© 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 PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

SKRIPSI

Oleh:

Intan Putri Utami Siti Mariam

NIM. 2202411041

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *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:

Intan Putri Utami Siti Mariam

NIM. 2202411041

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

"Skripsi ini saya persembahkan kepada keluarga tercinta, sebagai ungkapan terima kasih atas doa, cinta, dan dukungan yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dan inspirasi bagi saya sepanjang proses penyusunan penelitian ini."

© 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 PERSETUJUAN

SKRIPSI

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Oleh
Intan Putri Utami Siti Mariam
NIM 2202411041
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr., Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T.	Vina Nanda Garjati, S.T., M.T.
NIP. 197312282008121001	NIP. 199206232020122014

Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T.
NIP. 199307282024061001

© 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 PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Oleh:
Intan Putri Utami Siti Mariam
NIM 2202411041
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 7 Juli 2026 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.	Dr., Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. NIP. 197312282008121001	Ketua		14/7-26
2.	Dr., Vika Rizkia, S.T., M.T. NIP. 198608302009122001	Anggota		19/7/26
3.	Azam Milah Muhamad, M.T. NIP. 199608232024061001	Anggota		10/7/26

Depok, 17. Juli 2026
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri,S.T.,M.Si.
197602252000121002

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Intan Putri Utami Siti Mariam

NIM : 2202411041

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

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

Depok, 7 Juli 2026

Intan Putri Utami Siti Mariam

NIM. 2202411041

© 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 PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Intan Putri Utami Siti Mariam[1)], Dianta Mustofa Kamal[2)], Vina Nanda Garjati[3)]

[1)]Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok 16425

[2)]UPT Balai Yasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero), Jakarta Selatan, 12850

Email: intan.putri.utami.siti.mariam@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pegas *boffer* merupakan komponen pada sistem penyambung antar gerbong kereta api yang berfungsi meredam beban akibat gaya tekan, getaran, dan tumbukan selama operasi. Kerusakan berupa retak hingga patah sebelum mencapai umur operasi 2 tahun perlu dianalisis untuk mengetahui faktor penyebab kegagalan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik kerusakan, kondisi material, respons mekanik, serta menentukan *root cause* kerusakan pegas *boffer*. Metode penelitian meliputi pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, uji komposisi kimia *Optical Emission Spectroscopy* (OES), uji kekerasan Vickers, simulasi *Finite Element Analysis* (FEA), diagram *fishbone*, dan metode 5 *Why Analysis*. Hasil pengamatan makro menunjukkan adanya dugaan area inisiasi retak, area permukaan teroksidasi, dan dugaan area patahan akhir, namun pola *beachmark* tidak terlihat secara jelas sehingga mekanisme kegagalan tidak dapat disimpulkan sebagai *fatigue fracture* secara dominan hanya berdasarkan pengamatan makro. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan kandungan C sebesar 0,784% dan Cr sebesar 0,308%, yang belum sepenuhnya sesuai dengan acuan baja pegas SUP9. Perhitungan sifat mekanik berdasarkan nilai kekerasan menunjukkan kekuatan tarik sebesar 1019,56 MPa dan batas luluh sebesar 721,17 MPa. Simulasi FEA menghasilkan tegangan Von Mises maksimum sebesar 1550,002 MPa, *displacement* maksimum sebesar 396,133 mm, dan *Factor of Safety* minimum sebesar 0,47. Berdasarkan hasil analisis, kerusakan pegas *boffer* disebabkan oleh kombinasi antara tegangan tinggi pada area kritis akibat pembebanan kerja berulang dan kondisi material yang belum sepenuhnya sesuai dengan acuan SUP9.

Kata kunci: pegas *boffer*, *failure analysis*, SUP9, *Finite Element Analysis*, *root cause*

© 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 PENYEBAB KERUSAKAN PEGAS *BOFFER* PADA SISTEM PENYAMBUNG ANTAR GERBONG KERETA API MELALUI PENDEKATAN *FAILURE ANALYSIS* DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Intan Putri Utami Siti Mariam[1)], Dianta Mustofa Kamal[2)], Vina Nanda Garjati[3)]

[1)]Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok 16425

[2)]UPT Balai Yasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero), Jakarta Selatan, 12850

Email: intan.putri.utami.siti.mariam@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

The boffer spring is a component of the inter-carriage coupling system in railway vehicles that functions to absorb loads caused by compression, vibration, and impact during operation. Damage in the form of cracks and fracture before reaching its expected service life needs to be analyzed to determine the failure factors. This study aims to identify the damage characteristics, material condition, mechanical response, and root cause of boffer spring failure. The methods used include macro fracture observation, microstructure examination, OES chemical composition testing, Vickers hardness testing, Finite Element Analysis (FEA) simulation, fishbone diagram, and 5 Why Analysis. The macro observation showed a suspected crack initiation area, oxidized surface area, and suspected final fracture area; however, the beachmark pattern was not clearly observed, so the failure mechanism could not be dominantly concluded as fatigue fracture based only on macro observation. The chemical composition test showed C content of 0.784% and Cr content of 0.308%, which did not fully comply with the SUP9 spring steel reference. The FEA simulation resulted in a maximum Von Mises stress of 1550.002 MPa, maximum displacement of 396.133 mm, and minimum Factor of Safety of 0.47. Based on the analysis, the failure of the boffer spring was caused by a combination of high stress in the critical area due to repeated working loads and material conditions that did not fully comply with the SUP9 reference.

Keywords: *boffer spring, failure analysis, SUP9, Finite Element Analysis, root cause*

© 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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Analisis Penyebab Kerusakan Pegas *Boffer* Pada Sistem Penyambung Antar Gerbong Kereta Api Melalui Pendekatan *Failure Analysis* dan *Finite Element Analysis* (FEA)"** dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, arahan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta, atas masukan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr., Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. dan Ibu Vina Nanda Garjati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, saran, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran, perhatian, dan ilmu yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, yang telah memberikan ilmu, pengalaman, bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta hingga proses penyusunan skripsi ini.
5. Pihak PT Kereta Api Indonesia (Persero), khususnya UPT Balai Yasa Manggarai, serta Bapak Dwi, Bapak Mursid, dan Bapak Kusdianto, yang

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

telah memberikan kesempatan, bantuan, data, dan informasi yang diperlukan kepada penulis selama proses pelaksanaan penelitian skripsi ini.

6. Keluarga penulis, yaitu Papa, Mama, abang-abang, kakak-kakak ipar, dan keponakan-keponakan, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, perhatian, semangat, dukungan, serta keceriaan kepada penulis selama masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini.
7. Hanandira Wistikhirana, Hindry Maula Pratiwi, dan Zenaia Khalila, yang telah menemani penulis selama proses pengerjaan skripsi dalam keadaan suka maupun duka, serta memberikan bantuan, semangat, dan dukungan sehingga penulis dapat melalui proses penyusunan skripsi ini dengan lebih baik.
8. Teman-teman Kelas S, sebagai teman selama masa perkuliahan yang telah memberikan bantuan, semangat, dan dukungan satu sama lain sejak awal perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini, sehingga penulis dapat menjalani masa perkuliahan dengan lebih baik serta menyelesaikan skripsi secara tepat waktu.
9. Untuk diri penulis sendiri, Intan Putri Utami Siti Mariam, yang telah berusaha, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan skripsi ini di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang manufaktur.

Depok, 1 Juli 2026

Intan Putri Utami Siti Mariam

NIM. 2202411041

© 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 PERSETUJUAN iv
HALAMAN PENGESAHAN v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS vi
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Pertanyaan Penelitian 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
1.5.1 Manfaat bagi Mahasiswa 6
1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta 6
1.5.3 Manfaat bagi Perusahaan 7
1.6 Batasan Masalah 7
1.7 Sistematika Penulisan 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 10
2.1 Landasan Teori 10
2.1.1 *Boffer* Kereta Api 10
2.1.2 Pegas 11
2.1.3 Pegas Tekan *(Compression Spring)* 11
2.1.4 Konstanta Pegas 14
2.1.5 Tegangan Geser Maksimum pada Pegas 15
2.1.6 Material Pegas dan Baja Pegas SUP9 16
2.1.7 Mekanisme Kegagalan Material 18
2.1.8 Faktor Penyebab Kegagalan Pegas Tekan 20
2.1.9 Pengujian Makro Fraktografi 22
2.1.10 Pengujian Mikrostruktur 23
2.1.11 Pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES) 24

© 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

2.1.12 Pengujian Kekerasan 25
2.1.13 *Finite Element Analysis* (FEA) 26
2.1.14 Diagram *Fishbone* 27
2.1.15 Metode 5 *Why analysis* 28
2.2 Kajian Literatur 29
2.3 Kerangka Berpikir 34
2.4 Hipotesis Penelitian 35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 37
3.1 Jenis Penelitian 37
3.2 Objek Penelitian 37
3.3 Metode Pengambilan Sampel 38
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian 39
3.4.1 Jenis Data 39
3.4.2 Sumber Data 39
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian 40
3.5.1 Data Geometri dan Parameter Kerja Pegas 40
3.5.2 Data Sifat Mekanik Material Pegas 43
3.6 Metode Analisis Data 44
3.6.1 Pengujian Makro Patahan 44
3.6.2 Pengujian Mikrostruktur 45
3.6.3 Uji Komposisi Kimia (OES) 46
3.6.4 Uji Kekerasan Mikro *Vickers* 47
3.6.5 Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) 48
3.7 Diagram Alir Penelitian 50
3.7.1 Uraian Diagram Alir Penelitian 50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 55
4.1 Kondisi Awal dan Visualisasi Kerusakan Pegas *Boffer* 55
4.2 Hasil Pengamatan Makro Patahan 55
4.3 Hasil Pengujian Mikrostruktur 57
4.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia OES 60
4.5 Hasil Pengujian Kekerasan 61
4.6 Hasil Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) 64
4.6.1 Perhitungan Teoritis Pegas 65
4.6.2 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises* 68

4.6.3 Hasil Simulasi *Displacement* 69
4.6.4 Hasil Simulasi *Factor of safety* 70
4.7 Analisis Faktor Penyebab Kerusakan Pegas *Boffer* 71
4.7.1 Diagram *Fishbone* 72
4.7.2 Analisis 5 *Why* 75
4.7.3 Penentuan *Root Cause* 77
4.8 Rekomendasi Teknis Pencegahan Kerusakan Berulang 78
BAB V PENUTUP 80
5.1 Kesimpulan 80
5.2 Saran 81
DAFTAR PUSTAKA 83
DAFTAR LAMPIRAN 87

© 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

© 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 GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi Kerusakan Pegas *Boffer* 2
Gambar 2. 1 Pegas 11
Gambar 2. 2 Bentuk-Bentuk Ujung Pegas Tekan: (A) *Plain End*, (B) *Plain And Ground End*, (C) *Squared End,* Dan (D) *Squared And Ground End* 12
Gambar 2. 3 *Mechanical Properties* SUP9 17
Gambar 2. 5 *Ductile fracture* 18
Gambar 2. 6 *Brittle fracture* 19
Gambar 2. 7 *Fatigue fracture* 20
Gambar 2. 8 Bentuk Permukaan Patahan *Fatigue* pada Berbagai Kondisi Pembebanan 23
Gambar 2. 9 Contoh Struktur Mikro Baja AISI 1045 Setelah Proses *Hardening*. 24
Gambar 2. 10 Alur metode 5 *Why analysis* 28
Gambar 2. 11 Kerangka Berpikir 35
Gambar 3. 1 Pegas *Boffer* yang Mengalami Kerusakan 38
Gambar 3. 2 Dimensi *Inner Spring* 41
Gambar 3. 3 Dimensi *Outer Spring* 43
Gambar 3. 4 Flowchart Uji Makro 45
Gambar 3. 5 Flowchart Uji Mikro 46
Gambar 3. 6 Flowchart Uji OES (Komposisi Kimia) 47
Gambar 3. 7 Flowchart Uji Kekerasan *Vickers* 48
Gambar 3. 8 Flowchart Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) 49
Gambar 3. 9 Diagram Alir Penelitian 50
Gambar 4. 1 Kondisi Pegas *Boffer* yang Mengalami Kerusakan 55
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Makro Permukaan Patahan Pegas Boffer 56
Gambar 4. 3 Lokasi Pengambilan Sampel Uji Mikrostruktur pada Pegas *Boffer*. 58
Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan Mikrostruktur Pegas *Boffer* pada Pembesaran 100x 59
Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Mikrostruktur Pegas *Boffer* pada Pembesaran 500x 59
Gambar 4. 6 Sampel Pegas *Boffer* yang Dipotong Untuk Pengujian Komposisi Kimia OES 60
Gambar 4. 7 Lokasi Titik Indentasi Pengujian Kekerasan *Vickers* 62
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises* pada Pegas *Boffer* 68
Gambar 4. 9 Hasil Simulasi *Displacement* pada Pegas *Boffer* 69
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi *Factor of safety* pada Pegas *Boffer* 71
Gambar 4. 11 Diagram *Fishbone* Faktor Penyebab Kerusakan Pegas *Boffer* 72

© 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 TABEL

Tabel 1. 1 Parameter Pembebanan Kerja Pegas *Boffer* 3
Tabel 2. 1 Kajian Literatur 29
Tabel 3. 1 Data Pengukuran *Inner spring* pada *Coupler Suspension* 40
Tabel 3. 2 Spesifikasi Geometri *Inner Spring* 41
Tabel 3. 3 Data Pengukuran *Outer spring* pada *Coupler Suspension* 42
Tabel 3. 4 Spesifikasi Geometri *Outer Spring* 42
Tabel 3. 5 Data Sifat Mekanik Material SUP9 43
Tabel 3. 6 Parameter Simulasi FEA 49
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Pegas *boffer* 61
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* pada Pegas *boffer* 62
Tabel4.3 Hasil Perhitungan Sifat Mekanik Pegas *boffer* dan Perbandingannya dengan Standar SUP9 64
Tabel 4. 4 Evaluasi Aspek Diagram *Fishbone* Kerusakan Pegas *Boffer* 74
Tabel 4. 5 Analisis Faktor Penyebab Kerusakan Pegas *Boffer* dengan Metode *5 Why analysis* 76
Tabel 4. 6 Rekomendasi Teknis Pencegahan Berulang pada Pegas *Boffer* 79

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 LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengamatan Makro Patahan 87
Lampiran 2 Hasil Pengujian Mikrostruktur Perbesaran 100x 88
Lampiran 3 Hasil Pengujian Mikrostruktur Perbesaran 500x 89
Lampiran 4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia (OES) 90
Lampiran 5 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* 91
Lampiran 6 *Drawing Outer Spring* 92
Lampiran 7 *Drawing Inner Spring* 93
Lampiran 8 *Drawing Base Plate* 94
Lampiran 9 *Drawing* Dudukan Pegas 95

© 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

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi kereta api menuntut keandalan komponen mekanik yang tinggi karena seluruh sistem bekerja dalam kondisi operasional yang dinamis dan berulang. Sistem penyambung antar gerbong kereta api berperan menyalurkan gaya tarik dan gaya tekan serta menjaga kestabilan rangkaian pada saat percepatan, perlambatan, getaran lintasan, dan tumbukan selama perjalanan. Karakteristik operasi tersebut menyebabkan komponen pada sistem penyambung antar gerbong kereta api didominasi oleh beban dinamis selama pengoperasian. Komponen elastis dibutuhkan untuk menyerap energi kejut dan meredam fluktuasi beban yang timbul agar sistem tetap bekerja dengan stabil. Ketidakmampuan komponen elastis dalam merespons beban dinamis berulang dapat memicu penurunan performa, meningkatkan frekuensi perawatan, dan menurunkan keandalan operasional [1].

Salah satu komponen utama pada sistem penyambung antar gerbong kereta api adalah pegas *boffer* yang berfungsi sebagai elemen peredam utama. Pegas ini menerima beban statis dari massa *coupler* sebagai beban awal, tetapi selama pengoperasian lebih dominan mengalami beban dinamis berulang akibat getaran, tumbukan, serta perubahan gaya tarik dan tekan antar gerbong. Kondisi kerja tersebut menyebabkan pegas mengalami pembebanan siklik secara terus-menerus selama masa layan komponen. Pembebanan berulang dalam jangka panjang menjadikan pegas rentan mengalami penurunan performa, inisiasi retak, hingga kegagalan lelah apabila spesifikasi dan material pegas tidak sesuai dengan kebutuhan operasional [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa evaluasi terhadap pegas perlu dilakukan dari sisi kemampuan material dan respons mekaniknya terhadap beban kerja aktual.

Hasil pengamatan pada kegiatan perawatan menunjukkan bahwa kerusakan pegas dapat terjadi sebelum mencapai umur pakai yang diharapkan. Kerusakan tersebut umumnya berupa retak permukaan yang berkembang hingga patah pada bagian tertentu pegas. Temuan ini menunjukkan bahwa pegas *boffer* yang digunakan saat ini belum sepenuhnya mampu mempertahankan kinerjanya pada

© 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

kondisi kerja yang didominasi oleh beban dinamis berulang. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nababan, Nugroho, dan Ismail menunjukkan bahwa kerusakan pegas tidak cukup dijelaskan hanya dari gejala visual, tetapi perlu dianalisis melalui pengujian komposisi kimia, metalografi, kekerasan, dan simulasi [2]. Kondisi kerusakan pegas *boffer* yang ditemukan di lapangan ditunjukkan pada Gambar 1.1. Visualisasi tersebut memberikan gambaran nyata mengenai adanya kegagalan komponen, sehingga diperlukan kajian lebih lanjut terhadap penyebab kerusakan dan kesesuaian pegas yang digunakan.

Gambar 1. 1 Kondisi Kerusakan Pegas *Boffer*
Sumber: Dokumen Pribadi

Besarnya pembebanan kerja yang diterima pegas juga menjadi aspek penting dalam analisis. Pegas *boffer* menerima beban statis dari massa *coupler* sebesar 250 kg dan tambahan beban dinamis sebesar 82 kg selama operasi, sehingga total pembebanan kerja mencapai sekitar 332 kg. Data pembebanan kerja pegas ditunjukkan pada Tabel 1.1. Informasi tersebut menunjukkan bahwa pegas bekerja pada kondisi beban yang tidak hanya tinggi, tetapi juga berubah-ubah selama pengoperasian. Kondisi pembebanan demikian menuntut pegas memiliki karakteristik material dan respons elastis yang sesuai agar mampu mempertahankan kinerja serta umur pakainya.

© 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

Tabel 1. 1 Parameter Pembebanan Kerja Pegas *Boffer*

Parameter	Nilai
Berat *coupler*	250 kg
Beban dinamis (35%)	82 kg
Total beban kerja	332 kg
Pitch tanpa beban	16 mm
Pitch terpasang	13 mm

Sumber: PT KAI UPT Balai Yasa Manggarai

Respons pegas terhadap pembebanan kerja perlu dianalisis melalui pendekatan yang mampu menggambarkan perilaku mekanik, karakteristik material, dan karakteristik kerusakan komponen secara lebih komprehensif. Penelitian ini menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengevaluasi distribusi tegangan *Von Mises* dan *Displacement* pada pegas akibat pembebanan kerja. Karakteristik material dan kerusakan pegas *boffer* yang mengalami kegagalan dianalisis melalui pengamatan makro patahan untuk mengidentifikasi bentuk kerusakan, lokasi awal retak, dan indikasi mekanisme patah, pengujian mikrostruktur untuk mengetahui kondisi struktur mikro material, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk mengidentifikasi komposisi kimia material, serta uji kekerasan untuk mengetahui sifat mekanik material yang digunakan. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Basori, Asmawi, dan Togar Pasaribu menunjukkan bahwa identifikasi penyebab kegagalan pegas dapat didukung oleh pengujian komposisi kimia, metalografi, dan kekerasan [3]. Kombinasi analisis numerik dan pengujian material diperlukan agar penyebab kerusakan tidak hanya ditinjau dari gejala visual, tetapi juga dari respons struktur dan kesesuaian material terhadap kondisi kerja. Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan dasar teknis yang lebih kuat dalam mengevaluasi kondisi pegas *boffer* yang mengalami kerusakan.

Permasalahan kerusakan pegas dapat ditinjau dari beberapa aspek, seperti kondisi pembebanan, geometri komponen, dan karakteristik material. Kajian penelitian ini difokuskan pada evaluasi pegas, khususnya terkait karakteristik kerusakan, kondisi material, dan respons mekaniknya terhadap pembebanan kerja pada sistem penyambung antar gerbong kereta api. Pendekatan tersebut memungkinkan penelitian menghasilkan dasar teknis untuk mengevaluasi

kesesuaian material pegas *boffer* yang digunakan saat ini serta merumuskan pertimbangan material yang lebih sesuai dengan kondisi kerja aktual. Fokus ini juga sejalan dengan kebutuhan penelitian terapan yang menekankan hasil teknis yang dapat dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan.

Material pegas memegang peranan penting karena memengaruhi kekuatan, kekerasan, ketangguhan, kekakuan, dan ketahanan lelah komponen selama menerima pembebanan dinamis berulang. Material yang tidak sesuai berpotensi menyebabkan penurunan kemampuan elastis, deformasi berlebih, dan kerusakan yang lebih cepat selama operasi. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Asisi, Badaruddin, Sugiyanto, dan Supriadi menunjukkan bahwa baja JIS SUP 9A merupakan material pegas yang sifat mekaniknya dapat ditingkatkan melalui perlakuan panas, termasuk *quenching*, yang berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro material [4]. Penentuan material yang lebih sesuai perlu didasarkan pada hasil analisis kegagalan, karakteristik material pegas *boffer* yang digunakan saat ini, serta kesesuaian material terhadap kondisi pembebanan kerja pegas. Kesesuaian tersebut perlu dievaluasi melalui analisis dan pengujian agar pertimbangan material yang diberikan memiliki dasar teknis yang kuat.

Penelitian ini diarahkan pada analisis kegagalan pegas *boffer* yang mengalami kerusakan pada sistem penyambung antar gerbong kereta api. Evaluasi dilakukan melalui analisis tegangan *Von Mises* dan *displacement* pada pegas akibat pembebanan kerja menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), serta identifikasi karakteristik material melalui pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), dan uji kekerasan. Hasil pengujian dan simulasi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi faktor penyebab kerusakan pegas *boffer* dari aspek pembebanan, respons mekanik, komposisi kimia, struktur mikro, dan sifat kekerasan material. Dengan mengetahui faktor utama penyebab kerusakan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan keandalan material dan komponen, serta mendukung upaya mengurangi potensi kerusakan berulang pada pegas *boffer* 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

© 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

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini didasarkan pada ditemukannya kerusakan pada pegas *boffer* yang digunakan pada sistem penyambung antar gerbong kereta api. Kerusakan tersebut ditandai dengan adanya retak hingga patah pada bagian tertentu pegas sebelum mencapai umur pakai yang diharapkan. Kondisi kerja pegas *boffer* yang menerima pembebanan statis dan dinamis berulang dapat memengaruhi distribusi tegangan, *displacement*, serta ketahanan material selama pengoperasian. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa kerusakan pegas perlu dianalisis secara lebih mendalam melalui pendekatan analisis kegagalan (*failure analysis*) dengan meninjau karakteristik patahan, struktur mikro, komposisi kimia, nilai kekerasan, serta respons mekanik pegas terhadap pembebanan kerja. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengidentifikasi faktor penyebab dan mekanisme kegagalan pegas *boffer*, serta memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan keandalan material dan komponen pada sistem penyambung antar gerbong kereta api.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, pertanyaan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kerusakan dan karakteristik material pegas *boffer* berdasarkan hasil pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), dan uji kekerasan?
2. Bagaimana distribusi tegangan *Von Mises* dan *Displacement* pada pegas *boffer* akibat pembebanan kerja berdasarkan metode *Finite Element Analysis* (FEA)?
3. Faktor utama apa yang menyebabkan kegagalan pegas *boffer* pada sistem penyambung antar gerbong kereta api, serta rekomendasi teknis apa yang dapat diberikan untuk meningkatkan keandalan material dan komponen?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun untuk menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan, yaitu sebagai berikut:

© 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

1. Mengidentifikasi karakteristik kerusakan dan karakteristik material pegas *boffer* berdasarkan hasil pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), dan uji kekerasan.
2. Menganalisis distribusi tegangan *Von Mises* dan *Displacement* pada pegas *boffer* akibat pembebanan kerja menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA).
3. Menentukan faktor utama penyebab kegagalan pegas *boffer* serta memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan keandalan material dan komponen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, institusi pendidikan, dan perusahaan, baik dari aspek akademik maupun penerapan teknis di lapangan. Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1.5.1 Manfaat bagi Mahasiswa

Penelitian ini memberikan pengalaman dalam menganalisis kegagalan komponen mekanik, khususnya pegas *boffer* pada sistem penyambung antar gerbong kereta api. Melalui penelitian ini, mahasiswa dapat memahami penerapan analisis kegagalan dengan menghubungkan hasil pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), uji kekerasan, dan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Selain itu, penelitian ini juga melatih kemampuan mahasiswa dalam menganalisis hubungan antara karakteristik material, respons mekanik, dan mekanisme kerusakan sebagai dasar pengambilan keputusan teknis.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian ini dapat menjadi referensi akademik dalam pengembangan penelitian terapan di bidang teknik mesin dan manufaktur, khususnya terkait analisis kegagalan pegas, evaluasi karakteristik material, dan penerapan metode *Finite Element Analysis* (FEA) pada komponen mekanik. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi sumber pembelajaran bagi mahasiswa atau peneliti

© 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

selanjutnya yang membahas kegagalan material pada komponen yang bekerja di bawah pembebanan dinamis berulang.

1.5.3 Manfaat bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi teknis mengenai karakteristik kerusakan, karakteristik material, dan faktor penyebab kegagalan pegas *boffer* pada sistem penyambung antar gerbong kereta api. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar evaluasi terhadap kondisi material, respons mekanik, dan keandalan komponen pegas *boffer* yang digunakan saat ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan keandalan material dan komponen, serta mengurangi potensi kerusakan berulang di lapangan.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan agar pembahasan lebih terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada pegas *boffer* yang mengalami kerusakan berupa retak atau patah pada sistem penyambung antar gerbong kereta api.
2. Analisis penyebab kerusakan dilakukan melalui pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES), uji kekerasan *Vickers,* dan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA).
3. Simulasi FEA dibatasi pada analisis statis untuk mengetahui distribusi tegangan *Von Mises, displacement,* dan *factor of safety* berdasarkan pembebanan kerja yang mengacu pada data lapangan. Analisis *fatigue life* secara detail dan simulasi dinamis tidak menjadi fokus utama penelitian.
4. Penentuan faktor penyebab kerusakan dilakukan menggunakan diagram *fishbone* dan metode 5 *Why analysis* berdasarkan hasil pengujian, simulasi, serta data pendukung. Rekomendasi teknis yang diberikan dibatasi pada upaya pencegahan kerusakan berulang berdasarkan hasil analisis tersebut.

© 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

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai alur pembahasan penelitian, dengan susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang penelitian mengenai kerusakan pegas *boffer* pada sistem penyambung antar gerbong kereta api, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian literatur dan landasan teori yang digunakan untuk mendukung penelitian, meliputi teori mengenai sistem penyambung antar gerbong kereta api, pegas *boffer*, pembebanan dinamis, mekanisme kegagalan material, karakteristik material pegas, pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), uji kekerasan, serta metode *Finite Element Analysis* (FEA).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi jenis penelitian, objek penelitian, metode pengambilan sampel, tahapan penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, serta metode analisis data. Pada bab ini juga dijelaskan pelaksanaan pengamatan makro patahan, pengujian mikrostruktur, pengujian OES, uji kekerasan, serta simulasi FEA yang digunakan untuk mendukung analisis kegagalan pegas *boffer*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai karakteristik kerusakan pegas *boffer*, hasil pengamatan makro patahan, hasil pengujian mikrostruktur, hasil pengujian OES, hasil uji kekerasan, serta hasil simulasi FEA berupa distribusi tegangan *Von Mises* dan *displacement*. Hasil tersebut dianalisis secara terpadu untuk menentukan faktor utama penyebab kegagalan pegas *boffer* serta merumuskan rekomendasi teknis untuk peningkatan keandalan material dan komponen.

BAB V PENUTUP

Bab ini memaparkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis kegagalan pegas *boffer* serta saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan teknis 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

© 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

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisis penyebab kerusakan pegas *boffer* pada sistem penyambung antar gerbong kereta api melalui pendekatan *Failure Analysis* dan *Finite Element Analysis* (FEA), diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerusakan pegas *boffer* terjadi pada area ujung/lilitan pegas. Hasil pengamatan makro menunjukkan adanya dugaan area inisiasi retak, area permukaan teroksidasi, dan dugaan area patahan akhir. Namun, pola perambatan retak berupa *beachmark* tidak terlihat secara jelas, sehingga mekanisme kegagalan tidak dapat dinyatakan sebagai *fatigue fracture* secara dominan hanya berdasarkan hasil pengamatan makro. Hasil pengamatan mikrostruktur menunjukkan adanya retakan sekunder di sekitar area patahan, sehingga kerusakan pegas perlu dianalisis dengan menghubungkan hasil pengamatan makro, mikrostruktur, komposisi kimia, kekerasan, dan simulasi FEA.
2. Hasil pengujian material menunjukkan bahwa material pegas *boffer* belum sepenuhnya sesuai dengan acuan baja pegas SUP9. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan kandungan karbon (C) sebesar 0,784% dan kromium (Cr) sebesar 0,308%. Perbedaan komposisi tersebut dapat memengaruhi sifat mekanik material, terutama kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kemampuan pegas dalam menahan pembebanan kerja. Hasil pengujian kekerasan dan perhitungan sifat mekanik juga menunjukkan bahwa kemampuan material dalam menahan beban belum optimal dibandingkan acuan material baja pegas SUP9.
3. Hasil simulasi FEA menunjukkan bahwa pegas *boffer* mengalami tegangan Von Mises maksimum sebesar 1550,002 MPa, *displacement* maksimum sebesar 396,133 mm, dan *Factor of Safety* minimum sebesar 0,47. Nilai *Factor of Safety* yang lebih kecil dari 1,5 - 2 menunjukkan bahwa pegas

berada pada kondisi tidak aman terhadap pembebanan kerja yang diberikan. Area tegangan tinggi pada hasil simulasi sesuai dengan lokasi kerusakan aktual, yaitu pada area ujung/lilitan pegas. Hal ini menunjukkan bahwa area ujung lilitan merupakan area kritis yang berpotensi mengalami retak dan patah saat pegas bekerja.

4. Berdasarkan hasil diagram *fishbone* dan analisis 5 *Why*, *root cause* kerusakan pegas *boffer* adalah kombinasi antara tegangan tinggi pada area kritis akibat pembebanan kerja berulang dan kondisi material yang belum sepenuhnya sesuai dengan acuan baja pegas SUP9. Dengan demikian, kerusakan pegas *boffer* tidak tepat jika dinyatakan sebagai *fatigue fracture* murni ataupun hanya disebabkan oleh material. Kerusakan tersebut lebih tepat dijelaskan sebagai hasil gabungan antara faktor pembebanan dan faktor material.
5. Rekomendasi teknis untuk mencegah kerusakan berulang difokuskan pada pemeriksaan kesesuaian material, inspeksi berkala pada area ujung lilitan pegas, serta pencatatan riwayat umur pakai dan hasil pemeriksaan pegas. Pemeriksaan tersebut diperlukan agar material yang digunakan sesuai dengan kebutuhan kerja, kerusakan awal dapat terdeteksi lebih cepat, dan pola kerusakan pegas dapat ditelusuri berdasarkan data perawatan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah pengujian material sebaiknya tidak hanya dilakukan pada area patahan, tetapi juga pada bagian pegas yang masih utuh atau jauh dari area patahan, sehingga kondisi material pada area rusak dan area yang belum rusak dapat dibandingkan secara lebih jelas. Selain itu, pengamatan fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) disarankan untuk melihat bentuk permukaan patahan, pola perambatan retak, dan indikasi mekanisme kegagalan secara lebih detail, karena hasil pengamatan makro pada penelitian ini belum menunjukkan pola *beachmark* secara jelas. Dari sisi penerapan teknis, perusahaan disarankan melakukan pencatatan riwayat pemakaian dan pemeriksaan pegas secara berkala, meliputi tanggal pemasangan, hasil pemeriksaan, kondisi pegas, dan tanggal

© 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

penggantian, agar umur pakai serta pola kerusakan pegas dapat ditelusuri dengan lebih baik pada periode perawatan berikutnya.

© 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

© 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 PUSTAKA

[1] H. Darmadi, R. Sitompul, N. Tarigan, and D. Kurnia, "KEKUATAN LELAH (FATIGUE) PADA PEGAS ULIR TEKAN DI UNIT VIBRATING SCREEN AKIBAT ADANYA BEBAN SIKLIK (BERULANG) MENGGUNAKAN UJI FATIK (FATIGUE TEST)," *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 10, no. 1, 2024.

[2] * Dosma, R. R. Nababan, S. Nugroho, and R. Ismail, "Analisis Kegagalan Pada Coil Spring Depan Sepeda Motor Kapasitas 160 CC," 2023.

[3] Basori, Asmawi, and Togar Pasaribu, "ANALISIS KEGAGALAN PEGAS DAUN KENDARAAN BUS DENGAN KAPASITAS 7 TON," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 13–21, Apr. 2019, doi: 10.21009/jkem.6.1.4.

[4] A. Nuwari Asisi, M. Badaruddin, and S. dan Harnowo Supriadi, "Pengaruh perlakuan panas quenching terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A A B S T R A C T," 2024, doi: 10.23960/mech.v15.i1.2024192.

[5] K. I. Asegaf, "RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR TINGGI COUPLER / *BOFFER* PADA KERETA API BERBASIS MIKROKONTROLER ESP 32," 2026.

[6] E. R. Chan, H. Jeremy, and T. Sinulingga, "Efektifitas Penggunaan Rantai Pengaman pada Rangkaian Kereta," 2020. [Online]. Available: http://jurnal.ptdisttd.net/index.php/jpsttd/index

[7] * Mush'ab, O. Kurdi, and I. Haryanto, "ANALISIS PENGARUH KEKAKUAN PEGAS SUSPENSI DAN RADIUS TIKUNGAN TERHADAP BODY ROLL PADA MOBIL," 2021.

[8] V. Farel, T. Prahasto, and J. D. Setiawan, "ANALISIS PENGARUH KOEFISIEN DAMPER DAN KONSTANTA PEGAS PADA SUSPENSI TERHADAP RIDE DAN HANDLING DENGAN METODE PENGUJIAN STEP STEER TEST DAN DOUBLE LANE CHANGE TEST," 2024.

[9] G. Cadet and M. Paredes, "Optimized dimensioning of helical compression springs," 2024.

[10] A. Yetgin, A. Karakaş, B. Acar, and E. Özaslan, "Failure analysis of a helical compression spring with relatively low spring index," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 165, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.engfailanal.2024.108798.

[11] Y. Zhu, Y. Wang, and Y. Huang, "Failure analysis of a helical compression spring for a heavy vehicle's suspension system," *Case Stud. Eng. Fail. Anal.*, vol. 2, no. 2, pp. 169–173, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.csefa.2014.08.001.

[12] K. P. Patel and S. K. Rathore, "Fatigue Stress Analysis of Helical Compression Spring, A Study," 2022. [Online]. Available: www.ijsrd.com

[13] A. Angga, O. Kurdi, and T. Prahasto, "ANALISIS PENGARUH CENTER OF GRAVITY SUSPENSI DAN KEKAKUAN PEGAS TERHADAP BODY ROLL PADA MOBIL," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 231–232, 2023, doi: 10.4271/2002-01.

[14] M. Gzal, M. Groper, and O. Gendelman, "Analytical, experimental and *Finite Element Analysis* of elliptical cross-section helical spring with small helix angle under static load," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 130, pp. 476–486, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2017.06.025.

[15] M. L. Stewart, "A COMPUTATIONAL APPROACH FOR EVALUATING HELICAL COMPRESSION SPRINGS," 2019. [Online]. Available: http://www.ijret.org

[16] Z. Anwar, "Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Quench-Temper terhadap Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja JIS SUP 9," 2021. [Online]. Available: www.ojs.politeknikjambi.ac.id/index/inovator

[17] A. Muqorrobin, "J-Mesin : Jurnal Teknologi Dan Ilmiah Teknik Mesin Dan Sains Analisis Pengaruh Holding Time Pemanasan Induksi Terhadap Baja SUP 9A," *J-Mesin*, vol. 1, no. 1, 2025, [Online]. Available: http://j-mesin.unigres.ac.id

[18] G. Hutiu, V. F. Duma, D. Demian, A. Bradu, and A. G. Podoleanu, "Assessment of ductile, brittle, and fatigue fractures of metals using optical coherence tomography," *Metals (Basel).*, vol. 8, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/met8020117.

© 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

© 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

[19] H. Darmadi, R. Sitompul, N. Tarigan, and D. Kurnia, "KEKUATAN LELAH (FATIGUE) PADA PEGAS ULIR TEKAN DI UNIT VIBRATING SCREEN AKIBAT ADANYA BEBAN SIKLIK (BERULANG) MENGGUNAKAN UJI FATIK (FATIGUE TEST)," *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 10, no. 1, 2024.

[20] Husaini, N. Ali, and A. Bakhtiar, "Analisa Permukaan Patah Pegas Ulir Suspensi Depan Mobil Sedan," 2016.

[21] S. M. N. Nusa, "PATAHNYA PEGAS ULIR KERETA API AKIBAT KELEBIHAN BEBAN THE BREAKING OF TRAIN SPRING COIL CAUSED BY OVERWEIGHT," p. 27, 2016.

[22] K. R. S. Putra and H.- Handoko, "Analisis Patahan Fatigue Pada Steel Bucket Pin Produk Lokal," *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, vol. 2, no. 1, p. 18, Jun. 2021, doi: 10.22146/jmtp.66318.

[23] A. Nuwari Asisi, M. Badaruddin, and S. dan Harnowo Supriadi, "Pengaruh perlakuan panas quenching terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A A B S T R A C T," 2024, doi: 10.23960/mech.v15.i1.2024192.

[24] M. N. Setia, "Kerusakan pada Material Baut Pin Akibat Patah Lelah. CAUSE OF PIN BOLT FAILURE IS FATIQUE FRACTURE," 2019.

[25] R. Rahmadani *et al.*, "Pengaruh Hardening Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Baja AISI 1045," 2020.

[26] Suyatno and Anwar, "ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA PROSES PENGELASAN BESI COR KELABU DENGAN VARIASI PENDINGINAN," 2020.

[27] X. He, Q. Yang, D. Ling, D. Wei, and H. Wang, "Elemental Analysis of V, Mo, Cr, Mn, Al, Ni, and Cu in Steel Alloy with Femtosecond Laser Ablation Spark-Induced Breakdown Spectroscopy," *Chemosensors*, vol. 10, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/chemosensors10090370.

[28] Ariawan, N. Mulyaningsih, and X. Salahudin, "PENENTUAN KONDISI OPTIMAL PELAPISAN TEMBAGA NIKEL PADA BAJA AISI 1015," 2021.

[29] F. A. Rauf, F. P. Sappu, and A. M. A. Lakat, "UJI KEKERASAN DENGAN MENGGUNAAN ALAT MICROHARDNESS *VICKERS* PADA BERBAGAI JENIS MATERIAL TEKNIK," 2021.

[30] N. B. Maulana, "PENGARUH VARIASI BEBAN INDENTOR *VICKERS* HARDNESS TESTER TERHADAP HASIL UJI KEKERASAN MATERIAL ALUMINIUM DAN BESI COR," 2018.

[31] D. Pastorcic, G. Vukelic, and Z. Bozic, "Coil spring failure and fatigue analysis," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 99, pp. 310–318, May 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.02.017.

[32] M. Bangkit, A. Kususma, H. Febrian, A. Yudha, M. N. Falaq, and A. Amin, "Analisis Fishbone Pengambilan Keputusan Kebijakan Normalisasi Sungai di Kota Surabaya," *Jurnal Sosial Dan Humaniora*, vol. 1, pp. 106–111, 2024, doi: 10.62017/arima.

[33] R. A. De Fretes, "ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE RCA (FISHBONE DIAGRAM AND 5-*WHY ANALYSIS*) DI PT. PLN (PERSERO) KANTOR PELAYANAN KIANDARAT," *Agustus*, vol. 16, no. 2, 2022.

© 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

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 LAMPIRAN

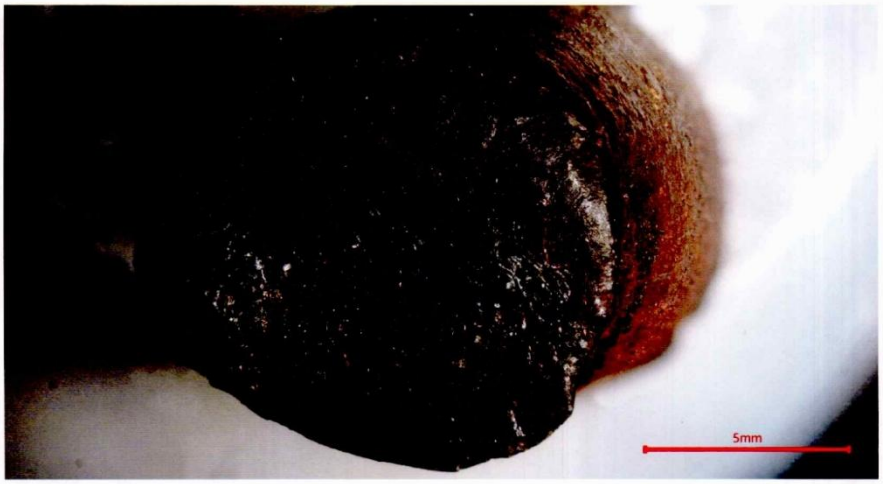
Lampiran 1 Hasil Pengamatan Makro Patahan

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | **Tel.** 021-7884 9045
email : cmpfaftui@ui.ac.id **website :** www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN METALOGRAFI
METALLOGRAPHY TEST REPORT
Hal 1 dari 1

No Laporan *Report Nr*	**M0029**	**Tanggal Terima** *Receiving Date*	**29 April 2026**
No Kontrak *Contract Nr.*	**M0029/PT.02/FT04/P/2026**	**Tanggal Uji** *Date of Test*	**20 Mei 2026**
Pemakai Jasa *Customer*	**Intan Putri Utami Siti Mariam**	**Metode Uji** *Testing method*	**ASTM E3 ASTM E340**
Alamat *Address*	**Politeknik Negeri Jakarta**	**Jenis Uji** *Type Of Test*	**Pengamatan Struktur Makro**
Bahan *Material*	**Fe Based**	**Mesin Uji** *Testing machine*	**Inverted Metallurgical Microscope Olympus BX41M - LED**

Kode Sampel : *Sample Code*	**Pegas**	**Etsa :** *Etching*	**Nital 3%**
Lokasi foto : *Picture's location*	**Penampang**	**Keterangan:** *Remarks*	**Foto Makro**
Perbesaran : *Magnification*	**6,8x**		



Depok, 21 Mei 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yoda, S.T.)

FF-43/ LU-CMPFA FTUI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

© 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

Lampiran 2 Hasil Pengujian Mikrostruktur Perbesaran 100x

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS

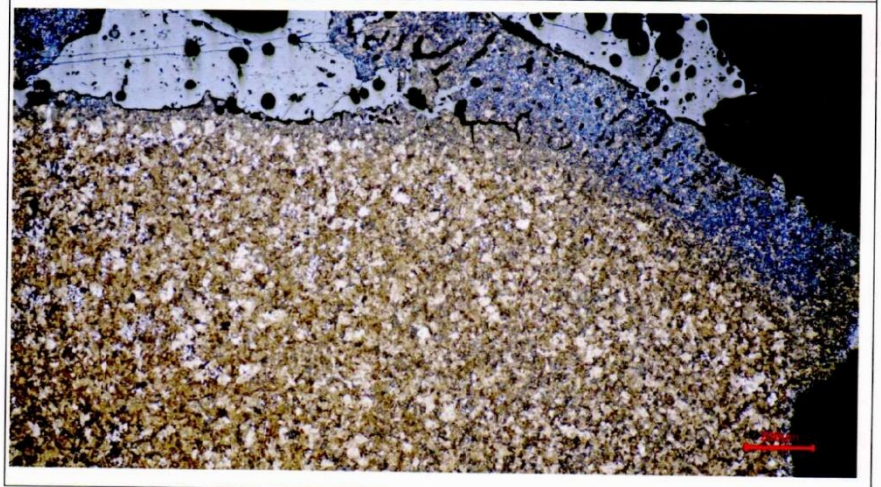
Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | **Tel.** 021-7884 9045
email : cmpfaftui@ui.ac.id **website :** www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN METALOGRAFI
METALLOGRAPHY TEST REPORT

Hal 1 dari 2

No Laporan *Report Nr*	**M0029**	**Tanggal Terima** *Receiving Date*	**29 April 2026**
No Kontrak *Contract Nr.*	**M0029/PT.02/FT04/P/2026**	**Tanggal Uji** *Date of Test*	**20 Mei 2026**
Pemakai Jasa *Customer*	**Intan Putri Utami Siti Mariam**	**Metode Uji** *Testing method*	**ASTM E3 ASTM E407**
Alamat *Address*	**Politeknik Negeri Jakarta**	**Jenis Uji** *Type Of Test*	**Pengamatan Struktur Mikro**
Bahan *Material*	**Fe Based**	**Mesin Uji** *Testing machine*	**Inverted Metallurgical Microscope Olympus BX41M - LED**

Kode Sampel : *Sample Code*	**Pegas**	**Etsa :** *Etching*	**Nital 3%**
Lokasi foto : *Picture's location*	**Penampang**	**Keterangan:** *Remarks*	**Foto Mikro**
Perbesaran : *Magnification*	**100x**		



Depok, 21 Mei 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yuda, S.T.)

FF-43/ LU-CMPFA FTUI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

© 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

Lampiran 3 Hasil Pengujian Mikrostruktur Perbesaran 500x

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS

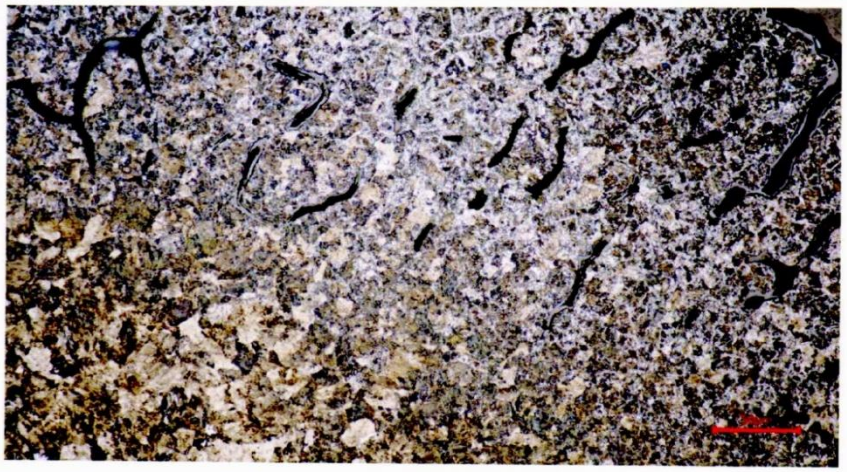
Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | **Tel.** 021-7884 9045
email : cmpfaftui@ui.ac.id **website :** www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN METALOGRAFI
METALLOGRAPHY TEST REPORT

Hal 2 dari 2

No Laporan *Report Nr*	**M0029**	**Tanggal Terima** *Receiving Date*	**29 April 2026**
No Kontrak *Contract Nr.*	**M0029/PT.02/FT04/P/2026**	**Tanggal Uji** *Date of Test*	**20 Mei 2026**
Pemakai Jasa *Customer*	**Intan Putri Utami Siti Mariam**	**Metode Uji** *Testing method*	**ASTM E3 ASTM E407**
Alamat *Address*	**Politeknik Negeri Jakarta**	**Jenis Uji** *Type Of Test*	**Pengamatan Struktur Mikro**
Bahan *Material*	**Fe Based**	**Mesin Uji** *Testing machine*	**Inverted Metallurgical Microscope Olympus BX41M - LED**

Kode Sampel : *Sample Code*	**Pegas**	**Etsa :** *Etching*	**Nital 3%**
Lokasi foto : *Picture's location*	**Penampang**	**Keterangan:** *Remarks*	**Foto Mikro**
Perbesaran : *Magnification*	**500x**		



Depok, 21 Mei 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yuda, S.T.)

FF-43/ LU-CMPFA FTUI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

© 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

Lampiran 4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia (OES)

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS

Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | **Tel.** 021-7884 9045
email : cmpfaftui@ui.ac.id **website :** www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
CHEMICAL COMPOSITION TEST REPORT

Hal 1 dari 1

No Laporan *Report Nr*	**M0029**	**Tanggal Terima** *Receiving Date*	**29 April 2026**
No Kontrak *Contract Nr.*	**M0029/PT.02/FT04/P/2026**	**Tanggal Uji** *Date of Test*	**4 Mei 2026**
Pemakai Jasa *Customer*	**Intan Putri Utami Siti Mariam**	**Metode Uji** *Testing method*	**ASTM A751 ASTM E415**
Alamat *Address*	**Politeknik Negeri Jakarta**	**Jenis Uji** *Type Of Test*	**Optical Emission Spectroscopy**
Bahan *Material*	**Fe Based**	**Mesin Uji** *Testing machine*	**Bruker QM4 Polo***

Kode Sampel **Sample Code**	**C (wt%)**	**Si (wt%)**	**Mn (wt%)**	**P (wt%)**	**S (wt%)**	**Cr (wt%)**	**Mo (wt%)**	**Keterangan** *Remarks*
Pegas	0.784	0.192	0.731	0.006	0.019	0.308	0.005	-
	Ni (wt%)	**Al (wt%)**	**Cu (wt%)**	**Nb (wt%)**	**Ti (wt%)**	**V (wt%)**	**Fe (wt%)**	
	0.006	0.001	0.020	<0.001**	<0.0006**	0.002	97.91	

catatan :
* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2
** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 5 Mei 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yoda, S.T.)

FF-25/ LU-CMPFA FTUI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

© 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

Lampiran 5 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | **Tel.** 021-7884 9045
email : cmpfaftui@ui.ac.id **website :** www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN KEKERASAN
HARDNESS TEST REPORT

Hal 1 dari 1

No Laporan *Report Nr*	**M0029**	**Tanggal Terima** *Receiving Date*	**29 April 2026**
No Kontrak *Contract Nr.*	**M0029/PT.02/FT04/P/2026**	**Tanggal Uji** *Date of Test*	**19 Mei 2026**
Pemakai Jasa *Customer*	**Intan Putri Utami Siti Mariam**	**Metode Uji** *Testing method*	**ASTM E384**
Alamat *Address*	**Politeknik Negeri Jakarta**	**Jenis Uji** *Type Of Test*	**Microvickers**
Bahan *Material*	**Produk**	**Mesin Uji** *Testing machine*	**MicroMet® 5100 Series Microindentation Hardness Testers***

Sketsa Sampel
Sample Figure

Kode Sampel *Sample Code*	**Penjejakan** *Indentation*	**Nilai Kekerasan** *Hardness Value*	**Rata-Rata** *Average*	**Keterangan** *Remarks*
Pegas	1	182 HV 0.3	-	Vickers Load: 300 gf, 10 detik
	2	341 HV 0.3		
	3	336 HV 0.3		
	4	331 HV 0.3		
	5	333 HV 0.3		

Catatan:
* ketidakpastian standar blok uji dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2

Depok, 21 Mei 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yoda, S.T.)

FF-24/ LU-CMPFA FTUI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-CMPFA FTUI; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-CMPFA FTUI

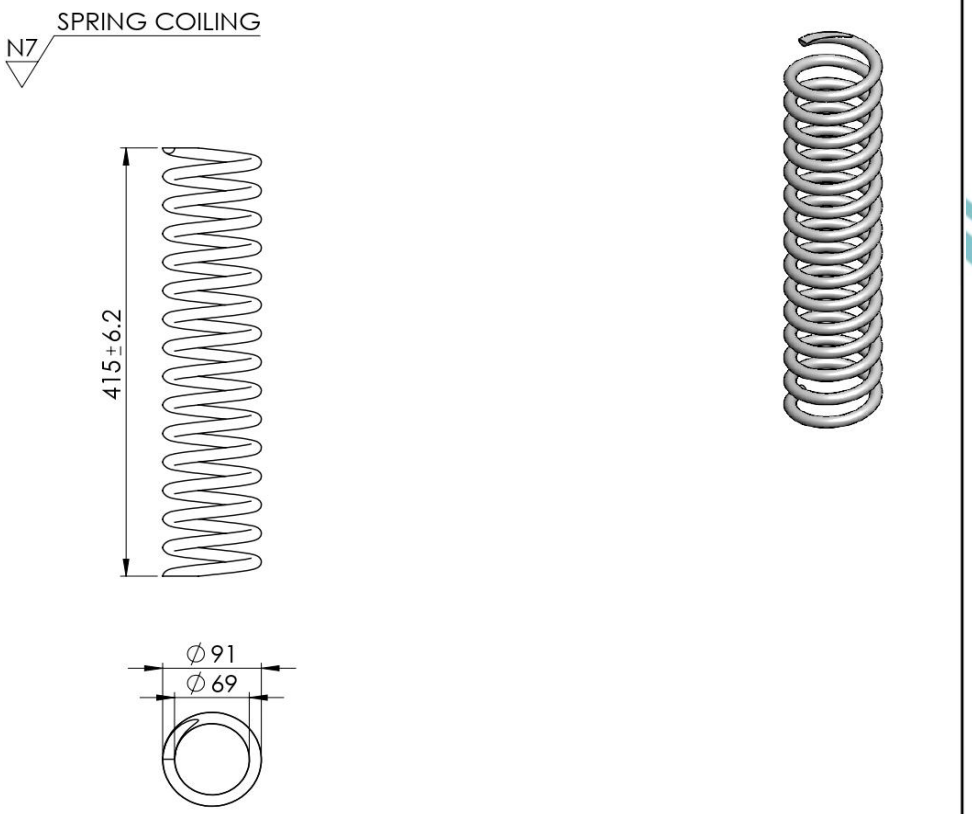
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

Lampiran 6 *Drawing Outer Spring*

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi							
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		1	Outer Spring	1	SUP9	∅ 91 X 415	DIBUAT
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
			PEGAS BOFFER		Skala 1 : 5	Digambar	080726 Intan
						Diperiksa	
			Politeknik Negeri Jakarta			No : 01/8B	

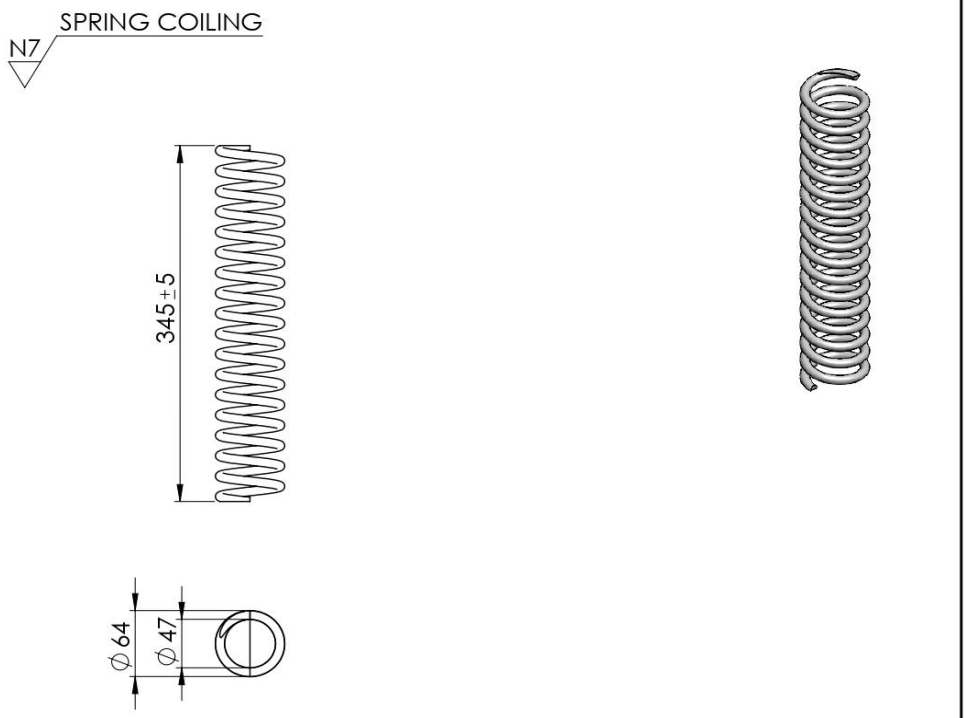
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

Lampiran 7 *Drawing Inner Spring*

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		1	Inner Spring	2	SUP9	ϕ 64 X 345	DIBUAT
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
			PEGAS BOFFER		Skala 1 : 5	Digambar	080726 Intan
						Diperiksa	
			Politeknik Negeri Jakarta			No : 02/8B	

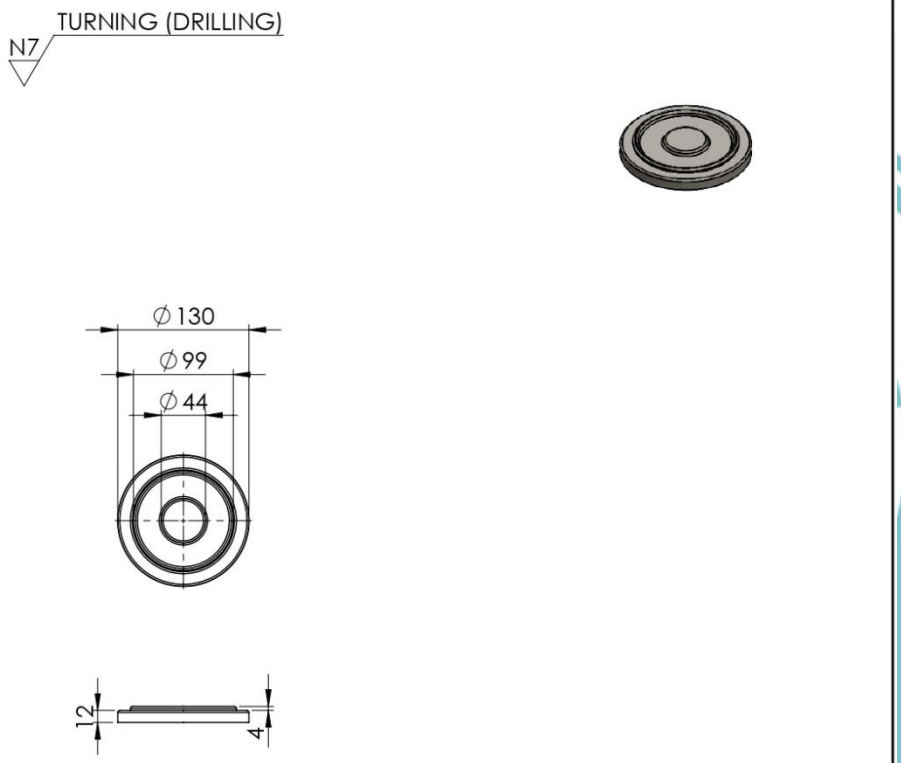
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

Lampiran 8 *Drawing Base Plate*

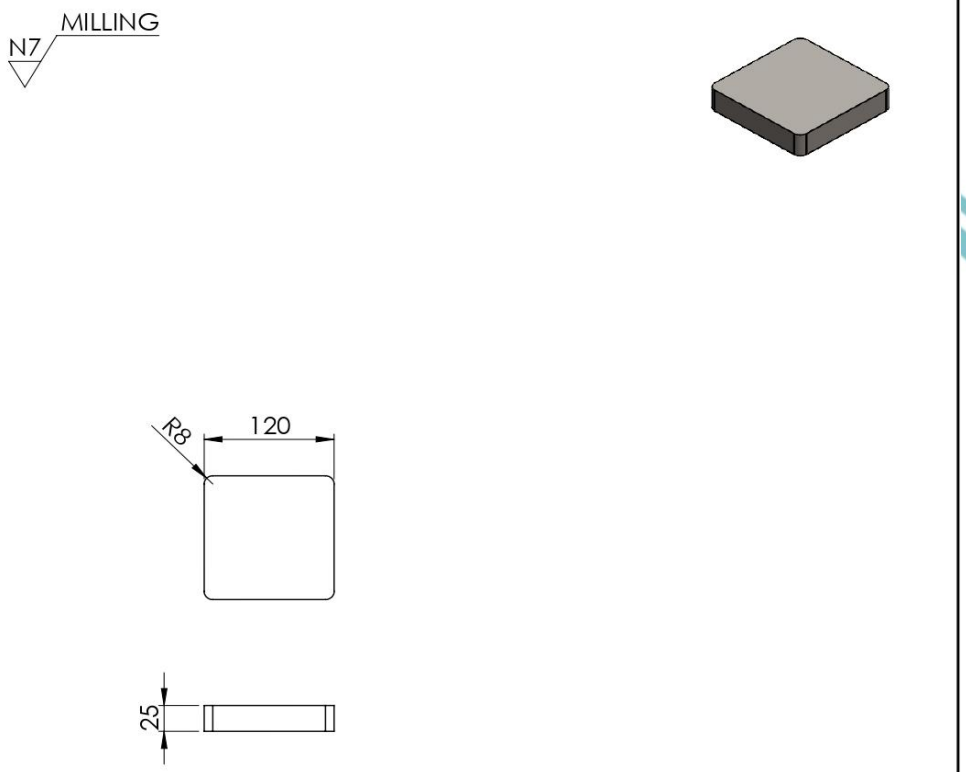
Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		2	Base Plate	3	SS400	Ø 130 X 12	DIBUAT
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
			PEGAS BOFFER		Skala 1 : 5	Digambar 080726	Intan
						Diperiksa	
			Politeknik Negeri Jakarta			No : 03/8B	

Lampiran 9 *Drawing* Dudukan Pegas

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang diizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		2	Dudukan Pegas	4	S45C	120 X 25	DIBUAT
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
			PEGAS BOFFER		Skala 1 : 5	Digambar	080726	Intan
						Diperiksa		
			Politeknik Negeri Jakarta			No : 04/8B		

© 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