya perawatan dari *chucking machine*. Oleh karena itu, penelitian

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

diperlukan untuk mengetahui penyebab terjadinya patah pada *return spring* dan menemukan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Beberapa faktor yang dapat menjadi penyebab terjadinya patah *return spring* di antaranya yaitu cacat pada material pegas, ketidaksempurnaan permukaan, perlakuan panas yang kurang tepat, timbulnya korosi (Amitesh et al., 2016). Selain itu, beban yang melebihi kapasitas (*overload*) dan kelelahan material (*fatigue*) juga menjadi faktor terjadinya patah pada *return spring*. Dari beberapa faktor tersebut, penulis memilih metode yang sesuai untuk menganalisis faktor-faktor kegagalan. Metode yang digunakan yaitu uji kekerasan mikro Vickers, uji fraktografi, uji metalografi, serta pembuatan model dan simulasi dengan *Finite Element Analysis (FEA)*.

Penelitian terdahulu dilakukan oleh Husaini et al. (2016) dengan judul “Analisa Permukaan Patah Pegas Ulir Suspensi Depan Mobil Sedan”. Penelitian tersebut membahas fenomena kegagalan pegas heliks dengan material ASTM A227 pada kendaraan. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan faktor kegagalan yang terjadi yaitu patah lelah. Selanjutnya, penelitian serupa dilakukan oleh Aditama (2024) dengan judul “Analisa Kegagalan Coil Spring Outer Pada Lokomotif CC 206 13 40”. Penelitian tersebut menganalisis kegagalan pegas dengan material ASTM A52 yang digunakan pada lokomotif. Hasil penelitian tersebut membuktikan penyebab utama kegagalan pada pegas adalah kelelahan material dan merekomendasikan saran pemeriksaan rutin serta peningkatan material dan desain yang tahan terhadap beban dinamis. Berdasarkan penelitian tersebut, penulis melakukan penelitian yang berjudul “**Analisis Kegagalan Return Spring Pada Chucking Machine Dengan Metode Finite Element Analysis (FEA)**” dimana penelitian akan berkontribusi untuk menganalisis kegagalan pegas heliks kompresi dengan material SWP-A yang digunakan pada mesin industri manufaktur.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perusahaan dalam mengurangi jumlah penggantian, menurunkan biaya perawatan mesin, serta meningkatkan kinerja *chucking machine*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dalam melakukan analisis terkait kegagalan patah pada pegas heliks. Dengan mengetahui faktor

penyebab utama dari patahnya *return spring*, penulis dapat memberikan gambaran dan solusi yang tepat untuk mengurangi terjadinya patah pada *return spring*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan pada latar belakang penelitian, maka rumusan masalah penelitian ini yaitu:

1. Apakah faktor utama penyebab terjadinya kegagalan patah pada *return spring*?
2. Bagaimana mekanisme terjadinya kegagalan patah pada *return spring*?
3. Apakah nilai kekerasan material *return spring* telah sesuai dengan material yang digunakan?
4. Bagaimana distribusi tegangan, besar defleksi, dan nilai faktor keamanan mempengaruhi terjadinya kegagalan pada *return spring*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan dari dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui penyebab utama patah pada *return spring*.
2. Mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan patah pada *return spring*.
3. Mengetahui kesesuaian nilai kekerasan pada material penyusun *return spring*.
4. Mengetahui distribusi tegangan, besar defleksi, dan nilai faktor keamanan yang terjadi pada *return spring* saat kondisi pembebanan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan oleh penulis dari penelitian ini yaitu:

1. Memperdalam pemahaman mengenai faktor penyebab kegagalan *return spring* dan mekanisme keagalannya.
2. Memperkaya literatur tentang metode efektif yang dapat digunakan untuk menentukan kegagalan pada pegas heliks.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam jurusan teknik mesin maupun program studi D4 teknologi rekayasa manufaktur.

Hak Cipta :

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

Hak Cipta :

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

4. Mengurangi frekuensi penggantian komponen return spring.
5. Menurunkan biaya perawatan mesin di perusahaan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang ditetapkan oleh penulis yaitu:

1. Penelitian berfokus pada *return spring* posisi 1 yang berfungsi sebagai *pusher material*. *Return spring* pada bagian 1 merupakan *return spring* yang dipasang pada *tool slide* bagian *pusher material*.
2. Penelitian berfokus mesin yang mengalami frekuensi kegagalan *return spring* paling tinggi.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada tiga faktor kegagalan yaitu *fatigue failure*, *overload*, dan cacat pada material.
4. Penelitian tidak menyertakan uji kekuatan material seperti uji tarik, uji tekan, dan uji impak, karena ukuran sampel *return spring* tidak memungkinkan untuk dilakukan pengujian.
5. Data penggantian *return spring* yang digunakan dari bulan Juli 2022 – Februari 2023.

1.6 Asumsi Penelitian

Asumsi penelitian yang ditetapkan oleh penulis yaitu:

- 1 Perhitungan jumlah siklus pegas tidak menyertakan perhitungan *small stop*, *set up time*, dan *downtime mesin*, sehingga jam kerja mesin yang dihitung berdasarkan waktu kerja efektif mesin yaitu selama 21 jam/hari.
- 2 Beban pada analisis tegangan diasumsikan sebesar 378,37 N yang dihitung dari defleksi maksimum yang terjadi pada *return spring*.
- 3 Nilai kekuatan tarik dan kekuatan Yield yang digunakan pada pengujian FEA dihitung dengan menggunakan persamaan regresi linier yang berhubungan dengan nilai kekerasan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini ditulis dalam enam bab yaitu sebagai berikut:

Hak Cipta :

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

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan sistem kajian beserta alasan pendukung dalam melakukan penelitian. Kemudian terdapat rumusan masalah yang berisi pertanyaan yang akan dijawab pada penelitian. Setelah itu terdapat tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori pendukung penelitian seperti definisi dari mesin bubut, *return spring*, jenis pegas kompresi, dan rumus-rumus untuk menghitung desain pegas. Kemudian bagian ini berisi penjelasan fenomena kegagalan patah pada pegas kompresi yang umum terjadi serta faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan. Kemudian bagian ini juga menjelaskan beberapa metode yang akan digunakan pada penelitian yaitu uji kekerasan mikro Vickers, uji makro fraktografi, uji metalografi, dan *Finite Element Analysis* (FEA).

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan terkait jenis penelitian, objek penelitian, metode pengambilan sampel, jenis dan sumber data penelitian, metode pengumpulan data penelitian, serta metode analisis data.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian dalam bentuk pengolahan data berupa tabel nilai kekerasan, gambar pengamatan, serta hasil simulasi FEA dari hasil pengujian. Dari data tersebut dilakukan analisis mendalam dengan membandingkan teori pendukung untuk menjawab pertanyaan penelitian.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan beserta jawaban atas permasalahan yang diangkat. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran untuk mengatasi kejadian yang serupa beserta saran untuk penelitian selanjutnya.

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

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan *return spring* pada *chucking machine* disebabkan oleh kegagalan lelah (*fatigue failure*). Hasil simulasi FEA menunjukkan tegangan geser maksimum yang terjadi pada pegas melebihi kekuatan lelah material sehingga pegas mengalami penurunan umur siklus dari yang seharusnya dapat mencapai lebih dari 10.000.000 siklus (*infinite-life cycle*) menjadi 2.552.000 siklus (*finite-life cycle*). Temuan adanya *crow's feet* dan inklusi non logam pada permukaan dalam pegas menjadi indikasi bahwa kualitas dari proses pembentukan pegas dinilai buruk dan perlu dilakukan perbaikan.
2. Kegagalan patah timbul dari permukaan pegas bagian dalam dimana pada bagian tersebut terdapat adanya *crow's feet* dan inklusi non-logam. Pada siklus ke-2.552.000, retakan kecil pada permukaan mulai menyebar ke sisi bagian dalam pegas dan membentuk sudut patahan sebesar 45°. Pola retakan membentuk garis pantai (*radial mark*) yang membuktikan bahwa pola ini disebabkan oleh kelelahan material.
3. Nilai kekerasan material *return spring* berada sedikit di bawah standar yang telah ditetapkan oleh JIS untuk kawat SWP-A berdiameter 4 mm. Nilai kekerasan material di bawah standar menyebabkan kekuatan lelah pegas berkurang dan menurunkan umur siklus lelah material dari kondisi yang optimal. Nilai kekerasan yang homogen dari bagian tengah ke bagian permukaan kawat pegas menunjukkan kawat pegas tidak mengalami dekarburisasi.
4. Hasil simulasi FEA menunjukkan defleksi maksimum pada *return spring* yaitu sebesar 60,113 mm, sehingga menghasilkan tegangan geser maksimum sebesar 589,827 MPa. Nilai faktor keamanan yang dihitung dengan menggunakan kriteria tegangan geser maksimum (*Tresca*) menunjukkan nilai faktor keamanan berada tepat pada batas nilai minimum

standar aman. Tegangan yang terjadi pada pegas masih dibawah kekuatan Yield material, sehingga *return spring* masih bekerja pada kondisi elastis dari material yang digunakan.

5.2 Saran

1. Produsen pegas perlu memperketat sistem pengendalian kualitas terhadap proses manufaktur *return spring*. Proses penarikan kawat pegas (*cold drawn process*) perlu dikontrol agar timbulnya *crow's feet* dan inklusi non logam pada permukaan kawat *return spring* dapat diminimalisir.
2. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, mengurangi besar defleksi dapat memperkecil tegangan geser maksimum yang terjadi pada *return spring*. Namun, berdasarkan pengamatan kondisi di lapangan, besar defleksi yang terjadi pada *return spring* tidak dapat diubah. Oleh karena itu, mengurangi panjang bebas dari *return spring* dapat dipilih sebagai alternatif untuk mengurangi tegangan geser maksimum. Dengan melakukan langkah tersebut, maka tegangan rata-rata yang terjadi pada *return spring* tidak melampaui batas kekuatan *fatigue* dari material yang digunakan.
3. PT. X. disarankan untuk merubah desain pegas dengan cara memperbesar diameter kawat pegas. Hal tersebut bertujuan untuk menurunkan nilai tegangan geser maksimum pada *return spring*. Hal ini dilakukan jika penggunaan material SWP-A tetap dipertahankan. Namun, apabila seluruh dimensi *return spring* tidak dapat dirubah, disarankan untuk mengganti material ke SWP-B yang memiliki ketahanan *fatigue* yang lebih tinggi dibandingkan dengan material SWP-A.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji *fatigue* pada *return spring*. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui secara akurat umur siklus lelah pegas dan mendapatkan nilai perbandingan terhadap *improvement* desain pegas yang dilakukan.

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditama, R. (2024). *Analisa Kegagalan Coil Spring Outer Pada Lokomotif CC 206 13 40* [Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur]. <https://repository.upnjatim.ac.id/29013/>
- [2] Agarwal, A., & Jain, V. (2017). Design and Analysis of Helical Spring in Two Wheeler Suspension System Using Finite Element Method. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(9), 748–752. www.irjet.net
- [3] Akca, E., & Trgo, E. (2015). Metallographic Procedures and Analysis – A review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 3(2). <https://doi.org/10.21533/pen.v3i2.51>
- [4] Amitesh, Kale, V. C., & Chandratre, K. V. (2016). International Journal of Modern Trends in Engineering and Research Failure Analysis of a Helical Compression Spring. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER)*, 3(4), 877–881. www.ijmter.com
- [5] Anshori, L. (2018). *Kenali lagi komponen-komponen dan fungsi busi motor*. Gridoto. <https://www.gridoto.com/read/221011433/yuk-kenali-lagi-komponen-komponen-dan-fungsi-busi-motor>. Tanggal akses 6 Januari 2024.
- [6] Antoni. (2020). *Analisa Kegagalan Pegas Daun pada Dump Truk Toyota Dyna*. [http://repository.univ-tridianti.ac.id/708/7/bab i komplet!_reduce \(1\).pdf](http://repository.univ-tridianti.ac.id/708/7/bab%20i%20komplet!_reduce(1).pdf)
- [7] Arslan, E., & Genel, K. (2023). Failure analysis of automotive helical spring. *Engineering Failure Analysis*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107569>
- [8] Artika, K. D., Musthofa, I., Isworo, H., Syahyuniar, R., & Fahriansyah, R. (2023). Pengaruh Variasi Busi dan Bahan Bakar Terhadap Performa Mesin Kendaraan Roda Dua 135 CC. *ELEMEN: Jurnal Teknik Mesin*, 10(1). <https://doi.org/10.34128/jt.v10i1.222>
- [9] ASBG. (2005). *Engineering Guide to Spring Design*.

<http://home.asbg.com/ASPortal/Pages/Handbook/default.htm> 11/18/2005

- [10] Basori, Asmawi, & Togar Pasaribu. (2019). Analisis Kegagalan Pegas Daun Kendaraan Bus dengan Kapasitas 7 Ton. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ*, 6(1), 13–21. <https://doi.org/10.21009/jkem.6.1.4>
- [11] Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- [12] Campbell, F. C.. (2012). *Fatigue and Fracture : Understanding The Basics*. ASM International.
- [13] Chandra, H. (2023). *Mekanika Retak Kondisi Linear Elastis*. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- [14] Chowdhury, A. R. (2020). Design Analysis of Spring and Cam Follower Mechanism. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(6), 3121–3124. www.irjet.net
- [15] Darmadi, H., Muttaqin, M., Azhari, K., & Antoni, R. (2022). Kekuatan dan Daya Tahan Pegas Terhadap Getaran Bandul pada Vibrating Screen di Stasiun Pemurnian PKS PT. X. *Jurnal Mekanova*, 8(1), 73–85. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v8i1.5453>
- [16] Elkoca, O. (2016). Classification and Rating of Inclusions in Steel Using an ImageAnalysis Software. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 3(2), 87–90. <https://doi.org/10.17350/HJSE190300000036>
- [17] Elmardi, O. M. (2019). *Literature Review on Lathe Machine*. 1–32. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25336.39681>
- [18] Firmanzah, O. W. (2019). *Analisis Kegagalan Pegas Sekunder K5 Kereta Api*. <http://repository.unpas.ac.id/43429/>
- [19] Ghuge, N. C., Palande, D., & Shriwastva, R. (2023). Experimental Validation of Multiaxial Fatigue Theories to Estimate Fatigue Life of Helical Compression Spring. *Journal of Current Science and Technology*, 13(2), 339–350. <https://doi.org/10.59796/jcst.V13N2.2023.1749>
- [20] Gilalom, T. E. D. F., Saerang, I. S., & Tasik, H. (2023). Analisis Komparasi Kinerja Keuangan pada Perusahaan Otomotif dengan Menggunakan Single Segment dan Multi Segment Di BEI Periode 2017-2021. *Jurnal EMBA :*

Hak Cipta :

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

Hak Cipta :

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

Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi, 11(02).

<https://doi.org/10.35794/emba.v11i02.48192>

- [21] González, M. P. V., Martínez, M. G., & Muro, A. P. (2019). Study of a Torsion Spring Fracture. *Engineering Failure Analysis*, 98, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.075>
- [22] Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Innovative Approach to Preventive Maintenance of Production Equipment Based on a Modified TPM Methodology for Industry 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11156953>
- [23] Husaini, Ali, N., & Bakhtiar, A. (2016). Analisa Permukaan Patah Pegas Ulir Suspensi Depan Mobil Sedan. *Seminar Nasional Teknologi Rekayasa (SNTR) III Tahun 2016*, 1. <https://www.researchgate.net/publication/318912420>
- [24] Hymanjali, M., Surendar, E., & Suresh, N. (2018). Design and Analysis of Shock Absorber. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(8), 420–430. www.ijisrt.com
- [25] Ihlas, A., Fajar Puspita, D., Tjahjohartoto, B., Besar Bahan, B., Teknik, B., Sangkuriang, J., & 14 Bandung, N. (2018). Fractography Investigation and Stress Analysis on Failure of Bolt M64 Grade 10.9 due to Over Tightening. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 8(1), 9–18.
- [26] Infante, V., Freitas, M., & Baptista, R. (2022). Failure Analysis of a Parabolic Spring Belonging to a Railway Wagon. *Engineering Failure Analysis*, 140, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106526>
- [27] Jun, H., Jun, K., Lijie, L., & Yinze, Y. (2023). Failure Mode Analysis and Optimization Design of Composite Helical Spring with Nonlinear Stiffness. *Modeling and Simulation*, 12(03), 1769–1782. <https://doi.org/10.12677/mos.2023.123164>
- [28] Kadhom, M. A., Khudhair, M. R., Gburi, F. H., Al-Dulaimi, Z. M. H., Kamil, F., & Abdulshaheed, A. G. (2023, October). Comparison and Failure Analysis of Solid and Hollow Compression Helical Spring By FEA. *7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative*

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

Technologies, ISMSIT 2023.

<https://doi.org/10.1109/ISMSIT58785.2023.10304986>

- [29] Khudhair, M. R. (2019). Failure Analysis of Compression Helical Spring Used in the Suspension System by FEA. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(5), 841–850. <https://doi.org/10.24247/ijmperdoct201974>
- [30] Kurniawan, R. T., & Wibisono, A. T. (2017). *Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban IPT. Semen Indonesia TBK*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [31] Mulla, T. M. (2016). Fatigue Life Estimation of Helical Coil Compression Spring Used in Front Suspension of a Three Wheeler Vehicle. *Modern Era Resesarch in Mechanical Engineering-2016 (MERME-16)*, 1–6. <https://www.researchgate.net/publication/315093014>
- [32] Nusa, M. N. S. (2015). Patahnya Pegas Ulir Kereta Api Akibat Kelebihan Beban. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 9(2), 27. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=874976&val=13900&title=PATAHNYA PEGAS ULIR KERETA API AKIBAT KELEBIHAN BEBAN THE BREAKING OF TRAIN SPRING COIL CAUSED BY OVERWEIGHT>
- [33] Pal, U., Mukhopadhyay, G., & Bhattacharya, S. (2019). Failure Analysis of Spring of Hydraulic Operated Valve. *Engineering Failure Analysis*, 95, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.09.013>
- [34] Pastorcic, D., Vukelic, G., & Bozic, Z. (2019). Coil Spring Failure and Fatigue Analysis. *Engineering Failure Analysis*, 99, 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.017>
- [35] Pavlina, E. J., & Van Tyne, C. J. (2008). Correlation of Yield strength and Tensile Strength with Hardness for Steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17(6), 888–893. <https://doi.org/10.1007/s11665-008-9225-5>
- [36] Poornamohan, P., & Kishore, L. (2018). Design and Analysis of a Shock Absorber. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and*

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

Technology, 1(4), 578–592.

<https://www.researchgate.net/publication/325093494>

- [37] Pramono, C. (2020). *Material Teknik*. Anom Pustaka.
- [38] Pratama, M. R., Hendrati, D., & Moch. Malik Akbar, R. (2024). Pengaruh Bauran Pemasaran terhadap Minat Beli yang dimoderasi oleh Kualitas Produk. *Bandung Conference Series: Business and Management*, 4(1). <https://doi.org/10.29313/bcsbm.v4i1.11607>
- [39] Raghunatha, K., Sb, A., & Anilkumar, S. (2023). Design and Analysis of a Helical Spring for Different Materials Using Anasys. *IJRAR23B2474 International Journal of Research and Analytical Reviews*, 10(2), 563–576. http://ijrar.org/viewfull.php?&p_id=IJRAR23B2474
- [40] Rahedian, R. (2025). *Penjualan Busi NGK Tetap Naik Meski Pasar Otomotif Lesu*. GoOto. <https://www.gooto.com/read/1973722/penjualan-busi-ngk-tetap-naik-meski-pasar-otomotif-lesu>
- [41] Rao, P. N. (2019). *Metal Cutting and Machine Tools* (4th ed., Vol. 2).
- [42] Ridhawati, R., & Suryantara, A. B. (2023). Menakar Tingkat Keakuratan Prediksi Financial Distress melalui Tiga Model Prediksi Pada Industri Otomotif. *Valid Jurnal Ilmiah*, 20(2), 42–51. <https://doi.org/10.53512/valid.v20i2.285>
- [43] Ridho, N. H. (2020). *Tugas Akhir Analisa Fatik Pegas Daun Kendaraan Truck Mitsubishi Canter 125 PS Pengangkut Sawit dengan Metode Elemen Hingga*. Universitas Islam Riau.
- [44] Rifaldi, M. R., Kec, G., Rebo, P., & Timur, J. (2020). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Tandem 03 Di PT. Supernova Flexible Packaging. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 2(2).
- [45] Romadhon, I. (2022). *Analisa Kegagalan Pegas Daun Pada Kendaraan Mitsubishi Canter 125 PS*. <https://eprints.umpo.ac.id/10019/>
- [46] Sataynarayana, K., Uges, T., Gowri, B., Sai, D., Ganesh, A., Bharath, K., & Professor, A. (2020). Design And Static Analysis on a Helical Spring for Two Wheeler. *Journal Of Composition Theory*, 13(3), 1439–1449. <https://www.researchgate.net/publication/344341021>

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

- [47] Schmid, S. R., Hamrock, B. J., Schmid, B. O. J., & Jacobson, H. (2014). *Fundamentals of Machine Elements SI Version Third Edition* (3rd ed.).
- [48] Silva, A. L. V. D. C. E. (2019). The Effects of Non-Metallic Inclusions on Properties Relevant to the Performance of Steel in Structural and Mechanical Applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 2408–2422. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.009>
- [49] Sreenivasan, M., Dinesh Kumar, M., Krishna, R., Mohanraj, T., Suresh, G., Hemanth Kumar, D., & Sai Charan, A. (2020). Finite Element Analysis of Coil Spring of a Motorcycle Suspension System Using Different Fibre Materials. *Materials Today: Proceedings*, 33, 275–279. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.051>
- [50] Sugiyanto, D., Susanto, H., & Ahdi, T. (2021). Analisa Buckling pada Spring JIS SWP B7 dengan Beban 1183 N. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(3), 533–541. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.03.4>
- [51] Tsinfa. (2025). *What is Multi Spindle Lathe and How Does It Work?* Tsinfa. <https://www.tsinfa.com/multi-spindle-lathe/>
- [52] Vijayeshwar, Preetham, & Bhaskar. (2017). Design and Static Analysis of Helical Suspension Spring with Different Materials. *International Advanced Research Journal in Science Engineering and Technology (IARJSET)*, 4(7), 94–98. <https://doi.org/10.17148/IARJSET>
- [53] Vukelic, G., Brcic, M., & Pastorcic, D. (2017). Experimental and Numerical Analysis of a Helical Spring Failure. *International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications*, 545–555. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:140058549>
- [54] Yamada, Y., & Kuwabara, T. (2007). *Materials for Springs*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-73812-1>
- [55] Zhu, Y., Wang, Y., & Huang, Y. (2014). Failure Analysis of a Helical Compression Spring for a Heavy Vehicle's Suspension System. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 2(2), 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2014.08.001>

Hak Cipta :

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

LAMPIRAN

A. Kegiatan Metalografi

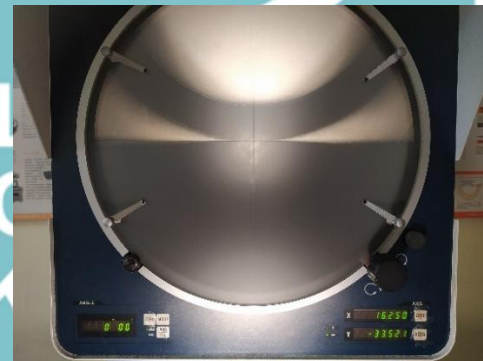


Hak Cipta :

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



B. Kegiatan Pengukuran Dimensi Pegas



C. Kegiatan Pengukuran Massa dan Volume Pegas

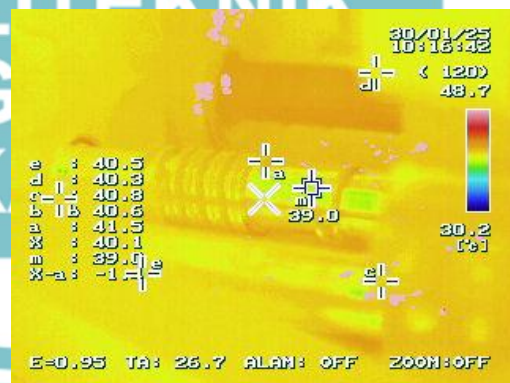
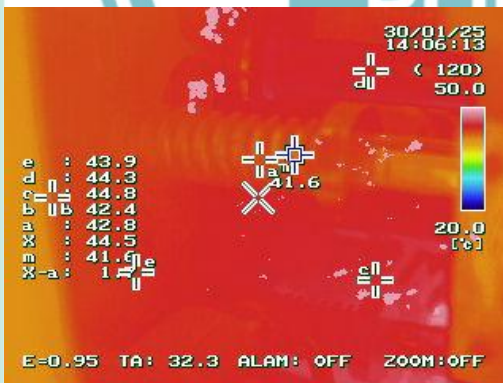


Mass properties of Return Spring 3D_3
Configuration: Default
Coordinate system: -- default --
Density = 0.01 grams per cubic millimeter
Mass = 123.52 grams
Volume = 15938.68 cubic millimeters
Surface area = 16223.08 square millimeters
Center of mass: (millimeters)
X = 0.00
Y = 60.42
Z = 0.18

D. Kegiatan Pengukuran Waktu Siklus Pegas



E. Kegiatan Pengukuran Defleksi dan Temperatur Ruang *Return Spring*



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