



Analisis Perbandingan Sifat Mekanik Pegas Daun Baja SUP9 dan SUP9A Melalui Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

Destiano Sudigdo¹, Margono Sugeng²

^{1,2}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nusantara

¹511211086@mahasiswa.undira.ac.id ²margonosugeng@undira.ac.id

Abstract

Leaf springs are essential components in heavy vehicle suspension systems, serving to absorb shock loads and maintain vehicle stability. Prolonged service life can cause degradation of mechanical properties, which affects both safety and suspension performance. This study aims to analyze and compare the mechanical properties of used SUP9 and SUP9A steel leaf springs through Micro Vickers hardness testing and microstructural observation in accordance with ASTM E384-17. Samples were taken from a Hino Dutro (SUP9) and a Mitsubishi Canter (SUP9A), then prepared and analyzed using *ImageJ* software for phase quantification. The results showed that the hardness values of SUP9 (246 HV = 234 HB) and SUP9A (214 HV = 204 HB) were below the JIS G 4801 standard range (363–429 HB). The microstructure of SUP9 consisted of 80% pearlite, 15% ferrite, and <5% martensite, while SUP9A contained 70% pearlite, 25% ferrite, and <5% martensite. The higher pearlite content in SUP9 contributed to greater hardness, whereas the higher ferrite content in SUP9A increased ductility but reduced wear resistance. These findings indicate that both materials have undergone softening due to tempering effects from repeated loading, potentially reducing their ability to withstand shock loads and accelerating fatigue failure. Technical recommendations include re-heat treatment or component replacement to restore suspension performance and improve vehicle operational safety.

Keywords : SUP9, SUP9A, leaf spring, hardness, microstructure, JIS G 4801

Abstrak

Pegas daun merupakan komponen penting pada sistem suspensi kendaraan berat yang berfungsi menyerap beban kejutan dan menjaga kestabilan kendaraan. Penggunaan jangka panjang dapat menyebabkan degradasi sifat mekanik yang berpengaruh terhadap keselamatan dan kinerja suspensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan sifat mekanik pegas daun baja SUP9 dan SUP9A bekas pakai melalui uji kekerasan Micro Vickers dan pengamatan struktur mikro sesuai standar ASTM E384-17. Sampel diambil dari kendaraan Hino Dutro (SUP9) dan Mitsubishi Canter (SUP9A), kemudian dipreparasi dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk kuantifikasi fasa. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai kekerasan SUP9 (246 HV = 234 HB) dan SUP9A (214 HV = 204 HB) berada di bawah standar JIS G 4801 (363–429 HB). Struktur mikro SUP9 terdiri atas 80% perlit, 15% ferrit, dan <5% martensit, sedangkan SUP9A memiliki 70% perlit, 25% ferrit, dan <5% martensit. Kandungan perlit yang lebih tinggi pada SUP9 memberikan kekerasan lebih tinggi, sedangkan kandungan ferrit lebih banyak pada SUP9A meningkatkan keuletan namun menurunkan ketahanan aus. Temuan ini menunjukkan bahwa kedua material telah mengalami pelunakan akibat efek tempering dari beban berulang, sehingga berpotensi menurunkan kemampuan menahan beban kejutan dan mempercepat kegagalan akibat fatigue. Rekomendasi teknis meliputi perlakuan panas ulang atau penggantian komponen untuk memulihkan performa suspensi dan meningkatkan keselamatan operasional kendaraan.

Kata kunci : sup9, sup9a, pegas daun, kekerasan, struktur mikro, JIS G 4801

1. Pendahuluan

Kendaraan memerlukan sistem suspensi karena berfungsi untuk menahan berat dari kendaraan dan menyerap kejutan dari medan jalan. Salah satu sistem suspensi yang masih relevan untuk transportasi darat saat ini yaitu pegas daun yang eksistensinya hampir mencapai 85%. [1]. Pegas daun adalah komponen sistem suspensi yang bekerja dengan sistem *bending*, pegas daun mengandalkan sifat pegasnya yang terhubung dengan roda kendaraan dengan cara menyerap getaran sebelum diteruskan ke rangka kendaraan. [2]. Pegas daun berfungsi menyerap energi dari getaran atau guncangan, lalu melepaskannya kembali secara bertahap sebagai gaya penahan tambahan. Perannya sangat vital pada sistem suspensi kendaraan berat, karena kerusakan pada komponen ini dapat berakibat pada gangguan keselamatan yang serius. [3].

Dampak penggunaan jangka panjang pegas daun dapat mengalami degradasi sifat mekanik dan kelelahan material, biasanya ditandai dengan deformasi permanen atau bahkan retak yang dapat meningkatkan risiko patah saat kendaraan mengangkut muatan penuh [4]. Pegas daun yang paling umum digunakan adalah model semi-elliptic. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya mengendalikannya ayunan (*sway*) dan pergerakan lateral, sehingga komponen ini menjadi pilihan utama untuk kendaraan berukuran besar seperti bus dan truk. [5] Pegas daun dibuat dari baja berkekuatan tinggi dengan tingkat elastisitas yang baik, sehingga mampu menahan beban besar sekaligus meredam getaran secara efektif. Material ini dirancang mengikuti spesifikasi pada standar pegas daun JIS G 4801. [6] Pegas daun melalui proses perlakuan panas seperti *quenching* dan *tempering*, proses tersebut sangat mempengaruhi struktur mikro yang ada dalam material tersebut. Perlakuan panas merupakan proses yang mengombinasikan tahap pemanasan dan pendinginan secara terkendali untuk menghasilkan sifat material sesuai yang diinginkan. [7].

Penelitian sebelumnya mengevaluasi sifat mekanik pegas daun Isuzu Panther, menemukan bahwa perlakuan panas mempengaruhi mikrostruktur pegas daun. [8]. Penelitian lainnya membandingkan efek media pendingin pada mikrostruktur dan kekerasan pegas daun, dan menyimpulkan bahwa pendinginan cepat meningkatkan kekerasan tetapi mengurangi ketangguhan [9]. Penelitian lainnya menunjukkan perlakuan *tempering* setelah pengerasan dapat menyeimbangkan kekerasan dan ketangguhan pegas daun. [10]

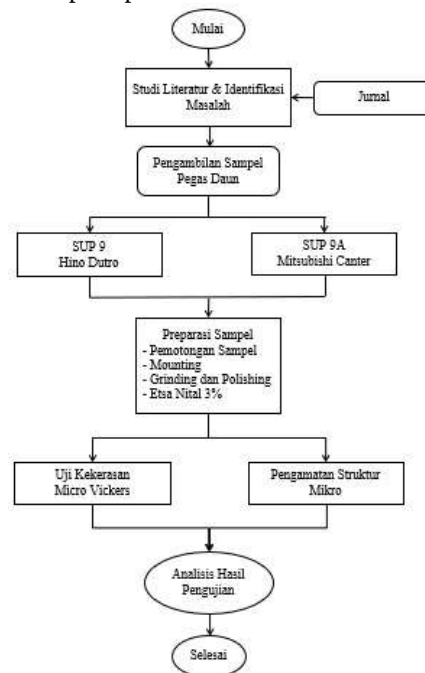
Berdasarkan ASTM E384-17, untuk baja karbon tinggi, batas metode penekanan pada uji kekerasan mikro umumnya berada pada rentang 10 gf hingga 1.000 gf [11]. Peningkatan kekakuan pegas daun seiring bertambahnya beban dapat dijelaskan jumlah simpul yang bersentuhan di bawah pengaruh beban

dinamis meningkat seiring bertambahnya beban dinamis. Hal ini membuat kekakuan daun kedua lebih aktif dalam mendukung beban dinamis. Saat kedua daun menekuk, lebih banyak simpul yang bersentuhan, menghasilkan gaya pemulihan tambahan yang mencegah penetrasi simpul dan meningkatkan kekakuan pegas [12], [13].

Potensi perbaikan dapat dilakukan melalui perlakuan panas ulang atau *re-heat treatment*, opsi lainnya juga bisa dengan penggantian komponen bekas dengan yang baru. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan sifat mekanik seperti kekerasan serta struktur mikro pegas daun SUP9 dan SUP9A dalam kondisi bekas pakai, sehingga dapat memberikan rekomendasi teknis bagi industri otomotif dalam menjaga performa dan keselamatan suspensi kendaraan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pegas daun Hino Dutro grade SUP9 dan pegas daun Mitsubishi Canter grade SUP9A. Kedua material diuji dan dibandingkan melalui metode uji kekerasan dan analisis struktur mikro di laboratorium untuk mengetahui perbedaan performa dan daya tahan masing-masing terhadap beban kerja yang tinggi dan berulang. Sistematika penelitian ini digambarkan dalam diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan alur sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel dilakukan di PT. Hibah Utama Spring.
2. Pemotongan dan Preparasi Sampel dilakukan di Laboratorium PT. Intec Instruments.

3. Pengamatan Struktur Mikro dan Pengujian Kekerasan menggunakan standar ASTM E384-17 di Laboratorium PT. Intec Instruments.

2.2 Alat dan Bahan

Persiapan alat-alat yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini antara lain:

1. Mesin Pemotong Sampel
2. Mesin Mounting
3. Mesin Grinding dan Polishing
4. Mikroskop Metalografi
5. Mesin Uji Kekerasan *Micro Vickers*
6. Peralatan Pengukuran dan Keselamatan Kerja

Adapun bahan-bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini antara lain:

1. Pegas Daun Hino Dutro (SUP9)
2. Pegas Daun Mitsubishi Canter (SUP9A)
3. Cairan Etsa Nital 3%
4. Resin

2.3 Preparasi Sampel

Persiapan material yang digunakan adalah memotong material sesuai dengan standar *struers*, serta dilakukan hal berikut:

1. Sampel dipotong menggunakan mesin potong presisi menjadi ukuran 10mm, Pemotongan dilakukan menggunakan air sebagai media pendingin untuk mengurangi panas yang dihasilkan selama proses pemotongan untuk mencegah deformasi pada material.
2. Mencampurkan sampel yang sudah dipotong dengan resin epoxy dan dipress pada suhu dan tekanan tertentu selama 5 menit untuk mempermudah proses pengamplasan sekaligus mempermudah penanganan selama pengamatan.
3. Pemolesan benda uji menggunakan amplas dengan tingkat kekasaran berbeda, dimulai dari ukuran kasar seperti grit 220, 9 micron, dan yang paling halus seperti 3 micron untuk menghilangkan goresan dari hasil pengamplasan agar didapat permukaan yang lebih halus. Hasil preparasi sampel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Preparasi Sampel

2.4 Etching

Sampel yang telah dipoles dilakukan proses *etching*

dengan tujuan memperjelas struktur mikro. Larutan etsa yang digunakan adalah nital 3%. Proses etsa dilakukan dengan cara mencelupkan benda uji ke larutan nital, kemudian benda uji dibilas dan dikeringkan. *Etching* berfungsi untuk menampakkan butiran fasa dalam logam agar dapat diamati dibawah mikroskop metalografi.

2.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik metalografi dengan perbesaran 100x. Karakteristik struktur mikro seperti keberadaan fasa ferrit, perlit, atau kemungkinan martensit dicatat dan dianalisis. Mikroskop yang digunakan pada pengamatan struktur mikro seperti Gambar 3.



Gambar 3. Mikroskop Evident Olympus BX53

2.6 Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Pengujian kekerasan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM E384-17. Alat yang digunakan pada pengujian kekerasan seperti Gambar 4.

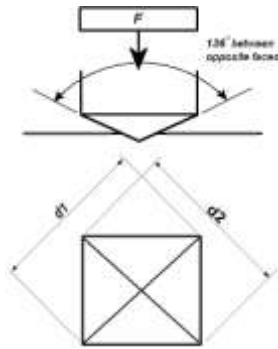


Gambar 4. Shimadzu HMV-G

Adapun prosedur pengujian kekerasan seperti berikut:

1. Mempersiapkan bahan yang akan diuji
2. Peletakan bahan yang akan diuji pada alat uji
3. Kalibrasi alat uji kekerasan
4. Melakukan pengukuran kekerasan
5. Membaca dan mencatat hasil pengujian bahan uji
6. Pelepasan spesimen bahan

Gambar Indentasi pada spesimen uji kekerasan *micro vickers* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Indentasi Micro Vickers

Pada Tabel 1 menjelaskan spesifikasi sifat mekanik pada baja pegas SUP dari masing-masing *grade* dan batas perlakuan panas yang dilakukan terhadap material baja pegas berdasarkan JIS G 4801-1984.

Tabel 1. Sifat Mekanik Baja Pegas (JIS G 4801)

Grade	Quench h (C°)	Temper r (C°)	Yield Strengt h (Mpa)	Tensile Strengt h (Mpa)	Hardnes s HB
SUP3	830-860	450-500	≥834	≥1079	341-401
SUP6	830-860	480-540	≥1070	≥1226	363-429
SUP7	830-860	480-540	≥1079	≥1226	363-429
SUP9	830-860	460-510	≥1079	≥1226	363-429
SUP9A	830-860	560-520	≥1079	≥1226	363-429
SUP10	840-870	470-640	≥1079	≥1226	363-429
SUP11 A	830-860	460-520	≥1079	≥1226	363-429
SUP12	830-860	510-570	≥1079	≥1226	363-429
SUP13	830-860	510-570	≥1079	≥1226	363-429

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan baja SUP9 dan SUP9A yang digunakan sebagai pegas daun. Metode yang digunakan adalah *Micro Vickers Hardness Test* dengan standar ASTM E384-17 menggunakan beban 245,2 mN (25 gf) dan waktu pembebanan (*dwell time*) selama 5 detik dan dihasilkan kekerasan dalam HV (*Hardness Vickers*). Pengujian dilakukan pada tiga titik berbeda untuk masing-masing sampel guna memperoleh nilai rata-rata yang representatif.

A. Data Hasil Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan *micro vickers*, pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan sebagai data perbandingan dari baja pegas daun SUP9 dan SUP9A. Data-data nilai kekerasan pada baja pegas daun dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

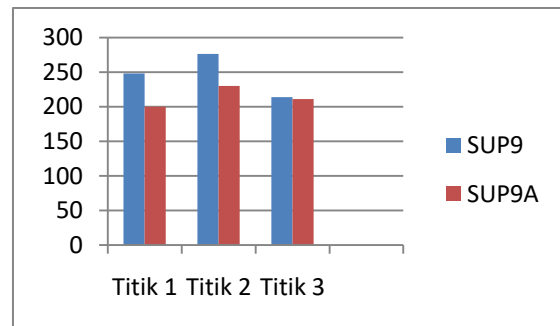
Tabel 2. Kekerasan Pegas Daun SUP9

Titik Uji	Nilai Kekerasan Vickers (HV)	Rata-rata Panjang Lekukan (μm)
Titik 1	248	13,69
Titik 2	276	12,51
Titik 3	214	14,51
Rata-rata	246	13,28

Tabel 3. Kekerasan Pegas Daun SUP9A

Titik Uji	Nilai Kekerasan Vickers (HV)	Rata-rata Panjang Lekukan (μm)
Titik 1	200	14,63
Titik 2	230	13,67
Titik 3	211	14,24
Rata-rata	214	14,18

Dari kedua hasil pengujian sampel tersebut dibandingkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 6 berikut :



Gambar 6. Grafik Perbandingan Kekerasan

B. Perbandingan dengan Standar JIS G 4801

Standar JIS G 4801 menetapkan bahwa nilai kekerasan untuk baja SUP9 maupun SUP9A setelah perlakuan panas (*quenching* dan *tempering*) berada pada rentang 363-429 HB. Konversi nilai kekerasan vickers ke brinell menggunakan konversi ASTM E140-97, didapatkan SUP9 yang memiliki kekerasan 246 HV sama dengan 234 HB dan SUP9A yang memiliki kekerasan 214 HV sama dengan 204 HB.

Berikut tabel perbandingan hasil uji kekerasan pada kedua material jika dibandingkan dengan standar produksi JIS G 4801 seperti pada tabel 4 berikut :

Tabel 4. Perbandingan Kekerasan

Material	Rata-rata Hardness Brinell (HV)	Hardness Brinell (HB)	Standar JISG 4801	Keterangan
SUP9	246	234	363-429	Tidak memenuhi standar
SUP9A	214	204	363-429	Tidak memenuhi standar

3.2 Pengamatan Struktur Mikro

Citra mikrostruktur diambil menggunakan mikroskop optik metalografi dengan perbesaran 100x setelah proses etsa dilakukan menggunakan larutan nital 3% selama beberapa detik untuk memperjelas butiran.

Analisis kuantitatif persentase fasa dilakukan menggunakan *software image analysis* imagej melalui proses *threshold* dan penghitungan luasan *pixels*. Hasil pengamatan memperlihatkan perbedaan signifikan antara kedua jenis baja tersebut, seperti dalam hal komposisi fasa dan kerapatan lamela perlit.

3.2.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

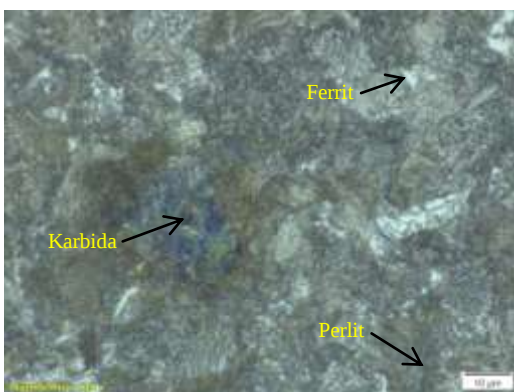
A. Baja Pegas SUP9



Gambar 7. Potret Struktur Mikro SUP9

Dalam citra mikrostruktur ini, perlit ditunjukkan sebagai lamellar gelap dan terang yang berlapis-lapis. Area abu-abu kehijauan dengan pola berlekuk-lekuk halus yang penulis simpulkan adalah perlit, kandungan perlit sangat tinggi sekitar 80%. Sedangkan ferrit muncul sebagai area yang lebih terang di antara perlit yaitu sekitar 15%. Dan martensit yang biasanya terbentuk dari proses pendinginan cepat (*quenching*) dan memiliki struktur jarum atau lamelar yang sangat halus dan terdistorsi. Dalam gambar ini tidak ada pola jarum martensit yang jelas terlihat. Jika ada, hanya dalam jumlah sangat kecil yaitu kurang dari 5%. Pada baja SUP9 perlit tersebar secara merata, menjadikan SUP9 lebih tahan terhadap deformasi plastis, namun cenderung memiliki keuletan lebih rendah dibanding SUP9A.

B. Baja Pegas SUP9A



Gambar 8. Potret Strktur Mikro SUP9A

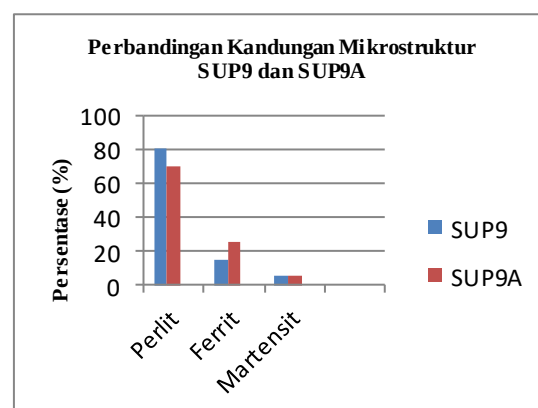
Dalam citra mikrostruktur ini, sebagian besar area menunjukkan pola lamellar atau berlekuk-lekuk yang konsisten dengan perlit. Area abu-abu gelap dengan tekstur garis-garis halus yang menyebar adalah perlit

sekitar 70%. Ferrit ditunjukkan area yang terlihat lebih terang dibandingkan perlit, kandungan ferrit sekitar 25%. Martensit terbentuk pada pendinginan cepat (*quenching*) dan memiliki struktur jarum atau lamelar yang sangat halus dan terdistorsi. Dalam gambar ini tidak ada pola jarum martensit yang jelas terlihat. Jika ada, hanya dalam jumlah sangat kecil yaitu kurang dari 5%. Terdapat karbida yang terinklusi didalamnya, biasanya muncul akibat proses perlakuan panas tetapi tidak tersebar secara merata. Karbida memiliki sifat sangat keras tetapi menurunkan ketangguhan. Kandungan ferrit yang lebih tinggi pada SUP9A memberikan sifat keuletan dan ketangguhan yang lebih baik, namun menurunkan kekerasan sehingga material lebih rentan terhadap deformasi permanen dan keausan permukaan.

3.2.2 Perbandingan Struktur Mikro Pegas Daun Hino (SUP9) dan Mitsubishi (SUP9A)

Kondisi bekas pakai menunjukkan bahwa material mengalami perubahan akibat beban siklik, tegangan kerja, dan paparan suhu selama masa penggunaan. Analisis kuantitatif menggunakan *software image analysis* imagej didapatkan SUP9 memiliki kandungan perlit 80%, ferrit 15%, dan martensit kurang dari 5%, sedangkan SUP9A memiliki perlit 70%, ferrit 25%, dan juga martensit kurang dari 5%.

Kedua material memiliki kandungan martensit yang rendah yaitu kurang dari 5% yang disebabkan oleh keterbatasan perbesaran yang hanya mencapai 100x sehingga membatasi penulis dalam menganalisis. Martensit terbentuk pada saat proses awal *quenching*, kedua material yang diuji mengalami pelunakan akibat *tempering effect* dari panas gesekan dan beban kerja jangka panjang. Fenomena ini menandakan bahwa kekuatan awal material sudah menurun seiring masa pakai, yang berimplikasi pada penurunan kemampuan menahan beban kejutan dan gaya lentur. Perbandingan fasa kedua material dapat dilihat pada grafik seperti Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Struktur Mikro

4. Kesimpulan

Kondisi bekas pakai menunjukkan bahwa material mengalami perubahan akibat beban siklik, tegangan

kerja, dan paparan suhu selama masa penggunaan. Analisis menggunakan *software image analysis* didapatkan SUP9 memiliki kandungan perlit 80%, ferrit 15%, dan martensit kurang dari 5%, sedangkan SUP9A memiliki perlit 70%, ferrit 25%, dan martensit kurang dari 5%.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap pegas daun SUP9 dan SUP9A melalui uji kekerasan metode *Micro Vickers* dan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan analisis citra mikrostruktur menggunakan *software image analysis* imagej, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Nilai kekerasan rata-rata untuk material SUP9 dan SUP9A yang diperoleh dari 3 titik pengujian menunjukkan angka kekerasan yang lebih rendah dibandingkan spesifikasi standar JIS G 4801 yang mensyaratkan kekerasan sekitar 363-429 HB (*Brinell Hardness*). Ketidaksesuaian ini mengindikasikan material ini sudah mengalami penurunan sifat mekanik yang disebabkan oleh umur pakai yang tinggi, kelelahan material atau bisa juga perlakuan panas yang tidak optimal. Meskipun terdapat variasi kekerasan antara titik uji, variasinya masih dalam batas wajar, menandakan keausan atau degradasi terjadi secara merata pada permukaan material. Tetapi kombinasi beban berulang dan kekerasan rendah meningkatkan risiko terjadinya retak dan patah akibat fatigue, terutama pada kendaraan angkut berat yang beroperasi di medan dengan beban dinamis tinggi.

Material SUP9 menunjukkan kandungan mikrostruktur dengan perlit sebesar 80%, ferrit 15%, dan martensit 5%. Kandungan perlit yang dominan pada SUP9 berkontribusi terhadap kekerasan yang lebih tinggi. Sedangkan material SUP9A memiliki perlit 70%, ferrit 25%, dan martensit 5%. Kandungan ferrit yang lebih tinggi pada SUP9A memberikan sifat keuletan lebih baik dibanding SUP9, tetapi terdapat karbida yang terinklusi pada baja SUP9A yang tidak tersebar secara merata yang bisa menjadi titik awal *crack* atau retak, karena karbida memiliki sifat sangat keras tetapi rapuh. Karbida yang tidak tersebar secara merata ini bisa disebabkan oleh faktor pemakaian akibat beban siklik sehingga material mengalami *fatigue* atau kelelahan material yang jika terus digunakan akan membahayakan keselamatan pengguna jalan.

Penelitian ini memberikan data mengenai degradasi sifat mekanik dan perubahan struktur mikro pada baja pegas SUP9 dan SUP9A setelah masa pakai panjang. Hasil ini dapat menjadi acuan teknis bagi industri otomotif dan bidang teknik material dalam menentukan strategi pemeliharaan, penggantian, atau *re-conditioning* seperti perlakuan panas ulang atau *carburizing*. Secara khusus penelitian ini menegaskan pentingnya inspeksi sebelum memutuskan

penggunaan ulang, sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan komponen di lapangan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Dian Nusantara yang telah membantu dalam fasilitas untuk menunjang kegiatan penelitian serta rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dalam menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Sialana, J., & Bunai, M., 2018. Analisa Sistem Suspensi Dan Kekuatan Pegas Daun (Leaf Spring) Pada Mobil Mitsubishi Fuso 125 Ps. *Jurnal Teknik Mesin*, 7 (1), pp. 19-31.
- [2] Krishnamurthy, K., Ravichandran, P., Naufal, A. S., Pradeep, R., HarishAdithiya, K. S., 2020. Modeling and structural analysis of leaf spring using composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 33, pp.4228-4232.
- [3] Praditya, A. N. P., Winarto, F. E. W., 2024. Optimasi Perencanaan Penggantian Pegas Daun pada Truk Hino FM 260 Jd di PT PP Presisi Tbk Proyek Tol Indrapura–Kisaran. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Alat Berat*, 1(1), pp.25-29..
- [4] Kurniawan, P., Andoko, A., Sunu, P. W., 2021. Leaf spring type simulation with finite element method approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034, 012015.
- [5] Hidayat, T., 2012. Analisa Kegagalan Pegas Daun (Leaf Spring) Pada Toyota Kijang Kapsul 7K-EI Tahun 2000. *Jurnal Simetris*, 1(1), pp.1-8.
- [6] Yamada, Y., Kuwabara, T., 2007. *Materials for springs*. Springer Science & Business Media.
- [7] Fragoudakis, R., Savaidis, G., Michailidis, N., 2017. Optimizing the development and manufacturing of 56SiCr7 leaf springs. *International Journal of Fatigue*, 103, pp.168-175.
- [8] Zulkarnaini, R., Hamdani, H., Saputra, E., 2023. Evaluasi Sifat Mekanik Baja Pegas Daun Mobil Isuzu Panther. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 7 (1), pp.14-18.
- [9] Adawiyah, R., Murdjani, M., Hendrawan, A., 2014. Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening. *Jurnal poros teknik*, 6 (2), pp.96-102.
- [10] Hariningsih, H., Riyadi, T. W. B., 2021. Effect of hardening and tempering on the microstructure and mechanical properties of the tapered-forged leaf spring steel. In *Materials Science Forum*, 1029, pp. 25-32.
- [11] E04 Committee. (2022). Test Method for Microindentation Hardness of Materials. *ASTM International*. doi, 10.
- [12] Omar, M. A., Shabana, A. A., Mikkola, A., Loh, W. Y., Basch, R., 2004. Multibody system modeling of leaf springs. *Journal of Vibration and Control*, 10 (11), pp.1601-1638..
- [13] Xu, T. X., Salamon, N. J., 1988. Leaf spring design: effects of friction and interleaf gaps. In *Spring National Design Engineering Show and Conference*, pp. 7-10.