

## ANALISIS KEGAGALAN *COIL SPRING* ATV-1A

\* Alfian Hakim Dwi Atmaja<sup>1</sup>, Sri Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: atmaja\_alfian@yahoo.com

### Abstrak

Analisa kegagalan adalah salah satu ilmu yang digunakan untuk menganalisa suatu komponen yang mengalami kegagalan atau *failure* dengan mencari akar penyebab kegagalannya (*root causes of problems*) dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi penyebab kegagalan sehingga tidak terjadi kesalahan yang berulang. Pada penelitian ini telah dilakukan penelitian mengenai analisis kegagalan pada sebuah *coil spring* ATV-1A yang menggunakan material *spring steel* SAE 9254 M, *coil spring* mengalami kegagalan pada saat dilakukan uji *endurance* pada 157000 siklus sebelum dilakukan *assembly* dengan komponen *shock absorber* lainnya. Pada penelitian ini untuk mengetahui hasil penelitian dilakukan pengujian (a) uji visual dan uji mikroskop *optic*, (b) uji komposisi kimia, (c) uji kekerasan, dan (d) uji struktur mikro. Dari hasil eksperimental yang telah dilakukan, diketahui *coil spring* ATV-1A mengalami patah getas yang ditunjukkan dengan adanya permukaan patahan yang membentuk sudut 45° dan adanya *v-mark "chevron"* pada permukaan patahan. Sifat getas yang timbul pada material diakibatkan oleh kandungan karbon yang melebihi standar yang telah ditentukan. Sehingga menyebabkan material mempunyai sifat kuat namun lebih getas dari standar yang ditentukan.

**Kata kunci:** Analisa kegagalan, Bentuk, Carbon, Kekerasan, Patahan Patah Getas, *V-mark "chevron"*

### Abstract

*Analysis of failure is one of the science that is used to analyze a component failure or a failure to find the root cause of failure (root causes of problems) with the aim to provide recommendations so that the cause of the failure was not a mistake from recurring. This study has been conducted research on the analysis of a coil spring failure on ATV-1A using SAE 9254 spring steel material M, coil spring failure during the endurance test at 157,000 cycles prior to the shock absorber assembly with other components. In this study the results of research conducted to determine the test (a) visual test and test optical microscope, (b) chemical composition test, (c) hardness test, and (d) test microstructure. From the experimental results has been performed, the coil spring is known ATV-1A experiencing brittle fracture indicated that the fracture surface that forms an angle of 45 ° and the presence of v-mark "chevron" on the fracture surface. Brittle nature of the material arising due to the carbon content of which exceeds the standard that has been set. Resulting material has a stronger but more brittle nature of the standards specified.*

**Keywords:** Brittle Fracture, Carbon, Failure analysis, Hardness, Shape the Fractur, V-mark "chevron"

### 1. Pendahuluan

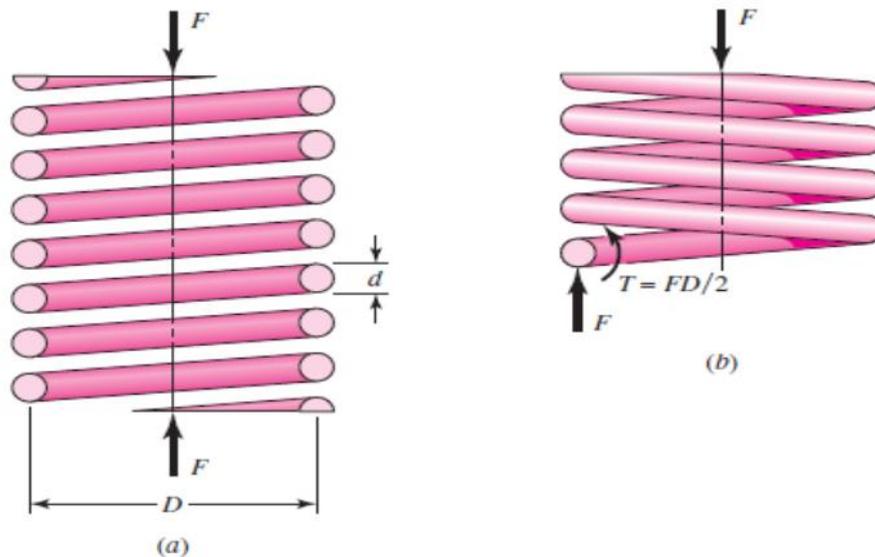
Analisa kegagalan adalah salah satu ilmu yang digunakan untuk menganalisa suatu komponen yang mengalami kegagalan atau *failure* dengan mencari akar penyebab kegagalannya (*root causes of problems*) dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi penyebab kegagalan sehingga tidak terjadi kesalahan yang berulang. Perkembangan teknologi salah satunya pada bidang otomotif belakangan ini telah berkembang pesat. Kendaraan bermotor sudah tidak lagi hanya jadi moda transportasi namun juga di gunakan sebagai sarana penyalur hobi dan olahraga. Kenyamanan dan keamanan pengendara menjadi *factor* utama disamping kehandalan dari mesin mobil itu sendiri. Hal ini mendorong industri-industri otomotif bersaing untuk menghasilkan suatu produk otomotif yang berkualitas. Salah satu kendaran yang di gunakan untuk olahraga adalah ATV (*All Terrain Vehicle*). Syarat kendaraan yang digunakan untuk olahraga harus mempunyai kemampuan baik di aspek kenyamanan, kehandalan, dan keselamatan. Karena kendaraan untuk ini akan digunakan pada medan yang cukup berat yang dapat berdampak kerugian untuk pengendara apabila tidak diperhatikan aspek kehandalan, kenyamanan dan keselamatannya. Salah satu komponen yang berperan penting dalam memberikan kenyamanan dan keselamatan terhadap pengendara kendaraan bermotor adalah pegas. Namun pada kenyataannya komponen pegas sering mengalami kegagalan, oleh karena itu kekuatan dari pegas harus benar-benar diperhatikan. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dari pembuatan pegas selain desain adalah material yang

digunakan. Agar angka kegagalan dari pegas tersebut dapat dikurangi dan juga dapat dihilangkan. Dalam penelitian ini *coil spring* ATV-1A mengalami kegagalan saat dilakukan uji *endurance*, kegagalan terlihat seperti pada Gambar 7.

*Spring* (pegas) adalah sebuah benda elastis yang mempunyai fungsi untuk menyimpan energi mekanik dan melepaskannya yang diikuti dengan perubahan bentuknya [1]. *Coil spring* dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Contoh Pegas Koil [2].



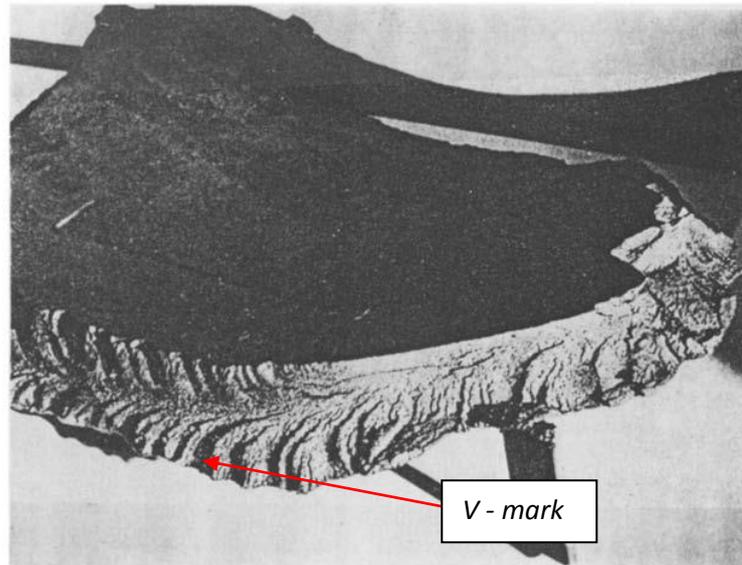
Gambar 2. Pembebanan pada *coil spring* (a) pegas koil diberi gaya aksial  $F$ , (b) menunjukkan arah defleksi dan reaksi gaya yang ditunjukkan oleh pegas [1].

Patah getas ini mempunyai beberapa karakteristik tertentu yang dapat kita amati sehingga dapat didefinisikan sebagai ciri-ciri patah getas [3].

Beberapa ciri atau karakteristik terdapat pada patah getas :

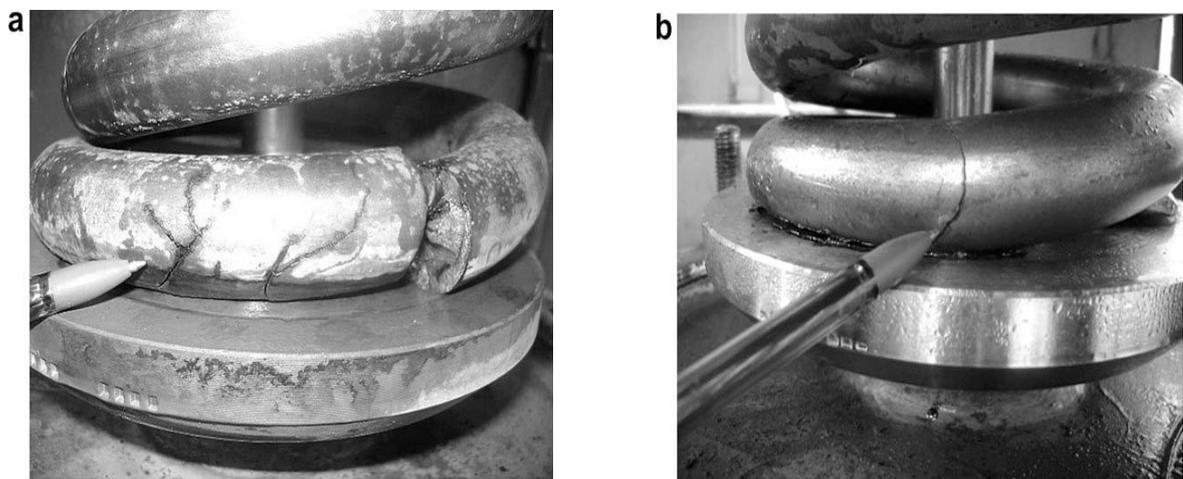
- Tidak ada deformasi permanen atau deformasi plastis pada permukaan atau pada daerah patahan [3].
- Permukaan patahan yang terjadi adalah tegak lurus dengan tegangan tariknya [3].
- Sering terdapat karakteristik tanda pada permukaan patahan, tetapi tidak selalu menunjukkan asal dari daerah awal mula terjadinya patahan. Terdapat tanda yang bisa sebagai acuan menunjukkan awal daerah dari patahan yaitu tanda yang berbentuk *V* "chevron" atau "herringbone" [3].

Berikut adalah contoh-contoh gambar yang dapat menunjukkan sebagai karakteristik patah getas:

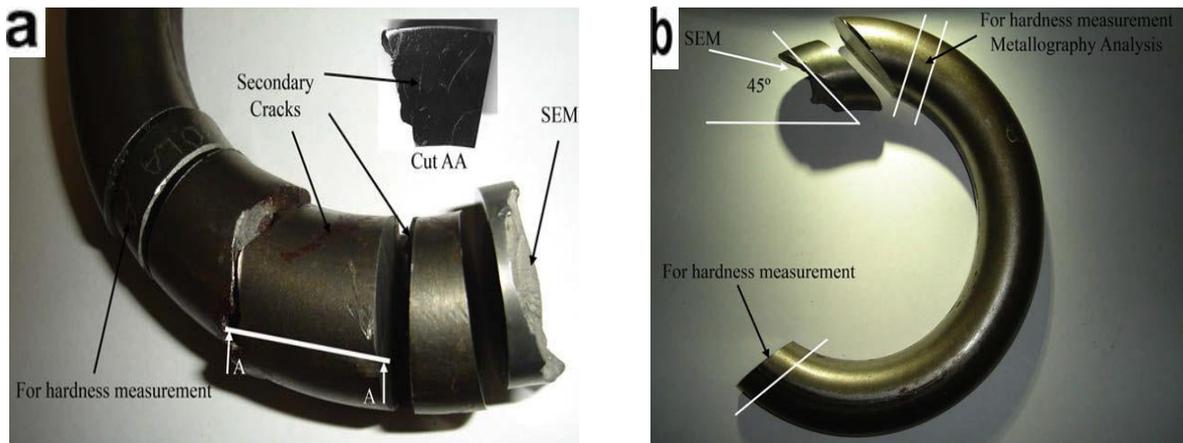


**Gambar 3.** Contoh dari bentuk V-mark “chevron” [3].

Tavares S.S.M dkk telah melakukan penelitian mengenai analisa kegagalan pegas PSV (*pressure safety valve*) pada salah satu alat keamanan di pengeboran minyak dan gas lepas pantai. Pada penelitian ini ditemukan adanya keretakan pada dua pegas PSV di salah satu perangkat keamanan pada fasilitas produksi minyak dan gas saat akan dilakukan pembongkaran atau perawatan alat. Dalam penelitiannya dilakukan pengujian dengan uji komposisi kimia, pengujian analisis struktur mikro, pengujian kekerasan pada daerah di dekat patahan, pengujian analisis struktur mikro dan *fraktografi* dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Pada penelitian ini di simpulkan bahwa kedua *coil spring* yang digunakan untuk PSV mengalami patah getas yang dibuktikan dengan adanya *intergranular crack* dan *hydrogen embrittlement* pada pegas a dan ditemukannya patahan yang membentuk sudut  $45^\circ$  pada pegas b, dan juga di tandai dengan hasil pengujian kekerasan yang menunjukkan bahwa pada daerah dekat dengan patahan dari kedua pegas mempunyai kekerasan yang paling tinggi [4].



**Gambar 4.** Spring Failure: (a) spring A dan (b) spring B [4].

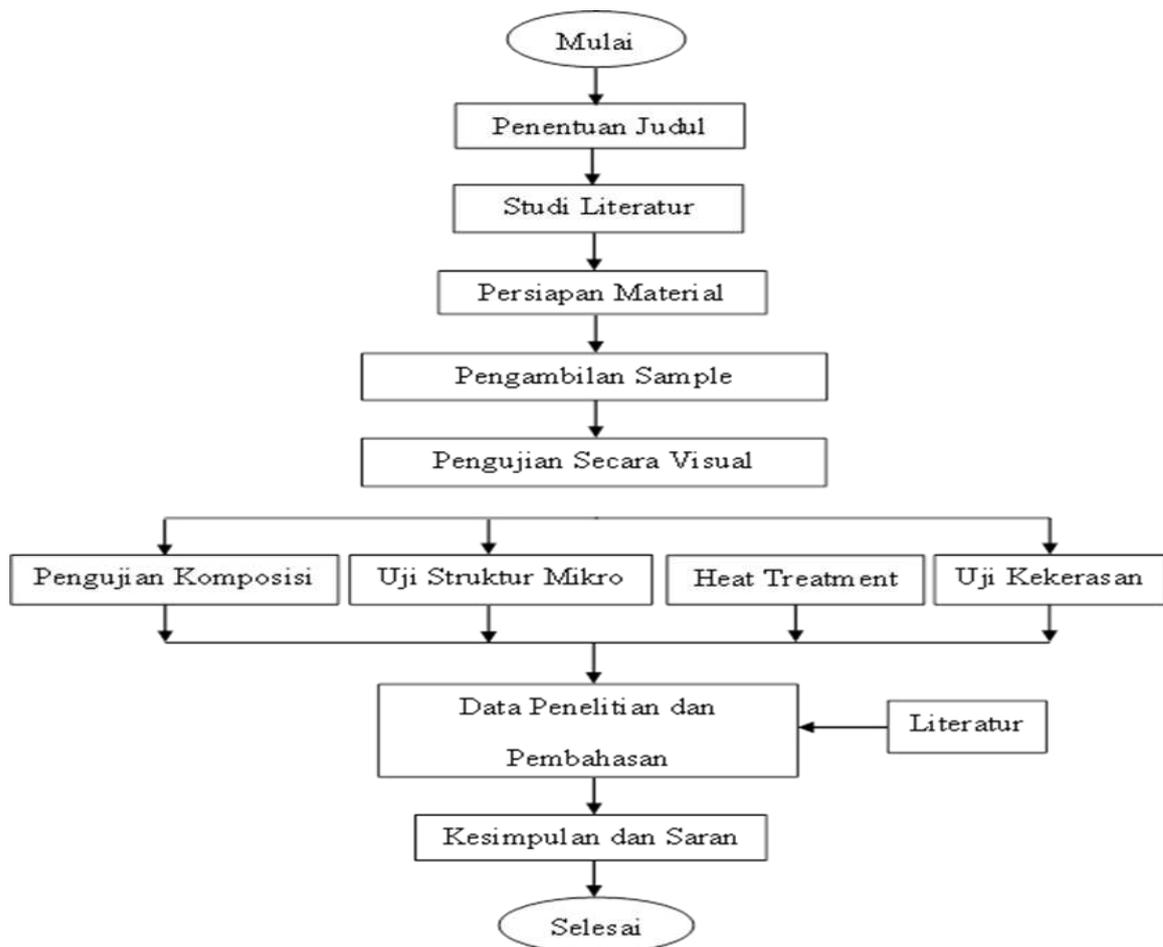


**Gambar 5.** Bentuk patahan : (A) *spring* A dan (b) *spring* B [4].

Mengingat pentingnya penelitian mengenai analisa kegagalan maka tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis penyebab kegagalan *coil spring* ATV-1A serta memberikan rekomendasi agar kegagalan tidak berulang kembali.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Untuk mengurangi atau menghilangkan angka kegagalan pada pegas ATV-1A harus dilakukan penelitian mengenai penyebab-penyebab kegagalan yang telah terjadi dan memperbaiki atau meningkatkan kualitasnya agar tidak terulang kegagalan yang sama. Dalam menganalisa jenis kegagalan yang telah terjadi menggunakan metodologi penelitian seperti yang terdapat dalam diagram alir pada Gambar 6. Berikut:



**Gambar 6.** Diagram alir

## 2.1 Bahan

*Spring* (pegas) yang diteliti merupakan *spring steel* SAE 9254 M merupakan *low alloy medium carbon steel* dengan kandungan karbon antara 0,20 – 0,64 % wt. Unsur tambahan yang lain seperti *Phospor* (P) maksimal 0,030% wt, *Sulfur* (S) maksimal 0,030 %wt, *Silicon* (Si) 1,36-1,65 % wt, *Manganese* (Mn) 0,35-0,65 % wt, *Vanadium* (V) 0,15-0,25 % wt, *Cooper* (Cu) maksimal 0,20 % wt. Baja ini mendapatkan perlakuan *Quenched & Tempered*. *Spring steel* SAE 9254 M mempunyai nilai *tensile strength* sebesar 2020 MPa, *Yield strength* sebesar 1961,89 MPa, *Elongation* (%EL) sebesar 20,31%.

## 2.2 Metodologi Penelitian

Untuk dapat mengetahui jenis dan penyebab patahan pada penelitian *coil spring* ini maka perlu dilakukan beberapa pengujian yaitu:

1. Pengujian secara Visual
2. Pengujian Komposisi
3. Pengujian Struktur Mikro
4. *Heat Treatment*
5. Pengujian Kekerasan

Pada pengujian *heat treatment* dilakukan hanya untuk mengetahui sifat material sebelum dilakukan *quench and tempering*, karena keterbatasan alat data yang didapat dalam pengujian *heat treatment* tidak valid, sehingga tidak dicantumkan dalam pembahasan.

Selain pengujian-pengujian yang tersebut dilakukan juga perhitungan *safety factor* secara analitik menggunakan persamaan(rumus-rumus) yang telah ada.

Rumus-rumus umum *spring* (pegas):

Gaya yang diterima pegas

$$F = K \cdot X \quad (1)$$

Konstanta Pegas

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8ND^3} \quad (2)$$

Tegangan maksimum yang diterima oleh *spring* (pegas)

$$\tau_{max} = k_w \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad (3)$$

Konstanta Whal ( $K_w$ )

$$K_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad (4)$$

Dimana :

F :Gaya	$\tau_{max}$ :Tegangan total maksimum
K :Konstantapegas	$K_w$ : Whal factor
X :Perbedaanpanjang( <i>absolute</i> )	$d$ : Diameter wire
G : Modulus elastisitas	N : Jumlah lilitan
D : Diameter <i>outer</i>	C : Indeks Pegas(D/d)

Dari persamaan-persamaan yang ada kita masukkan data yang telah didapat  $X = 155,54\text{mm}$ ,  $K = 30,533 \text{ N/mm}$ ,  $D = 60,89 \text{ mm}$ ,  $d = 9,2 \text{ mm}$ ,  $\sigma_{uts} = 2020 \text{ Mpa}$ .

Dari data-data yang ada dapat dilakukan perhitungan *safety factor* menggunakan rumus:

$$S_f = \frac{\text{Tensile Strength}}{\text{Tegangan Maksimum}} \quad (5)$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

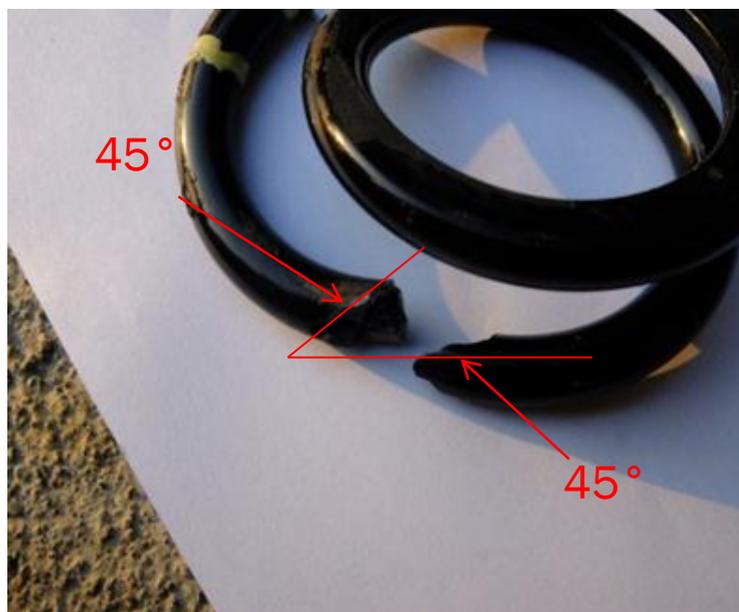
Dari Gambar 7 ditunjukkan pada *coil spring* ATV-1A yang menggunakan material *steel spring* SAE 9254 M mengalami kegagalan pada saat dilakukan uji *endurance*.



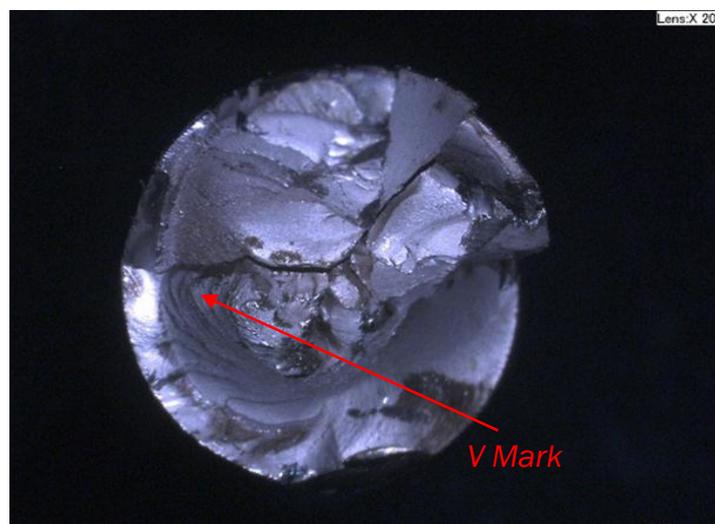
Gambar 7. Spesimen *Coil Spring* ATV-1A yang patah

### 3.1 Pengujian Secara Visual dan Mikroskop Optik

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui bentuk spesimen beserta kondisi dari kerusakan atau patahan dengan menggunakan mata kemudian mikroskop optik. Sehingga dapat diketahui bentuk patahan atau fenomena – fenomena yang ada pada daerah patahan [3].



Gambar 8. Spesimen patah membentuk sudut 45°



Gambar 9. Permukaan patahan terdapat tanda V “chevron”

Gambar 7 menunjukkan letak dari patahan ATV-1A yang mengalami kegagalan saat dilakukan uji *endurance*. Gambar 8 menunjukkan bahwa salah satu bentuk patahan yang timbul akibat kegagalan *coil spring* dari salah satu daerah patahannya membentuk sudut 45°. Gambar 9 menunjukkan bahwa pada daerah permukaan patahan *coil spring* timbul suatu tanda berupa tanda V “*chevron*”.

Dari hasil pengujian secara visual dan dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa patah yang terjadi merupakan patah getas, namun harus di lihat lagi dari hasil uji komposisi kimia dan uji kekerasan untuk membuktikan bahwa patahannya merupakan patah getas[3].

### 3.2 Pengujian Komposisi

Tujuan dari melakukan pengujian komposisi kimia ini adalah untuk mengetahui komposisi kimia dari spesimen yang sedang diuji dan kemudian akan dibandingkan dengan standar yang ada sehingga dapat diketahui apakah spesimen tersebut sesuai standar atau tidak.

**Tabel 1.** Perbandingan hasil uji komposisi kimia *coil spring* ATV-1A dengan standarnya

<i>Steel Spring</i>	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	V
SAE	0,56 -	1,35 -	0,35 -	≤	≤	≤	0,40 -	0,150 -
9254 M	0,60	1,65	0,65	0,030	0,030	0,20	0,70	0,250
ATV-1A	0,838	1,78	0,510	<0,0050	0,0100	<0,0030	0,546	0,170

Tabel 1 merupakan data hasil pengujian komposisi yang dapat disimpulkan bahwa spesimen memiliki kandungan karbon (C) dan *silicon* (Si) yang melebihi standar yang telah ditentukan. Sifat yang dimiliki oleh karbon adalah memiliki kekerasan yang tinggi namun getas, untuk memperkuat hasil uji komposisi kimia ini perlu dilakukan pengujian mikro *Vickers* untuk mengetahui apakah spesimen ini memiliki kekerasan yang sesuai standar atau melebihi standar yang telah di tentukan.

### 3.3 Pengujian Mikro *Vickers*

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen ini, dilakukan pengujian kekerasan mikro *Vickers* dengan beban *mayor* 0,5 Kgf dan waktu pembebanan 5 detik. Pengujian menggunakan 2 spesimen, yaitu potongan spesimen yang dekat dengan patahan dan spesimen yang sudah di *heat treatment*. Pengujian kekerasan mikro *Vickers* menggunakan standar ASTM E384 [5].

Berikut adalah nilai kekerasan spesimendari hasil pengujian *Vickers*:

**Tabel 2.** Nilai kekerasan

No	Jarak Pengujian dari Diameter Luar <i>Coil Spring</i>	Nilai Kekerasan(HRC)
		Dekat Patahan(DP)
1	0.1 mm	57.8
2	1.1 mm	56.8
3	2.1 mm	56.4
4	3.1 mm	54.5
5	4.1 mm	56
6	5.1 mm	55.3
7	6.1 mm	56.7
8	7.1 mm	57.7
9	8.1 mm	58.9
10	9.1 mm	59
<b>Rata-Rata</b>		<b>56.91</b>

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa kekerasan yang dimiliki oleh *coil spring* ATV-1A yang dekat patah mempunyai rata-rata kekerasan 56,91 HRC apabila di konversi ke *tensile strength* adalah 2118 N/mm<sup>2</sup>[4]. Nilai tersebut lebih tinggi dari standart *tensile strength* yang dimiliki *steel spring* SAE 9254 M yaitu sebesar 1960-2060 N/mm<sup>2</sup>. Dari

uji kekerasan yang ada menunjukkan bahwa *coil spring* mempunyai nilai kekerasan melebihi standar itu menyebabkan material mempunyai sifat lebih getas.

### 3.4 Perhitungan Safety Factor

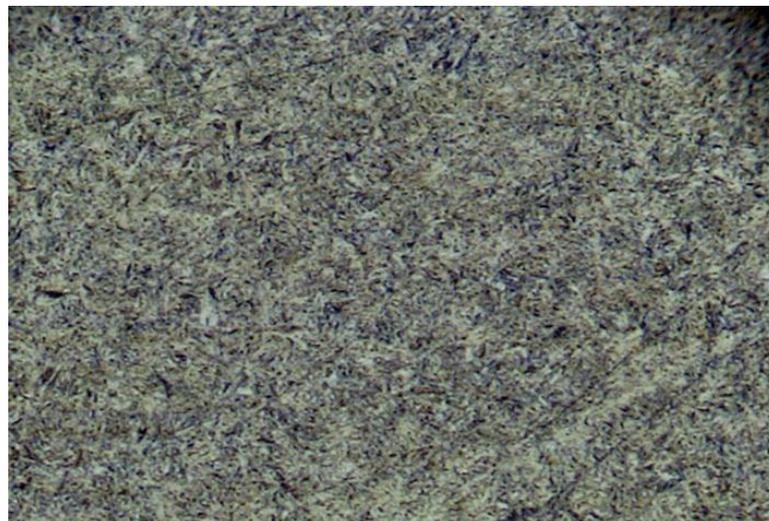
Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui apakah desain yang digunakan sudah memenuhi standar keamanan atau belum. Dari hasil perhitungan pada persamaan (5) maka diperoleh nilai *safety factor* yaitu:

$$S_f = \frac{\text{Tensile Strength}}{\text{Tegangan Maksimum}} = \frac{2020 \text{ MPa}}{1154,29 \text{ MPa}} = 1,75$$

Dari evaluasi hasil pengujian *safety factor* untuk *coil spring* ATV- 1A dapat diambil kesimpulan bahwa *safety factornya* sudah memenuhi standar yang ada yaitu > 1 [6].

### 3.5 Pengujian Struktur Mikro

Untuk memperkuat data bahwa hasil pengujian kekerasan itu benar. Maka dilakukan pengujian struktur mikro di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang bertujuan untuk mengetahui struktur mikronya. Hasil pengujian struktur mikro ditampilkan pada Gambar 10 yang menggunakan perbesaran 200x. Pengambilan gambar pada pengujian struktur mikro di ambil pada daerah permukaan potongan yang dekat dengan patahan. Dalam pengujian struktur mikro menggunakan *Nital etching*.



**Gambar 10.** Struktur mikro *coil spring* ATV-1A dengan perbesaran 200x

Dari Gambar 10 dapat dilihat struktur mikro dari *sample* spesimen *coil spring* ATV-1A mempunyai struktur *martensitic* yang sesuai dengan ciri khas dari material SAE 9254 M.

## 4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan atau analisa mengenai patahnya *coil spring* ATV-1A saat dilakukan uji *endurance* dapat disimpulkan bahwa patahan yang terjadi pada *coil spring* adalah patah getas yang melihat dari hasil uji mikroskop optik yang memperlihatkan adanya patahan yang memebentuk sudut 45° (Gambar 8) dan adanya tanda *V* “chevron” pada permukaan patahan seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Sifat getas yang muncul pada *coil spring* dikarenakan adanya kandungan karbon yang melebihi batas pada *coil spring* ATV-1A sehingga muncul sifat keras namun getas. Hal iniditunjukkan pada hasil pengujian komposisi kimia dan uji kekerasan pada Tabel 1 dan 2.

## 5. Daftar Pustaka

- [1]. Shigle's, 2006, "Mechanical Engineering Design", 8th edition, The McGraw-Hill Companies, USA.
- [2]. Maskub, "Bagaimana Suspensi Mobil Bekerja", <http://maskub.wordpress.com/2009/10/19/bagaimana-suspensions-mobil-kerja>. Diakses: 3 Maret 2014.
- [3]. Donald J.W., 1999, "Understanding how components fail Second Edition", ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [4]. Tavares S.S.M., Pardal J.M., Menezes L., Menezes C.A.B., Ávila C. D., 2009, "Failure analysis of PSV springs of 17-4PH stainless steel", Engineering Failure Analysis 16, 1757-1764.
- [5]. ASTM E384-99, 2002, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, ASTM International.
- [6]. Callister Jr., William D., 2007, "Materials Science and Engineering", 7th edition, Jhon Wiley & Sons, Inc. New York, USA.