

## ANALISA KEGAGALAN PEGAS ULIR PADA BOGIE TIPE NT 11 (K5) UNTUK GERBONG KERETA EKONOMI (K3)

**Bayu Janoko<sup>1</sup>, Triyono<sup>2</sup>, Eko Prasetya Budiana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

### **Keywords :**

*Failure analysis  
Coil spring  
Finite Element Method*

### **Abstract :**

*Fracture on the coil spring of bogie NT 11 (K5) of the economic passenger car (K3) is one of the causes railway accidents. The purpose of this study is to determine the cause of the failures and alternative solutions that can be done to reduce accidents.*

*Material of the coil spring is spring steel SUP 9. Physical characteristics were analyzed by the chemical composition investigation, macro-micro structure, SEM investigation, while the mechanical characteristics were analyzed by tensile shear stress test, compression shear stress test, impact test, and hardness test. Finite Element Method was used to determine the stress distributions at the coil springs.*

*Test results showed that cause of the failure in the coil springs were as follows: 1) the chemical composition such as 2.010 % Si, 1.090 % Cr, 0.073 % P were higher than the standard spring steels JIS SUP 9 so that to increase the hardness, while 0.035 % Cu was lower than standard spring steels JIS SUP 9 that causes corrosion. 2) gap of 10 mm made the spring was active so that the highest stress is in this area and that causes the cracks. The solution is 1) Si, Cr, Cu and P elements were to be adapted the standard JIS SUP 9. 2) make the gap of the coil springs with a die gap of 1 mm.*

## **PENDAHULUAN**

Sistem transportasi pada umumnya sangat mengutamakan kenyamanan dan keamanan dalam hal berkendara. Untuk menunjang hal tersebut dibutuhkan suatu sistem suspensi yang baik. Sistem suspensi berfungsi untuk meredam getaran, ayunan, dan guncangan yang diterima kendaraan pada saat melintasi jalanan yang bergelombang, berlubang dan tidak rata. Kondisi jalanan yang seperti ini sangatlah mengganggu kenyamanan dan bisa menyebabkan kecelakaan bagi si pengendara. Sistem suspensi ini terdiri dari komponen pegas dan komponen redaman yang terletak diantara bodi dengan roda.

Pegas merupakan suatu komponen yang mempunyai fungsi untuk meredam dan mengurangi getaran dan kejutan yang diakibatkan oleh kondisi lintasan yang bergelombang, berlubang dan tidak rata agar tidak tersalur ke rangka kendaraan. Pegas pada sistem suspensi mempunyai beberapa tipe yang umum dipakai adalah pegas ulir (*coil spring*), pegas daun (*leaf spring*), dan pegas puntir (*torsion bar spring*). Pegas ulir tekan merupakan salah satu jenis pegas ulir (*coil spring*) yang biasa dipakai di kendaraan roda dua, gerbong kereta api, dan mobil karena mempunyai daya serap yang bagus, konstruksinya yang sederhana, dan mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik. Pegas daun (*leaf spring*) merupakan jenis pegas yang di desain sangat kokoh sehingga cocok untuk kendaraan besar dan berat seperti truk dengan tingkat kenyamanan yang kurang baik. Pegas puntir (*torsion bar spring*)

merupakan jenis pegas yang bekerja dengan menahan gaya puntir pada saat *lower arm* naik turun dan mempunyai konstruksi yang sederhana sehingga cocok untuk kendaraan dengan daya angkut yang ringan.

Di Indonesia, kereta api merupakan salah satu jenis transportasi yang mempunyai daya angkut dalam jumlah yang banyak. Kereta api terdiri dari satu lokomotif sebagai mesin penarik dan beberapa gerbong sebagai pengangkut penumpang atau barang. Pada gerbong terdapat bogie yang terletak di bawah gerbong berfungsi untuk meningkatkan kapasitas muatan, meningkatkan kecepatan, memudahkan melewati tikungan dan meningkatkan kenyamanan dan keamanan. Sistem suspensi merupakan komponen yang digunakan untuk meningkatkan fungsi bogie.

Sistem suspensi pada bogie kereta api bentuk dan susunannya bermacam-macam tergantung dengan jenis bogienya. Sebagai contoh bogie jenis K5 merupakan bogie kereta api dengan sistem suspensi yang terdiri dari tiga jenis pegas yaitu pegas pendukung, pegas ayun dalam, dan pegas ayun luar. Apabila secara tiba-tiba pegas mengalami kegagalan, maka akan menimbulkan terjadinya kecelakaan atau anjloknya gerbong dari lintasan rel (Abdillah, 2010). Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) mencatat sejak tahun 2007 hingga 2010, dari 42 kecelakaan kereta api, 25 diantaranya disebabkan kereta anjlok karena kondisi rel yang sudah tua (KNKT, 2010). Pada saat ini kondisi yang dihadapi

oleh PT. KAI adalah seringnya terjadi kecelakaan atau anjloknya gerbong dari lintasan rel yang salah satunya disebabkan oleh *break down* atau *unsceduled down time* khususnya pada pegas ulir (Abdillah, 2010). Sebagai contoh : pada tanggal 12 Juni 1993 terjadi kerusakan pegas ulir bogie luar yaitu patah daerah lilitan. Nomor gerbongnya adalah SLO-K2 78715 yaitu jenis gerbong kereta penumpang jurusan Solo, kelas 2 dengan tipe bogie 7 dan mulai dinas pada tahun 1978 serta nomor seri kereta adalah 1. Terjadinya kerusakan pegas ulir luar ini karena patah lelah yang diakibatkan oleh tegangan yang bekerja pada pegas ulir luar ini melebihi batas (Aquan, 1994).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kegagalan komponen pegas ulir luar pada bogie kereta api tipe NT 11 (K5). Analisa kegagalan ini diharapkan bisa mengembangkan dan menemukan penyebab kegagalan dan alternatif solusi yang bisa dilakukan. Alternatif solusi tersebut hendaknya bisa mengurangi rusaknya pegas ulir ini sehingga bisa mengurangi terjadinya kecelakaan kereta api.

**METODE PENELITIAN**

**Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta, di Laboratorium Polman Ceper yang beralamat di Dusun Batur, Desa Tegalrejo Kecamatan Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah, dan di Laboratorium LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Pusat Penelitian Metallurgi gedung 470 yang beralamat di Komplek Puspipetek Serpong 15314 Tangerang, Banten.

**Alat dan Bahan**

Alat yang dipergunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mesin gerinda
2. Sarung tangan
3. Amplas
4. Mistar
5. UTM (*Universal Test Machine*)
6. Mikroskop makro dan mikro
7. Alat uji keras (mesin *Rockwell*)
8. Alat uji komposisi kimia (*spectrometer*)
9. Alat uji *impact*
10. Alat uji foto SEM

Bahan yang dipergunakan untuk penelitian adalah baja pegas JIS SUP 9. Komposisi kimia bahan ditunjukkan tabel 1.

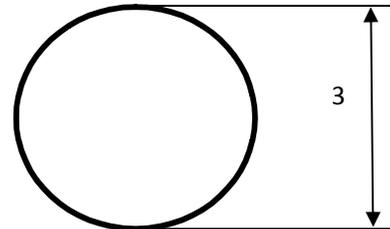
Tabel 1. Komposisi kimia baja pegas JIS SUP 9

Material	JIS SUP 9
%C	0,52 – 0,60
%Mn	0,65 – 0,95
%P	0,035
%S	0,035
%Si	0,15 – 0,35

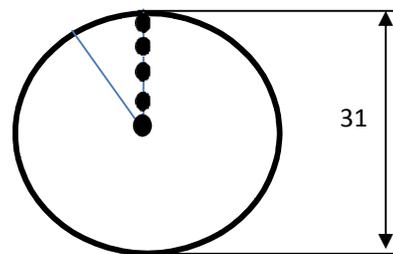
**Prosedur Penelitian**

**Persiapan spesimen**

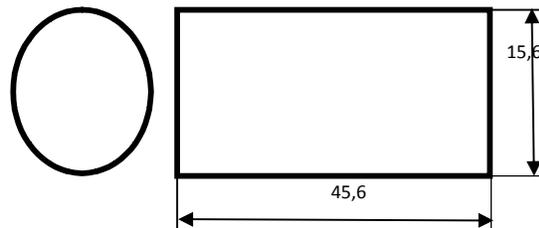
Membuat spesimen uji komposisi kimia, spesimen uji foto makro-mikro, spesimen uji SEM, spesimen uji impak, spesimen uji tarik, dan spesimen uji tekan.



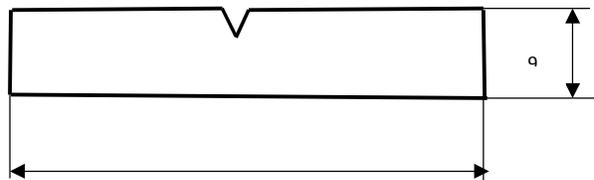
Gambar 1. Bentuk spesimen uji komposisi kimia



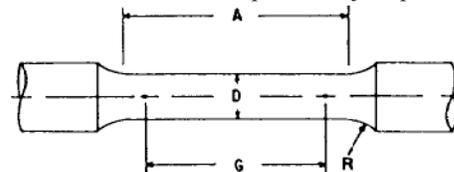
Gambar 2. Bentuk spesimen uji kekerasan



Gambar 3. Bentuk spesimen uji tekan



Gambar 4. Bentuk spesimen uji impak



Gambar 5. Bentuk spesimen uji tarik

Tabel 2 standart uji tarik ASTM A.370

G - panjang area tarik (mm)	2,5
D - diameter tarik (mm)	10
R - Radius fillet (mm)	2,5
A - panjang area reduksi (mm)	16

**Tahapan Pengujian**

Pengujian spesimen dilakukan dengan standar SNI, JIS SUP 9, dan ASTM A370 meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut ;

- a. Melakukan uji karakteristik fisik melalui uji komposisi kimia, pengamatan struktur makromikro dengan mikroskop optik dan pengamatan dengan menggunakan SEM.
- b. Melakukan uji karakteristik mekanik, meliputi :
  - Uji kekerasan dengan menggunakan metode mesin *Rockwell*.
  - Uji impact
  - Uji tarik-geser menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*).
  - Uji tekan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Komposisi kimia**

Tabel 3. Hasil uji Komposisi kimia baja pegas JIS SUP 9

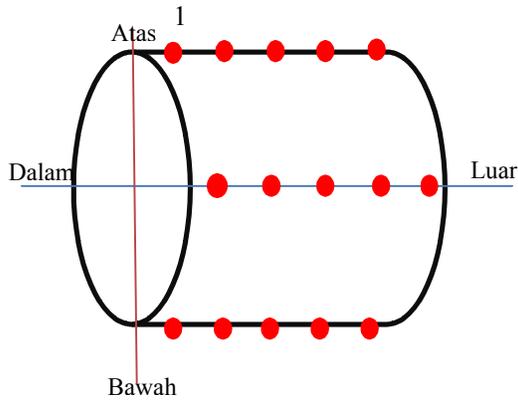
Unsur	Komposisi kimia standart (%)	Hasil Uji Spektrometer (%)
C	0,52-0,60	0,588
Si	0,15-0,35	2,010
Mn	0,65-0,95	0,669
P	0,035	0,073
S	0,035	0,035
Cr	0,65-0,95	1,090
Mo	0,1-0,5	0,005
Cu	0,1-0,5	0,057
Fe		95,47

Hasil pengujian komposisi kimia dapat dinyatakan bahwa material pegas ulir seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 4.1 yakni telah sesuai dengan standar JIS SUP 9 seperti unsur C, Mn, dan S. Unsur seperti Si, P, Cr, Mo, dan Cu tidak memenuhi standar JIS SUP 9. Baja pegas sebenarnya tidak mempunyai kekerasan yang tinggi sebagai sifat utamanya. Sifat utama dari baja pegas yang dipakai adalah elastisitasnya (Tata Surdia, 2000). Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Carbon* (C) 0,52%-0,60%, dimana dari hasil uji spektrometer kandungan *Carbon* (C) adalah sebesar 0,588% yang telah masuk sesuai standar dan dapat digolongkan sebagai baja karbon menengah. Unsur *Mangan* (Mn) pada baja pegas berfungsi untuk meningkatkan keuletan. Sesuai standar JIS SUP 9

kandungan *Mangan* (Mn) pada baja pegas 0,65%-0,95%, sedangkan hasil dari uji spektrometer adalah 0,669% telah sesuai standar. Unsur *Sulfur* (S) pada baja pegas berfungsi untuk membentuk inklusi dan tingginya kadar unsur tersebut bisa menurunkan keliatan (*ductility*) baja dan meningkatkan kemungkinan retak. Hasil uji spektrometer telah sesuai dengan standar JIS SUP 9 yakni sebesar 0,035%. Unsur *Silikon* (Si) pada baja pegas berfungsi untuk meningkatkan sifat mampu keras. *Silikon* (Si) yang berlebihan akan menyebabkan baja pegas mudah retak. Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Silikon* (Si) 0,15%-0,35%, dimana dari hasil uji spektrometer kandungan *Silikon* (Si) 2,010%. Kandungan *Silikon* (Si) pada baja pegas sangat melebihi standar JIS SUP 9 sehingga mampu keras pada baja pegas meningkat dan menimbulkan baja pegas mudah retak. Unsur *Posfor* (P) berfungsi untuk menurunkan keuletan. Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Posfor* (P) 0,035%, dimana dari hasil uji spektrometer 0,073% sehingga termasuk kelebihan *Pospor* (P) yang menyebabkan sifat mampu keras dari baja pegas naik hingga dapat menimbulkan nilai kekerasan yang tinggi pada baja pegas. Unsur *Crhom* (Cr) berfungsi untuk meningkatkan mampu keras. Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Crhom* (C) 0,65%-0,95%, dimana dari hasil uji spektrometer 1,090 % sehingga dianggap kelebihan *Crhom* (Cr). Kelebihan kandungan *Crhom* (Cr) dapat menyebabkan meningkatnya sifat mampu keras dan menimbulkan nilai kekerasan yang tinggi pada baja pegas. Unsur *Molybdenum* (Mo) berfungsi untuk menurunkan keuletan. Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Molybdenum* (Mo) 0,1%-0,5%, dimana dari hasil uji spektrometer 0,005% sehingga termasuk kekurangan *Molybdenum* (Mo) yang menyebabkan sifat mampu keras dari baja pegas turun dan keliatannya juga menurun karena kandungannya yang terlalu sedikit tidak masuk standar. Unsur *Cupprum* (Cu) berfungsi untuk memperbaiki ketahanan korosi. Baja pegas sesuai standar JIS SUP 9 memiliki kandungan *Cupprum* (Cu) 0,1%-0,5%, dimana dari hasil uji spektrometer 0,057% sehingga termasuk sangat kekurangan *Cupprum* (Cu) yang menyebabkan ketahanan korosi baja pegas menurun sehingga baja pegas tersebut mudah terkorosi.

**Uji Kekerasan**

Uji kekerasan ini mengacu pada metode uji SNI 19.0407.1998. Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan mesin uji keras *Rockwell* skala C dengan indenter jenis kerucut intan 120<sup>0</sup> dengan pembebanan 150 Kgf serta waktu penahanan 10 detik.



Gambar 6. Distribusi kekerasan arah melintang  
 Tabel 4 Nilai kekerasan pegas arah melintang

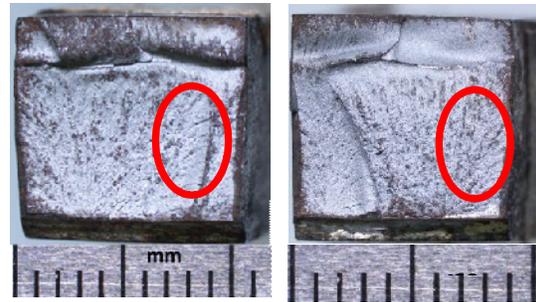
	Kekerasan (HRC)					
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata-rata
Atas	59	57,5	58,5	57,5	57,5	58
Bawah	53	54,5	53,5	55	54	54
Dalam	56	57	59	58,5	59	57,9
Luar	53	53,5	54,5	52	52,5	53,1

Gambar 6 merupakan skema titik-titik uji kekerasan arah melintang pada pegas ulir luar bogie kereta api. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan terhadap spesimen pegas ulir dimana nilai kekerasan permukaan pegas rata-rata adalah 58 HRC di bagian atas pegas, 54 HRC di bagian bawah pegas, 57,9 HRC di bagian dalam lilitan pegas dan 53,1 HRC di bagian luar lilitan pegas. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4 hasil tersebut lebih tinggi dari nilai kekerasan standar JIS SUP 9 yakni 35-45 HRC. Nilai kekerasan yang terlalu besar menyebabkan fungsi elastisitas pegas cenderung berkurang dan ketika mendapat pembebanan maksimum pegas akan mudah mengalami keretakan (Abdillah, 2010).

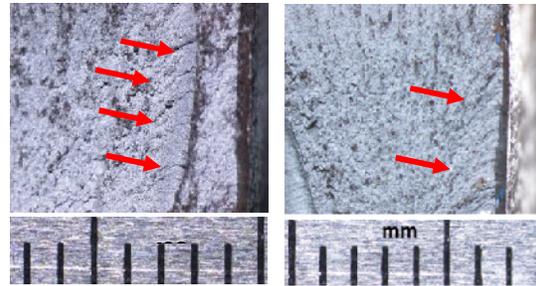
**Uji impact**

Tabel 5. Hasil uji impact

Panjang sampel uji sebelum patah (mm)	55,00
Lebar sampel sebelum patah (mm)	9,75
Tebal sampel setelah patah (mm)	9,00
Luas sampel setelah patah (mm <sup>2</sup> )	87,75
Energi yang terbaca (Joule)	27,00
Nilai Impact (J/mm <sup>2</sup> )	0,31



(a) (b)



(c) (d)

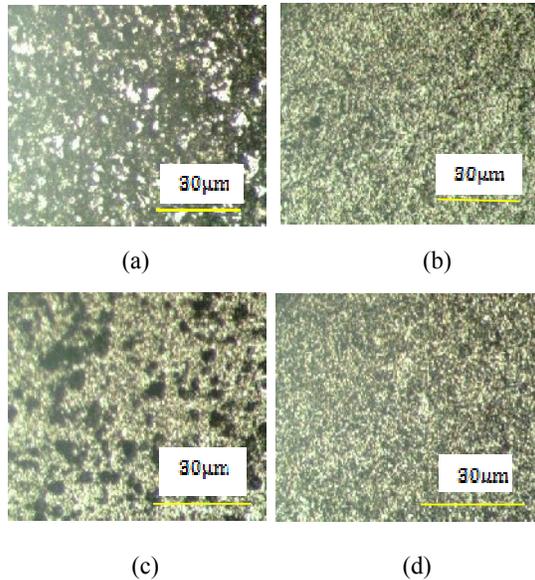
Gambar 7. Bentuk patahan uji impact (a) patahan sisi kiri, (b) perbesaran patahan sisi kiri yang dilingkari, (c) patahan sisi kanan, (d) perbesaran patahan sisi kanan yang dilingkari

Uji impact ini mengacu pada metode uji SNI 07-0411-1989. Prinsip pengujian impact ini adalah menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Beban memiliki energi potensial maksimum ketika dinaikkan pada ketinggian tertentu, kemudian pada saat akan menumbuk spesimen energi kinetiknya mencapai titik maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. Tabel 5 menunjukkan energi yang terbaca adalah 27 Joule merupakan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen. Nilai harga impact pada suatu spesimen adalah energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji yakni sebesar 0,31 J/mm<sup>2</sup>.

Gambar 7 menunjukkan hasil foto makro dari patahan spesimen uji impact. Gambar (a) patahan sisi kiri menunjukkan bentuk patahan dengan permukaan yang cekung dan gambar (b) patahan sisi kanan menunjukkan bentuk patahan dengan permukaan cembung. Hal ini disebabkan karena ikatan butir patahan pada sisi kanan lebih kuat dibandingkan sisi kiri sehingga arah rambatan retaknya sedikit menikung ke sisi kiri sehingga terbentuk cekungan. Warna dari patahannya pun kusam dan ada serat halus seperti alur retakan-retakan kecil seperti yang ditunjukkan oleh anak panah berwarna merah. Kedua potongan patahan tersebut apabila dipasangkan tidak bisa terpasang dengan baik karena terjadi deformasi pada permukaan sebelum patah. Energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen adalah 27

Joule yakni energi yang cukup besar sesuai standar JIS SUP 9. Berdasarkan ciri-cirinya maka tipe patahan tersebut adalah tipe patahan ulet.

**Struktur Mikro**



Gambar 8. Struktur mikro pegas (a) bagian atas, (b) bagian bawah, (c) bagian dalam, (d) bagian luar.

Gambar 8 (a) menunjukkan bagian atas pegas ulir kereta api. Struktur mikro tersebut berbentuk ferit dan perlit. Perlit berbentuk butiran besar yang berjumlah lebih banyak daripada butiran ferit. Banyaknya jumlah perlit menunjukkan jika di penampang bagian atas sifat mampu kerasnya tinggi. Sifat mampu kerasnya yang tinggi diperkuat dengan hasil uji kekerasan dengan nilai kekerasan 58,7 HRC. Banyaknya perlit pada struktur mikro tersebut memiliki kecenderungan rendahnya elastisitas pegas akibat nilai kekerasan yang tinggi. Akibat nilai kekerasan tinggi, awal retak dimulai pada daerah ini.

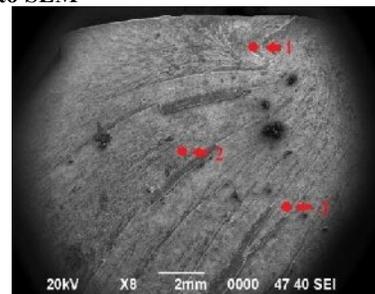
Gambar 8 (b) menunjukkan struktur mikro pada penampang bagian bawah pegas ulir kereta api. Struktur mikro yang ditunjukkan ferit lebih mendominasi daripada perlit. Feritnya lebih menyebar secara merata pada bagian bawah penampang pegas. Bentuk butiran ferit maupun perlitnya lebih kecil dan lebih halus daripada bagian atas penampang pegas ulir kereta api. Bentuk susunan struktur mikro seperti itu berpengaruh kepada sifat mekanik pegas bagian bawah yakni memiliki kecenderungan lebih lunak apabila dibandingkan dengan struktur mikro pada bagian atas penampang pegas ulir kereta api. Sifat mampu kerasnya yang lebih rendah apabila dibandingkan pada bagian atas ini diperkuat oleh nilai kekerasannya yakni 51,2 HRC. Nilai kekerasan yang lebih rendah ini berkebalikan dengan sifat ketelitiannya yang lebih tinggi dari pada penampang bagian atas pegas ulir kereta. Nilai ketelitian yang

lebih tinggi tersebut memiliki kecenderungan sifat elastisitasnya yang lebih baik daripada penampang bagian atas pegas ulir kereta api.

Gambar 8 (c) menunjukkan struktur mikro pada penampang bagian dalam pegas ulir kereta api. Perlit berbentuk butiran besar dan ferit berbentuk butiran yang lebih kecil. Feritnya terlihat lebih mendominasi daripada perlit meskipun ukuran butirnya lebih kecil. Perlit dengan ukuran butir yang besar ini menunjukkan sifat mampu keras pada penampang bagian dalam ini sangat baik yakni 57,9 HRC. Sifat mampu keras pada penampang bagian dalam ini masih lebih kecil dibandingkan pada penampang bagian atas karena jumlah perlit penampang bagian dalam lebih sedikit. Sifat mampu keras pada penampang bagian dalam ini masih jauh lebih besar dibandingkan dengan sifat mampu keras pada penampang bagian bawah. Ukuran perlit pada penampang bagian dalam lebih besar dan lebih banyak daripada penampang bagian bawah yang menyebabkan kekerasan pada bagian dalam ini lebih tinggi.

Gambar 8 (d) menunjukkan struktur mikro pada penampang pegas bagian luar pegas ulir kereta api. bentuk perlit dan feritnya saling mendominasi dengan ukuran butir yang halus. Menyebarnya perlit yang halus tersebut menunjukkan sifat mampu kerasnya yang hampir setara dengan penampang bagian bawah yakni 51,2 HRC. Struktur mikro penampang bagian luar ini mempunyai kemiripan dengan struktur mikro penampang bagian bawah sehingga nilai kekerasannya pun juga hampir mirip. Daerah ini ukuran perlitnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan penampang pegas bagian dalam dan bagian atas. Ukuran perlit yang lebih kecil tersebut menunjukkan nilai kekerasan pada penampang pegas bagian luar ini lebih kecil dibandingkan dengan penampang pegas bagian atas dan bagian dalam.

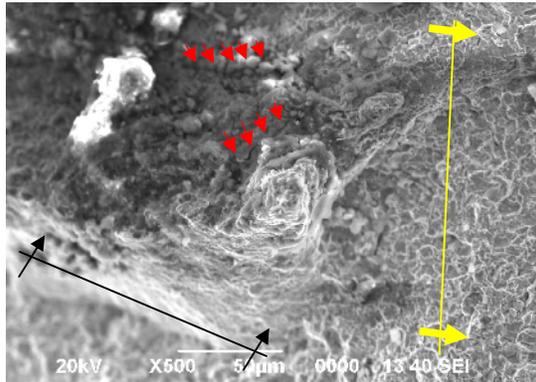
**Foto SEM**



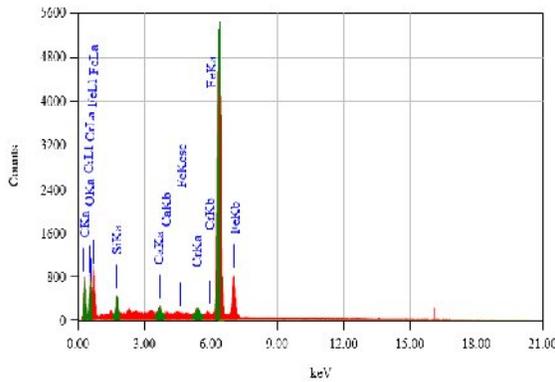
Gambar 9 foto SEM dengan perbesaran 8x

Gambar 9 menunjukkan permukaan patahan pegas ulir kereta api dengan menggunakan foto SEM. Patahan dimulai dari titik 1 sebagai awal retak (*crack initiation*) kemudian dilanjutkan dengan titik 2 dan titik 3 sebagai arah rambatan retak (*crack propagation*) serta titik 4 sebagai patahan tahap akhir (*final fracture*) sehingga patahan ini disebut patah lelah (*crack fatigue*). Patah lelah ini terjadi akibat

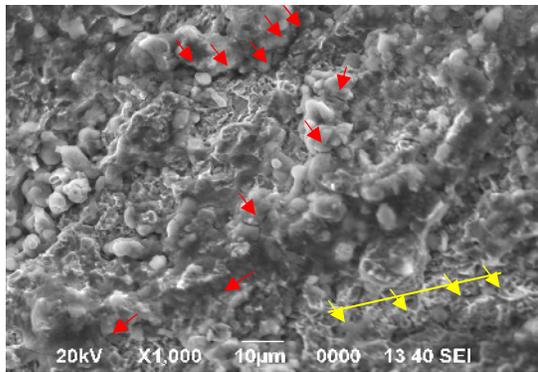
pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, meskipun harga tegangan nominalnya masih berada dibawah kekuatan luluh material.



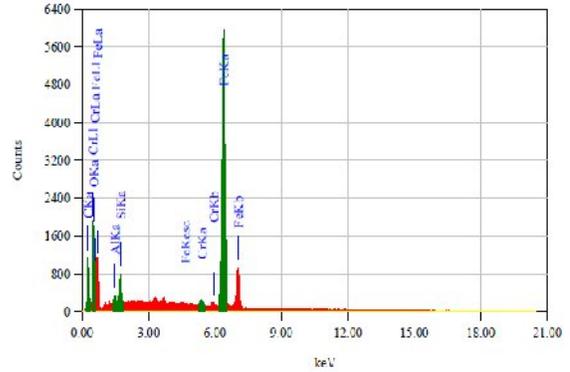
Gambar 10 Foto SEM daerah awal retak (*crack initiation*)



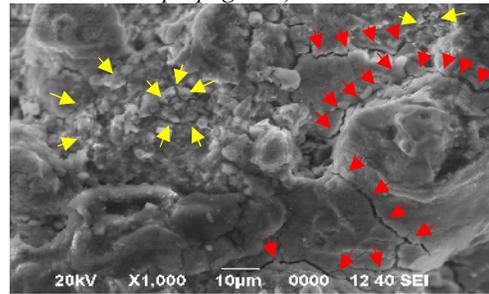
Gambar 11 EDS daerah awal retak (*crack inisiation*)



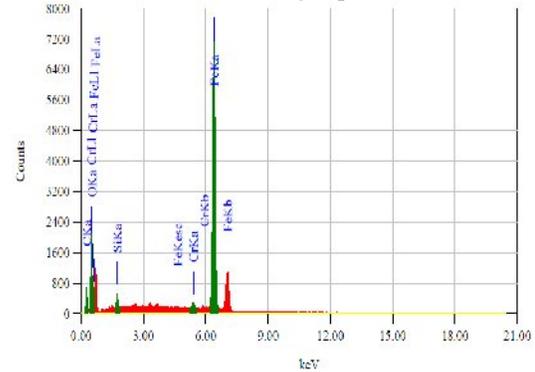
Gambar 12. Foto SEM daerah rambatan retak (*crack propagation*)



Gambar 13 EDS daerah rambatan retak (*crack propagation*)



Gambar 14 foto SEM dengan perbesaran 8x



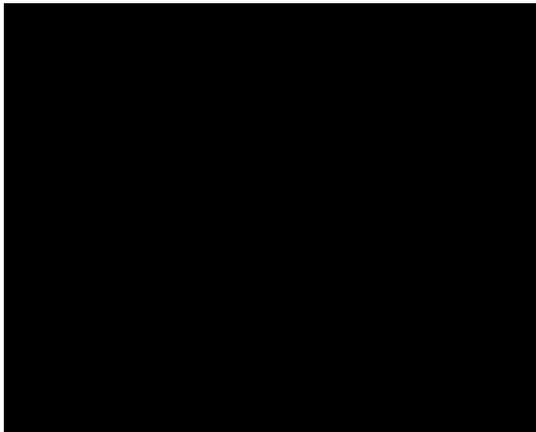
Gambar 15 EDS daerah rambatan retak (*crack propagation*)

Gambar 10 merupakan daerah awal retak (*crack initiation*). Awal retakan tersebut menunjukkan daerah tersebut merupakan daerah kritis awal terjadinya keretakan. Daerah ini merupakan daerah dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan sisi lainnya. Struktur mikro pada daerah ini juga didominasi oleh perlit sehingga kekerasan pada daerah ini lebih tinggi. Anak panah berwarna merah pada gambar menunjukkan tipe patahan *transgrannular* sedangkan garis kuning menunjukkan patahan *intergrannular*. Garis warna hitam menunjukkan daerah dimana bentuk permukaan patahan akibat gaya geser yang diterima dan garis warna kuning juga menunjukkan daerah dimana permukaan patahan akibat gaya tarik. Daerah awal retak ini menunjukkan terjadinya tipe patahan campuran yakni tipe patahan *transgrannular* dan tipe patahan *intergrannular* serta menunjukkan

permukaan patahan yang diakibatkan oleh pembebanan gaya geser dan pembebanan gaya tarik.

Gambar 12 dan 14 merupakan daerah alur rambatan retak (*crack propagation*) pada titik 2 dan 3. Alur rambatan retak ini merupakan kelanjutan dari titik 1 pada tahapan terjadinya patah *fatigue*. Anak panah berwarna merah menunjukkan terjadinya patahan *transgranular* dan anak panah berwarna kuning menunjukkan terjadinya patahan *intergranular*. *Micro crack* juga ditunjukkan pada anak panah tunggal berwarna merah. Pada daerah rambatan ini banyak terdapat *micro crack* yang diakibatkan dari penjalaran intrusi dan ekstrusi dari pembebanan yang diterima pegas ulir.

**Uji Tekan**



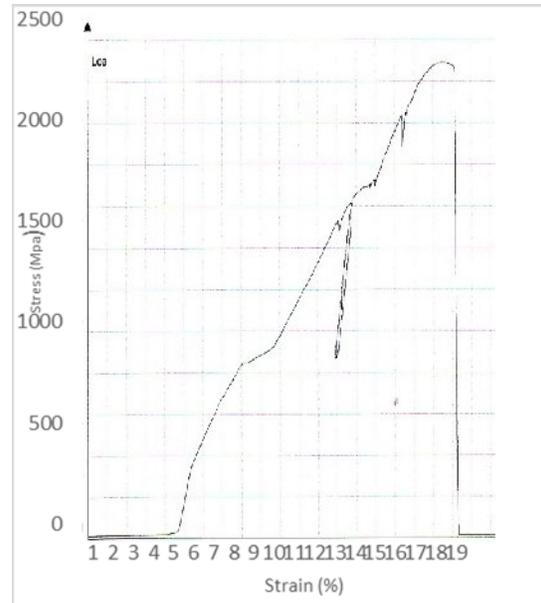
Gambar 16 grafik uji tekan

Gambar 16 menunjukkan kekuatan tekan pegas ulir luar boggie kereta api yaitu untuk *compressive strength* 2920 Mpa dan *compressive yield strength* 2300 Mpa. Kekuatan tekan pegas ulir ini telah sesuai dengan kekuatan tekan sesuai standar JIS SUP 9. Baja pegas menurut standar JIS SUP 9 mempunyai *ultimate compressive strength* 1225 Mpa dan *compressive yield strength* 1080 Mpa. Bahan pegas ulir luar boggie kereta api berdasarkan hasil uji tekan memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dari standar JIS SUP 9 yang berarti bahan tersebut sangat layak dipakai dalam pembuatan pegas ulir boggie kereta api.

**Uji Tarik**

Gambar 17 menunjukkan grafik uji tarik spesimen 1. Grafik tersebut digunakan untuk mengetahui *ultimate tensile strength* sebesar 2280 Mpa, *yield strength* sebesar 1700 Mpa, dan *break strength* 2200 Mpa. Gambar 16 menunjukkan nilai *ultimate tensile strength* dan nilai *break strength* mempunyai selisih nilai, ini berarti telah terjadinya deformasi plastis sehingga material ini termasuk tipe ulet. Spesimen mengalami perpanjangan sebesar 3,8 mm sehingga didapatkan *elongation* sebesar 19 %. Spesimen dengan *elongation* lebih dari 5% merupakan material dengan tipe ulet. Material pegas

ulir boggie kereta api merupakan material dengan tipe campuran getas dan ulet. Nilai tegangan tarik spesimen uji tarik masih sesuai standar JIS SUP 9 yang mempunyai *ultimate tensile strength* 1225 Mpa dan *yield strength* 1080 Mpa sehingga bahan baja pegas boggie kereta api tersebut layak digunakan.



Gambar 17 grafik uji tarik

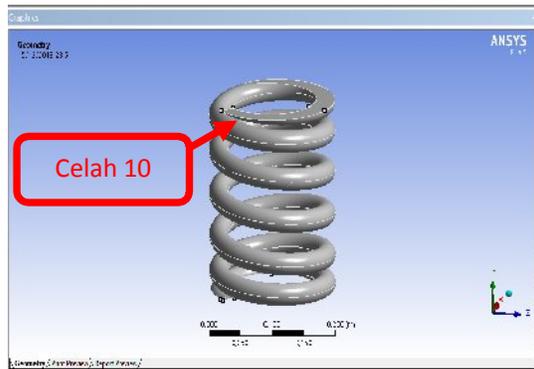
**Model dan Analisa pada Pegas Ulir Luar Boggie Kereta Api**

Pegas ulir dimodelkan dengan menggunakan *software solidwork* 11. Model pegas ulir di *import* ke *software ANSYS* 14.5. Sistem analisa yang digunakan adalah *static structural* (ANSYS). Tabel 4.7 menunjukkan properti dari pegas ulir boggie kereta api yang digunakan untuk input data di *engineering data*. Proses selanjutnya adalah memodelkan pegas tersebut pada kolom *geometri* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.20.

Tabel 6 properti pegas ulir

Nama:	JIS SUP 9
Tipe model:	Linear Elastic Isotropic
Kriteria analisa kegagalan:	Max von Mises Stress
Yield strength:	1.70e+008 N/m <sup>2</sup>
Tensile strength:	2.82e+008 N/m <sup>2</sup>
Compressive strength:	2.92e+008 N/m <sup>2</sup>
Modulus elastisitas:	2e+009 N/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio:	0.34
Densitas:	1020 kg/m <sup>3</sup>
Modulus geser:	8e+009 N/m <sup>2</sup>

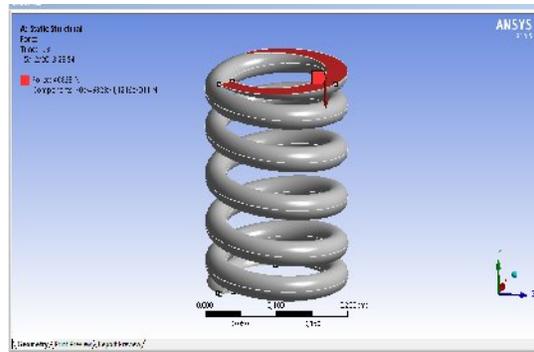
**Celah 10 mm**



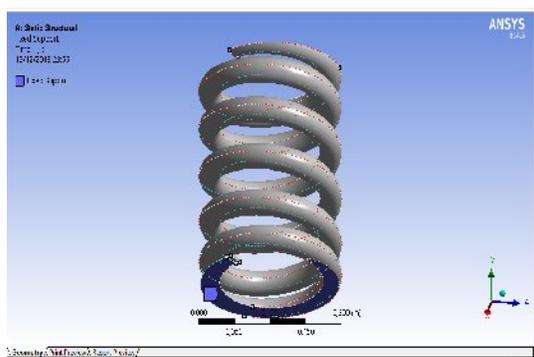
Gambar 18 geometri pegas



Gambar 19 meshing pegas ulir tekan

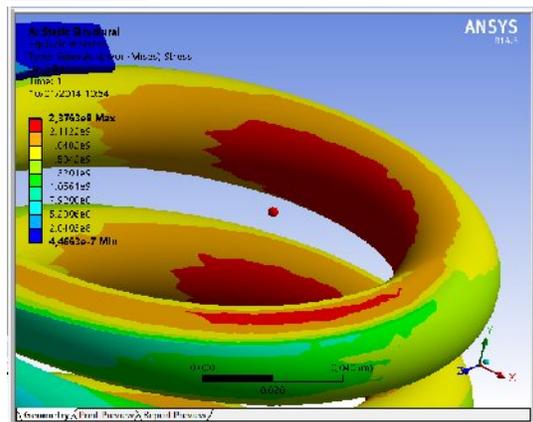


Gambar 20 pembebanan dengan gaya (F)



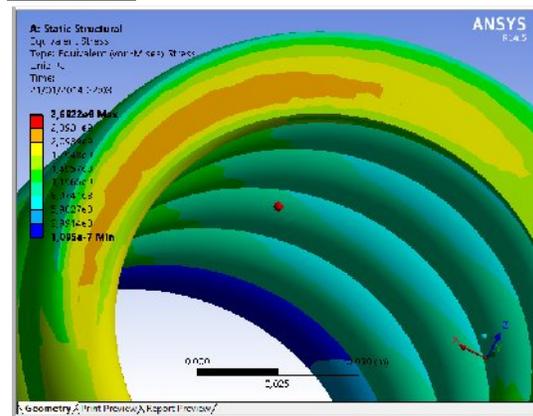
Gambar 21 tumpuan fixed geometri

**Stress Distribution  
 Celah 10 mm**



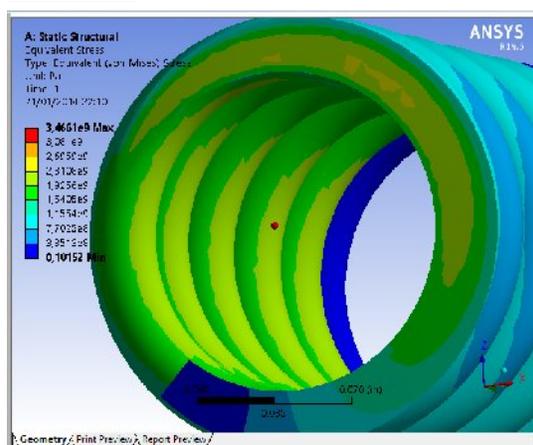
Gambar 22 distribusi tegangan pegas ulir tekan dengan celah 10 mm

**Celah 6 mm**



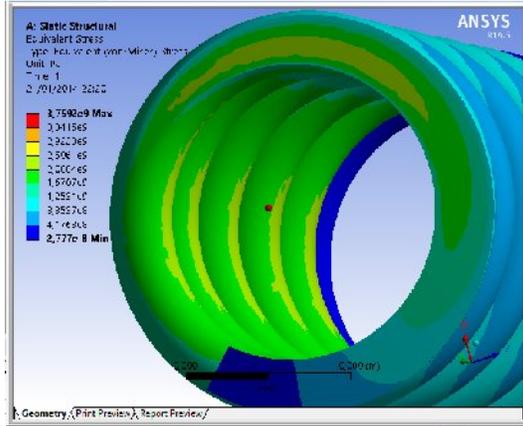
Gambar 23 distribusi tegangan pegas ulir tekan dengan celah 6 mm

**Celah 4 mm**



Gambar 24 distribusi tegangan pegas ulir tekan dengan celah 4 mm

**Celah 1mm**



Gambar 25 distribusi tegangan pegas ulir tekan dengan celah 1 mm

Gambar 21 sampai 24 menunjukkan tegangan pada pegas ulir dengan celah 10 mm, 6 mm, 4 mm, dan 1 mm. Perbedaan celah tersebut menunjukkan perbedaan tegangan maksimal yakni 2.376,3 Mpa, 2.692,2 Mpa, 3.466,1 Mpa, dan 3.759,2 Mpa. Pegas dengan celah 10 mm membuat ujung pegas menjadi aktif sehingga tegangan kritis ditunjukkan dengan warna merah membuat pegas rawan mengalami patah pada daerah ini. Pegas dengan celah 6 mm, 4 mm, dan 1 mm tidak terlihat warna merah dan semakin kecil celahnya maka pegas menjadi mati pada bagian ini sehingga lebih aman dari pada pegas dengan celah 10 mm. Desain pegas dengan celah 1 mm cocok digunakan karena mampu menahan tegangan paling tinggi sebesar 3.759,2 Mpa dari pada celah 10 mm, 6 mm, dan 4 mm.

**KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisa data penelitian tentang analisa kegagalan pegas ulir pada bogie tipe NT 11 (K5) untuk gerbong kereta ekonomiadalah sebagai berikut :

1. Komposisi kimia penyusun material pegas ulir seperti Si, P, Mo, Cu dan Cr yang tidak sesuai standar JIS SUP 9 menyebabkan sifat mampu keras pegas meningkat dan mudah terjadinya korosi yang menimbulkan mikro crack menjadi transgrannular crack dan intergrannular crack.
2. Kekerasan material pegas 55 HRC melebihi standar JIS SUP 9 yakni 35-45 HRC sehingga menyebabkan material pegas keras namun getas.
3. Celah sebesar 10 mm antara lilitan paling ujung atas dengan lilitan dibawahnya menyebabkan pegas menjadi aktif sehingga tegangan tertinggi berada dibagian ini yang menyebabkan area retakan berada di daerah ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abdillah, F. 2010. *Analysis Kegagalan Komponen Pegas Ulir Luar K5 Pada Bogie Kereta Api*. IKIP Vetran, Semarang.

Akuan, A. 1994. *Investigasi Kerusakan Pegas Ulir Bogie Kereta Api*. Universitas Jendral Ahmad Yani, Bandung.

ASTM A 370. *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*.

Dakhore, M. 2013. *Failure Analysis of Locomotive Suspension Coil Spring Using Finite Element Analysis*. Nagpure, India.

Darmawan, A. 2007. *Proses Normalizing dan Tempering Pada SCMnCr<sub>2</sub> Untuk Memenuhi Standar Jis G 5111*.

Hayakawa, M. 2002. *Microstructur Analyses Of Grain Boudary Carbides Of Tempered Martensite In Medium Carbon Steel By Atomic Force Microscope*. International Institute For Material Science Japan.

Hendrowati, W. 2001. *Pemakaian Formulasi Pegas Heliks dengan Menggunakan Teori Batang Lengkung Timoshenko untuk Memprediksi Umur Pegas*. Laboratorium Mekanika Benda Padat, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

KNKT, 2012. *Laporan Hasil Investigasi Kecelakaan Kereta Api Anjlokan KA 60 Cirebon Ekspres*. Gedung Kementerian Perhubungan Lt 3, Jalan Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta 10110, Indonesia.

Pytell, B. 2012. *Investigation Of Probable Failure Position In Helical Compression Spring Used In Fuel Injection Sistem Of Diesel Engines*. State Material Testing Department, Technical University Darm Stadt, Germany.

Roy, H. 2008. *Failure Analysis Of Aspring For Fuel Pump Bracket Assembly*. NDT And Metallurgy Division, Central Mechanical Engineering Research Institut, Durgapur 713 209, India.

Sugeng, M. 2013. *Peningkatan Mutu Baja Pegas Dengan Metode Proses Heat Treatment*. Universitas Pembangunan Nasional

Valsange, P.S., 2012. *Design Of Helical Coil Spring*, International Journal of Engineering Research and Application