

PATAHNYA PEGAS ULIR KERETA API AKIBAT KELEBIHAN BEBAN

THE BREAKING OF TRAIN SPRING COIL CAUSED BY OVERWEIGHT

M. N. Setia Nusa

Peneliti Bidang Kajian Material
Balai Besar Teknologi Kekuatan dan Struktur – BPP Teknologi
e-mail: naswir.setia@bppt.go.id

Abstrak

Pada pegas ulir yang mengalami kerusakan dilakukan pemeriksaan pada permukaan patah dan materialnya, dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan per coil tersebut dan mencari solusi agar kejadian tidak terulang pada masa yang akan datang. Untuk itu dilakukan pemeriksaan secara visual, fraktografi, metalografi, uji kekerasan dan uji komposisi kimia. Dari hasil pemeriksaan didapatkan temuan kerusakan dengan ciri-ciri patah lelah (fatigue) mengalami patah lelah dengan tegangan dinamis yang tinggi dimana area patah lelahnya dibawah 5%. Terjadi tegangan tinggi berupa tegangan bending diujung per karena pelat penumpu mengalami beban berlebih sehingga terjadi deformasi yang memungkinkan terjadinya kondisi kantilever di ujung per tersebut sehingga per tidak kuat menahan beban dan patah.

Kata kunci : Pegas, beban, deformasi, lelah, patah.

Abstract

An investigation of a failure coil spring must be applied to the fracture as well the material, to find out the problem. Therefore some recommended action could be given to avoid a repetition of such damage. Some methodes of inspection should be performed such as visual observation, fractography, metallography, hardness test and chemical analysis.

The result of investigation showed a fatigue fracture caused by high dynamic load wich is applied during service with a fracture below 5 %. A high cantilever bending tension at each end of the spring has occurred due to overload condition on main base plate wich rised deformation. There by the coil spring has broken.

Keyword : Spring, load, deformation, fatigue, fracture

Diterima (recieved) : 22 Juni 2015, Direvisi (Revised) : 23 Juli 2015, Disetujui (Accepted) : 27 Juli 2015

PENDAHULUAN

Pegas ulir yang berfungsi menyerap kejutan dari bantingan akibat jalanan dan getaran roda-roda agar tidak di teruskan ke body kendaraan secara langsung, Fungsi per (*spring*) dan *shockbreaker*, suspensi semua part yg fungsinya berhubungan sama kaki-kaki dan stabilitas terhadap mesin antara lain per, *shock*, *swing arm* atau sayap sampe *part* tambahan seperti *stabilizer* dan *link stabilizer*, *strut bar*. Untuk *shock* dan per berbeda dengan masing-masing fungsi yang sama-sama peredam

kejut dimana per berfungsi buat membantu kerja *shock* karena *shockbreaker* tidak bisa balik lagi posisinya setelah menerima beban arah naik dengan kata lain, salah satu fungsi per itu buat jaga ketinggian mobil atau *shock* itu memperhalus getaran atau kejutan yg dihasilkan jalan baik itu lubang atau polisi tidur. Tetapi *shock* tidak bisa balik lagi ke posisinya jika tidak pakai per. Jadi fungsi utama dari *Shock Absorber* dan penopangnya adalah untuk menjaga kestabilan ban berinteraksi dengan jalan, sehinga dapat mengendalikan kendaraan dengan baik-akibat kejutan jalan

yang tidak rata. Sebenarnya kerja *shockbreaker* mirip dengan pompa oli, jadi ketika terjadi ayunan pada kendaraan *shockbreaker* bekerja, batang *shock* yang di kaitkan pada *chasis* kendaraan akan bekerja sebagai pompa, sedangkan bagian *shock* yang lainnya menjadi tabung oli yang dipompa dan di kendalikan kecepatan dan volumenya dengan mekanisme katup atau orifis yang terdapat di atas dan di bawah *shockbreaker*, sehingga ayunan tadi dapat diredam kecepatan dan besarnya.

Pada pegas tipe ulir untuk kereta api mengalami patah. Untuk investigasi penyebab patahnya dilakukan analisa kerusakan terhadap sampel pegas (Gambar 1), menunjukkan pegas yang masih utuh dan

sudah patah. Pemeriksaan dilakukan di laboratorium.

Data Teknis

Sampel	: Pegas ulir kereta api
Material	: 60Si2CrVA (Jiangxi LiHuan Spring Co., Ltd. SUP 9
Dimension	: - Tinggi = 286 mm - Diameter luar = 180 mm - Diameter tengah = 150 mm - Diameter dalam = 120 mm - Diameter kawat = 30 mm
Proses	: Heat-treatment sampai kekerasan HRC 47-52



Gambar 1.

Pegas ulir kereta api sebagai sampel untuk dilakukan analisa kerusakan No. 13 dalam kondisi patah di satu lokasi

BAHAN DAN METODE

Pemeriksaan visual dan makro fraktografi

Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik kerusakan dan menentukan daerah awal penyebab kerusakan yang nantinya dipilih untuk pemeriksaan lebih mendalam, metode pemeriksaan visual ini dilakukan dengan mengamati kondisi area yang rusak secara cermat dan di dokumentasikan dengan gambar menggunakan kamera dan pemeriksaan makrografi menggunakan mikroskop stereo untuk mengidentifikasi awal kerusakan di permukaan daerah yang rusak, sehingga area tersebut dapat diamati pada perbesaran yang lebih besar dibandingkan pemeriksaan visual dan didapatkan informasi lebih jelas dengan perbesaran sampai dengan 25X. Pemeriksaan makrografi mengacu pada standard ASTM E 340-00.

Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi merupakan suatu metode pemeriksaan yang dilakukan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik pada area yang rusak lebih detail dan dianggap mewakili serta area sekitarnya untuk dilakukan analisis kerusakan. pemeriksaan metalografi dilakukan juga untuk memeriksa kemungkinan adanya *void*, retak mikro, ataupun cacat mikro lainnya yang mungkin berpengaruh sebagai penyebab kerusakan dan pecahnya pegas ulir. Hasilnya lalu didokumentasikan dengan kamera digital. Persiapan benda uji metalografi mengacu pada standard ASTM E 3-01 yang meliputi beberapa tahapan antara lain :

- Pemotongan benda uji metalografi berupa material pegas ulir menggunakan mesin potong.
- Proses pembentukan/pencetakan sampel uji menggunakan bubuk technovit atau acryfix yang dicampur dengan cairan pengeras dengan perbandingan tertentu,

- dimana campuran cairan tersebut menjadi keras setelah beberapa menit.
- Proses grinding atau pengampelasan menggunakan mesin grinding tangan dan kertas ampelas dengan kekasaran mulai dari 80, 120, 220, 360, 500, 600, 800, 1000, dan 1200 mesh.
 - Proses pencucian menggunakan alkohol 95% kemudian dikeringkan dengan peralatan pengering (*hair dryer*).
 - Proses *polishing*/pemolesan sampel uji dengan menggunakan *diamond* pasta.
- Selanjutnya dilakukan proses mikroetsa sampel uji yang mengacu pada standard ASTM E 407-01 dimana larutan yang digunakan adalah Nital 2%.



Gambar 2.

Foto makro permukaan patah pegas ulir no. 13 menunjukkan patahan yang dimulai pada lingkaran pertama di daerah titik tumpu berupa patah lelah (*fatigue fracture*)

Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan di area yang dianggap normal dengan area sekitar patahan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat Frank finotest dengan nilai kekerasan dalam skala *Vickers* dengan metode yang digunakan indentasi *Vickers microhardness* mengacu pada ASTM E92. Beban yang digunakan adalah 5 kgf dengan menggunakan indentor intan, kemudian hasil yang didapat diukur dengan mikroskop dan dihitung dengan menggunakan tabel nilai kekerasan VHN (*Vickers Hardness Number*).

Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia material Connecting rod untuk mengetahui unsur yang digunakan apakah sesuai atau tidak dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Pemeriksaan komposisi kimia mengacu pada standard

ASTM E 415-99a, dengan menggunakan Metorex Arc-Met 930SP.

Permukaan sampel yang akan diuji digerinda dulu dan diampelas dengan kehalusan menggunakan ampelas 40 CCW sesuai dengan standard alat komposisi kimia yang digunakan.



Gambar 3.

Pegas ulir no.12 kondisi yang masih utuh sebagai pembandingan pada patahnya pegas ulir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraktografi

Hasil pemeriksaan fraktografi dapat dilihat bahwa: pegas ulir no.12 kondisi utuh sebagai pembandingan sehingga dapat diamati kondisi pegas ulir sebelum terjadinya patah. Hasil pengujian fraktografi ditunjukkan pada gambar 2 pegas ulir no.13 kondisi patah di satu lokasi / sisi di ujung pegas ulir.

Permukaan patah lelah (*beachmark*) dibawah 5%, sisanya patah statik (*radial mark*), pada gambar 7.

Metalografi

Hasil pemeriksaan metalografi dapat dilihat bahwa pada pegas ulir no.13: struktur mikro pegas ulir potongan melintang dan memanjang adalah martensit temper yang mengandung inklusi.

Pegas ulir No. 12 sebagai pembandingan:

Struktur mikro pegas ulir potongan melintang dan memanjang sama dengan pegas ulir 13 adalah martensit temper yang mengandung inklusi⁵⁾.

Komposisi Kimia

Hasil pemeriksaan komposisi kimia menunjukkan bahwa material pegas ulir lebih sesuai dengan 60Si2CrVa seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Bila dibandingkan dengan JIS G4801, material pegas ulir lebih mendekati ke SUP 12 dengan kandungan Cr yang berlebih (hasil uji: diatas 1%, SUP 12: 0,60-0,90).

Tabel 1.
Hasil Uji Komposisi Kimia

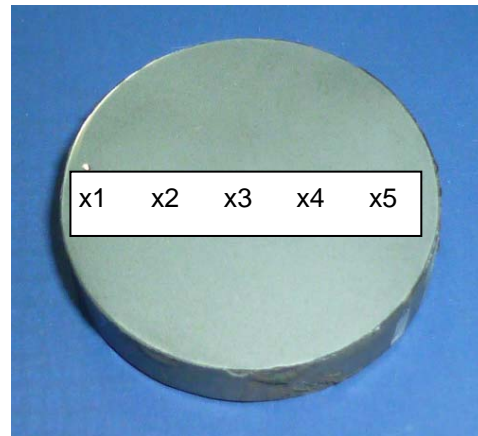
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)		Standar 60Si2CrVA
	Pegas ulir No. 12	Pegas ulir No. 13	
Fe	95,99	95,98	remainder
C	0,57	0,43	0,56 – 0,64
Si	1,57	1,48	1,4 – 1,8
Mn	0,57	0,59	0,4 – 0,7
Cr	1,24	1,29	0,9 – 1,2
Ni	0,040	0,030	< 0,35
S	0,0016	0,0032	0,035
P	0,0095	0,013	0,035

Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan disajikan dalam Tabel 2 kekerasannya adalah (nilai rata-rata): 50,3 HRC (pegas ulir no.12) dan 52,18 HRC (pegas ulir no. 13). Kekerasan material pegas ulir (60Si2CrVA) setelah heat treatment adalah 47-52 HRC.

Tabel 2.
Hasil Uji Kekerasan (HRC)

No	Hasil Pengujian		Standar 60Si2CrVA
	Pegas ulir 12 (Utuh)	Pegas ulir 13 (Patah)	
1	49,8	52,0	47-52
2	49,7	52,4	
3	50,5	52,8	
4	51,0	52,2	
5	50,5	51,5	



Gambar 4

Lokasi pengujian kekerasan, pengujian yang diambil pada x1 sampai x5 di permukaan pegas ulir yang dipotong secara melintang (pegas ulir berbentuk lingkaran) dan titik-titik pengambilan sampel uji kekerasan.



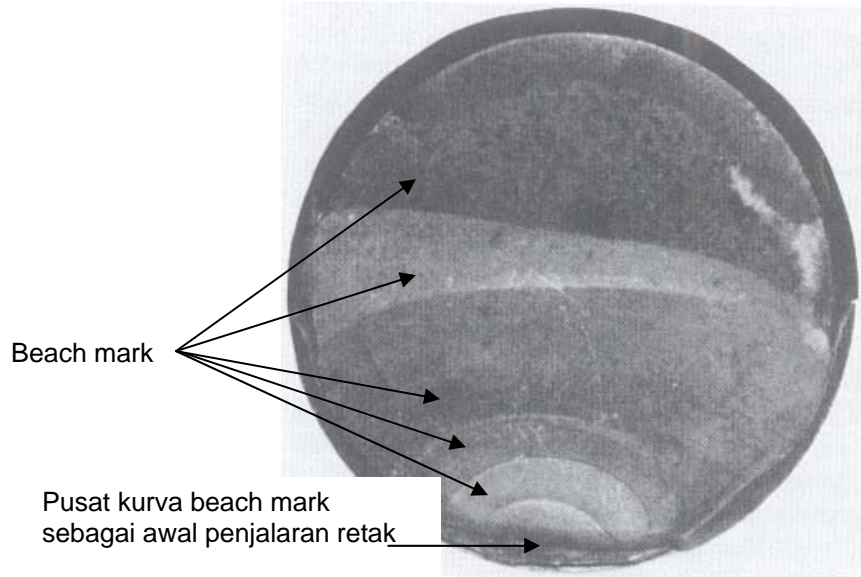
Gambar 5.

Pegas ulir no. 13 mengalami patah di lokasi satu sisi putaran dari ujungnya. (patahan berada pada ± 10 mm dari ujung pegas ulir).

Untuk mengetahui penyebab patah (fracture) suatu part dapat diamati dari bentuk patahan atau pola patahnya pada permukaan patahan.

Ada 2 pola patah pada permukaan:

1. Patah lelah (*fatigue fracture*)
Bila patah lelah yang terjadi, maka pada permukaan patah akan tampak beachmark yang berupa alur melengkung (kurva) sejajar dengan pusatnya sebagai awal/pusat patah.



Gambar 6.

Pola patah lelah yang ditunjukkan oleh adanya beachmark.^{2]} dapat dilihat dan dibedakan adanya alur-alur perbedaan warna yang dapat menentukan terjadinya beachmark secara bertahap.

Patah lelah ini diciptakan oleh beban berulang (dynamic tegangan) yang nominalnya dibawah tegangan yield material,^{7]}. Yang bisa ditunjukkan oleh beachmark ini adalah semakin besar area beachmark semakin kecil beban berulang yang dialaminya dan sebaliknya, semakin kecil area beachmark ditemukan di permukaan patah semakin besar beban dinamik yang bekerja).^{1]}

2. Patah statik

Jenis lain pola patah adalah patah statik. Ciri-ciri dari patah statik adalah:

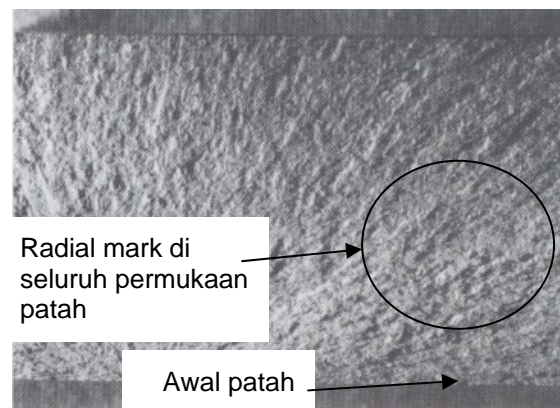
Cup and cone, dimana permukaan patah memiliki sudut patah 45° dan menunjukkan sifat material getas.

Pada permukaan patah statik, bisa ditemukan: Chevron mark, dimana alur patah di permukaan berupa huruf V atau radial mark, dimana alur patah berupa jejak radial yang memusat ke satu titik^{9]}.

Kedua pola patah itu memiliki alur perambatan retak yang berlangsung cepat (rapid crack propagation) dan bisa menunjukkan titik/lokasi awal patah.

Disini ditunjukkan pola radial mark seperti dapat dilihat pada gambar dibawah.^{3]} (ASM Volume 11 - 1998).

Foto makro (gambar 8), permukaan patah pegas ulir menunjukkan patahan yang dimulai pada lingkaran pertama di daerah titik tumpu.



Gambar 7.

Pola patah statik dengan radial mark.^{2]} dapat dilihat alur-alur halus yang menginformasikan terjadinya rambatan perpatahan.



Gambar 8.

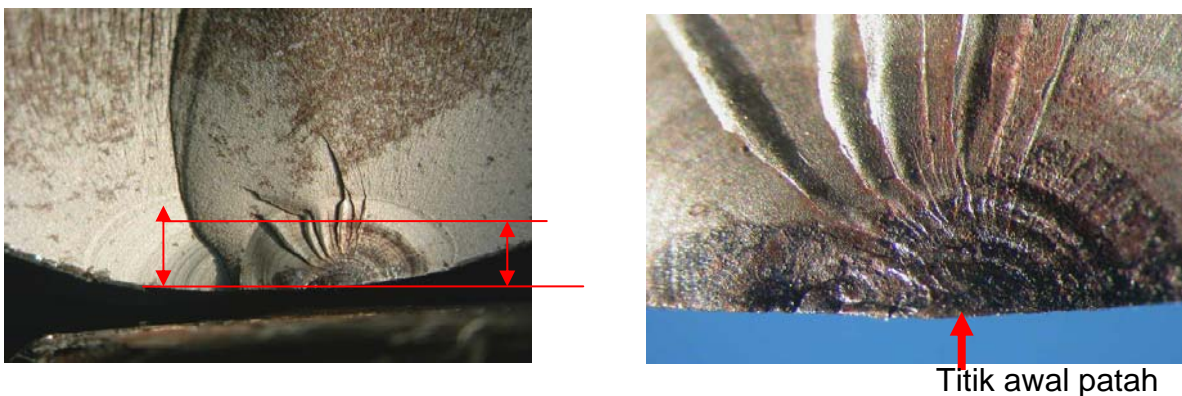
Foto makro permukaan patah yang memperlihatkan alur-alur rambatan patah^{10]} pada pegas ulir no 13.

Hasil pemeriksaan fraktografi pada permukaan pegas ulir yang patah (no. 13) menunjukkan pola patah lelah, berupa *beachmark*,^{15]} dan statik, berupa radial mark. *Beachmark* dibentuk oleh adanya perambatan retak, yang ketika luas sisa tidak dapat lagi menahan tegangan yang bekerja, terjadi kepatahan akhir, yang dicirikan oleh radial mark. Melihat areanya, area patah lelah sangat kecil, dibawah 5% pada pegas ulir no. 13, ini menunjukkan bahwa tegangan dinamis yang bekerja pada pegas ulir itu sangat besar. Spring yang digunakan untuk kereta api ini adalah tipe tekan (*compression spring*). Normalnya beban diterimanya adalah sepenuhnya tekan^{14]}. Dengan ditemukannya area patah lelah, menunjukkan telah tercipta beban lentur (*bending*). Melihat patahan pada pegas ulir no. 13, yang terjadi di ujung pegas ulir, menunjukkan bahwa ujung pegas ulir ini telah berfungsi sebagai tumpuan, sehingga di ujung pegas ulir ini terjadi struktur kantilever. Dibawah tegangan dinamis yang bekerja pada pegas ulir, terjadi retak awal yang lalu merambat. Tegangan dinamis ini dipastikan tinggi, diperkirakan mendekati nilai tegangan yield material pegas ulir, ini karena area *beachmark* belum sampai 5% (pegas ulir no. 13), pegas ulir sudah mengalami patah akhir (final fracture). Foto makro permukaan patah pegas ulir no. 13 menunjukkan patahan yang dimulai pada lingkaran pertama di daerah titik tumpu berupa patah lelah (*fatigue fracture*). dicirikan oleh adanya alur garis pantai (*beach mark*) sekitar 4-5 mm atau sekitar tidak lebih dari 5 % dari luas permukaan patah. Sisa permukaan patah (*residual fracture*) berupa patah statik yang dicirikan oleh radial mark atau garis-garis radial yang memusat ke pusat/awal patah.

Selain faktor tegangan dinamis yang tinggi sebagai penyebab area patah lelah kecil, faktor lain adalah sifat material yang getas. Material pegas ulir ini telah diproses *heat treatment* untuk meningkatkan kekerasannya (sampai HRC 47-52). Konsekwensinya adalah penurunan umur lelah (*fatigue life*) karena terjadinya juga penurunan ductility. Selanjutnya, bila diperhatikan, area patah lelah pada pegas ulir no. 13 ini bisa berhubungan dengan hasil pengujian kekerasan, yaitu HRC 52,18 Jadi kekerasan pegas ulir tersebut kurang getas^{4]}.

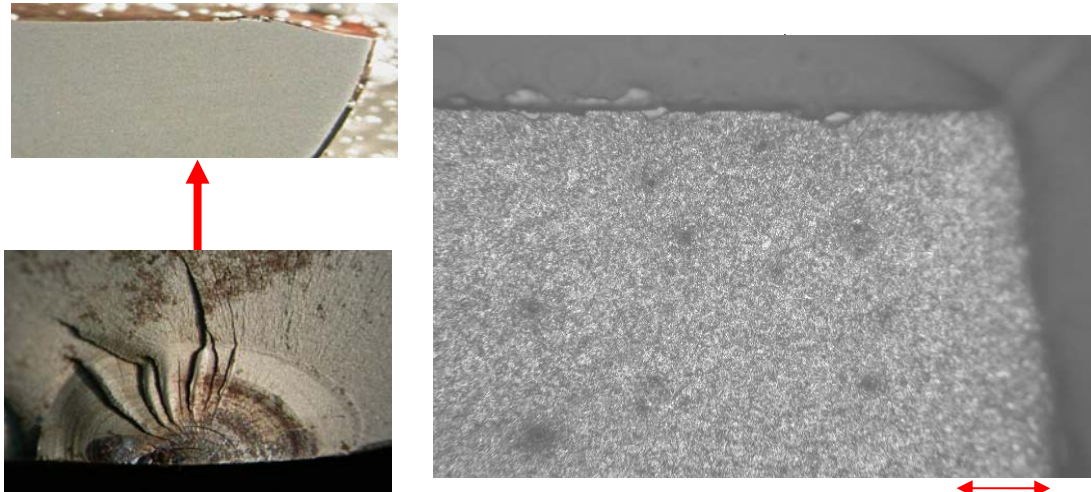
Pada pegas ulir kereta api ini tegangan *bending* terjadi pada ujung pegas ulir dimana ujung pegas ulir berlaku sebagai tumpuan dan ini seharusnya tidak terjadi. Hal ini terjadi kemungkinan karena pelat penumpu pegas ulir tidak bekerja baik, atau tidak dapat menahan beban tekan, sehingga pelat terdeformasi dan pegas ulir oil tidak tertahan sebagian^{16]}. Sedangkan pada per koil no. 12 tidak mengalami patah kemungkinan karena pelat penumpu tidak menahan beban tekan seluruhnya.

Kepatahan pegas ulir yang terjadi di ujung pegas ulir merupakan kejadian yang umum.^{2]} (ASM XI hal. 550-551) yang disebabkan oleh tegangan berlebih (*overstress*). Demikian juga yang terjadi pada pegas ulir no. 12 dan 13. Walaupun material yang digunakan sudah *overspec* (diatas grade SUP 9, bahkan diatas SUP 12, material yang digunakan setelah di *heat-treatment* menjadi getas. Dikombinasi dengan sifat material pegas ulir yang getas itu, maka kepatahan per koil terjadi dengan cepat^{11]}. Untuk menghindari terulangnya kejadian yang sama pada pegas ulir ada beberapa solusi yang bisa diajukan pada saran.



Gambar 9.

Foto makro di lokasi awal patah lelah dengan lebar daerah patah lelah 4-5 mm (tanda panah) dan mempunyai perambatan alur garis pantai (*beachmark*) yang merupakan ciri patah lelah.



Gambar 10.

Sampel potongan melintang A-B (gambar kiri) pada daerah patah lelah terdapat strukturmikro berupa martensit temper dan terdapat inklusi pengotor/sulfide menyebar merata (gambar kanan) Etsa : nital 2%

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisa kerusakan ini adalah:

Pegas ulir no. 13 (sampel penelitian) mengalami patah lelah dengan tegangan dinamis yang tinggi dimana area patah lelahnya dibawah 5%, tegangan tinggi berupa tegangan *bending* yang terjadi secara lokal diujung pegas ulir. Terjadi tegangan *bending* diujung pegas ulir karena pelat penumpu mengalami beban berlebih sehingga terdeformasi sebagian yang memungkinkan terjadinya kondisi kantilever di ujung pegas ulir. Sedangkan pada pegas ulir no. 12 tidak mengalami patah diprediksi pelat penumpu tidak menahan beban berlebih seluruhnya (ambles), sifat material pegas ulir adalah getas akibat *improper tempering* sehingga *fatigue life* nya rendah sedangkan material yang digunakan sudah sesuai dengan *requirement manufacturer*.

Agar kejadian patahnya pegas ulir tidak terulang, disarankan untuk menghindari operasi beban berlebih pada pegas ulir yang digunakan saat ini. Bila beban tersebut tidak bisa dikurangi, lakukan desain ulang terhadap pegas ulir dan gunakan pelat yang dijamin dapat menahan beban operasi agar pelat tidak terdeformasi dan/atau ambles.

Bila poin diatas tidak bisa dilakukan, maka hindari adanya celah di ujung pegas ulir agar tidak terjadi kondisi kantilever (tegangan *bending* di ujung pegas ulir) dan lakukan *proper tempering* pada pegas ulir agar tidak getas (meningkatkan *fatigue life*)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Ir. Sukandar, MT di B2TKS - BPPT yang sangat membantu dalam terselesaikannya penelitian dan tulisan ini. Rekan-rekan di B2TKS - BPPT yang membantu dalam kerjasama pengambilan data, yang tentunya menjadi kunci dalam penelitian dan analisa dari permasalahan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Purchasers of API RP 579, fitness for service*. March 2000 first edition,
2. American Standart Testing of Material E 407. 1993. *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*
3. *ASM Handbook Volume – 9 Thn 1998 Metallography and Microstructures*.
4. Bayu Jamoko, Triyono, Eko Prasetya Budiyan. "Analisa Kegagalan Pegas Ulir Pada Bogie Type NT 11 Untuk Gerbong Kereta Ekonomi", *Mekanika* vol 12 no. 2 Maret 2014.
5. ASM, American Society for Metals, Ohio. Vol. 11.
6. *ASTM Handbook Volume-13 tahun 1998 Corrosion*. A 285/285M.
7. ASM Handbook Committe, *Failure Analysis and Prevention*. 2011. Ninth Edition, *Metal Handbook of*
8. Chen Hsing-Sung, Tseng Pi-Tang, Hwang Shun-Fa, "Failure analysis of bolts on an end flange of a steam pipe". *Eng Fail Anal* 2006

9. Murniati, 'Perbandingan penurunan kekuatan tekan open coil spring stainless steel dengan nikel titanium terhadap lama kompresi dan perendaman" Yogyakarta: Jurnal Universitas Gadjah Mada, 2008
10. ASM Handbook Committe, "Fractography" 2011.
11. Abdillah, F."Analysis Kegagalan Komponen Pegas Ulir Luar K5 Pada Bogie Kereta Api IKIP Vetran, Semarang. 2010
12. Dakhore, M. "Failure Analysis of Locomotive Suspension Coil Spring Using Finite Element Analysis", Nagpure, India. 2013.
13. KNKT, "Hasil Investigasi Kecelakaan Kereta Api Anjlok KA 60 Cirebon Ekspres. Gedung Kementerian Perhubungan Lt 3, Jalan Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta 10110, Indonesia. 2012
14. Sugeng, M. "Peningkatan Mutu Baja Pegas Dengan Metode Proses Heat Treatment". Universitas Pembangunan Nasional, 2013
15. Valsange, P.S., "Design Of Helical Coil Spring, International Journal of Engineering Research and Application", 2012.
16. Roy, H, "Failure Analysis Of Aspring For Fuel Pump Bracket Assembly NDT And Metallurgy Division, Central Mechanical Engineering Research Institut, Durgapur 713 209, India, 2008.
17. Pytell,B, "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. 2012.