

# ANALISA KEGAGALAN POROS RODA BELAKANG KENDARAAN

M. Syahril

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) – BPP Teknologi  
Kawasan PUSPIPTEK Tangerang 15314  
E-mail : msyahrilluk@yahoo.com

Masuk tanggal : 18-10-2012, revisi tanggal : 02-07-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 17-07-2013

## Intisari

**ANALISA KEGAGALAN POROS RODA BELAKANG KENDARAAN.** Tulisan ini membahas tentang kegagalan yang terjadi pada poros roda belakang kendaraan dengan spesifikasi material baja karbon medium S43C. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor penyebab kegagalan tersebut dan memberikan solusi bila terjadi kasus yang serupa pada komponen dengan material yang sama. Studi pada analisa kerusakan poros roda belakang ini menggunakan metode pengamatan visual, makro struktur dengan mikroskop stereo, pengamatan metalografi dengan mikroskop optik (OM), fraktografi permukaan patahan dengan *scanning electron microscope* (SEM), uji kekerasan mikro dengan Vicker's serta analisa komposisi kimia menggunakan *optical emission spectroscopy* (OES). Hasil fraktografi menunjukkan bahwa permukaan patahan merupakan tipe kerusakan dini atau patah tanpa terjadi deformasi plastis. Struktur mikro menunjukkan adanya fasa ferit sebagai batas butir dari fasa martensit. Struktur material seperti ini dapat mengurangi ketahanan material terhadap benturan (*impact*) terutama di area yang memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi. Pada akhirnya ketika terjadi benturan, kekuatan komponen poros roda belakang menjadi lebih rendah dari disain normalnya.

*Kata kunci : Poros roda belakang, Pengerasan permukaan, Batas butir ferit*

## Abstract

**FAILURE ANALYSIS OF THE VEHICLE REAR AXLE SHAFT.** This paper discussed about failure on the vehicle rear axle shaft which made from medium carbon steel S43C. The purpose of this study was to find out the root cause of the failure and provide prevention solutions when a similar case occur in the same component or material. In order to solve these problems, several examinatioes were conducted such as macro structure observation by stereo microscope, metallography by optical microscopy (OM), fractography on the fracture surface of the component by scanning electron microscope (SEM), hardness test by Vicker's, and the analysis of chemical composition by using optical emission spectroscopy (OES). The fractograph result show that the fracture surface is a type of premature damage or the fracture without plastic deformation. Microstructure shows the ferrite phase as grain boundaries of the martensite phase. This condition reduced a resistance of material during impact loading especially at high stress concentration area. In the end when the impact occurred, strength of rear axle component became poor when compared to design property of that material.

*Key words : Vehicle rear axle, Surface hardening, Ferrite grain boundary*

## PENDAHULUAN

Kriteria umum yang mendasari industri rancang bangun otomotif yaitu berkekuatan tinggi, handal dan yang paling utama adalah ekonomis. Sifat-sifat mekanis suatu material konstruksi berhubungan dengan ketahanan material terhadap besarnya intensitas distribusi gaya dari luar pada saat kondisi operasi. Oleh karena itu, para perancang dan pembuat otomotif juga telah

berupaya meningkat-kan kualitas rancangan dengan cara mengoptimasi disain.

Meskipun demikian, kegagalan atau kerusakan suatu produk masih sering terjadi yang disebabkan oleh insiden dan bukan insiden<sup>[1]</sup>. Kegagalan karena insiden umumnya terjadi karena beban yang melebihi kekuatan komponen atau struktur, misalnya beban kejut (*shock*) karena benturan, beban berlebih (*over load*), dan

lain sebagainya. Sedangkan kegagalan yang bukan insiden disebabkan karena umur operasi yang telah melampaui kalkulasi disain.

Salah satu bentuk kegagalan dari komponen otomotif adalah kegagalan yang terjadi pada sebuah poros roda belakang (*rear axle shaft*) kendaraan. Kondisi tersebut terjadi karena batang poros roda tersebut mengalami kegagalan dini (*premature fracture*) setelah melakukan perjalanan dengan jarak tempuh 3782 km yang tercatat pada *indikator*.

Kegagalan tersebut menimbulkan kerugian baik materi dan non materi yang sangat besar, sehingga suatu penelitian pada kasus tersebut sangat diperlukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan (*root cause of failure*) dari batang poros roda. Dengan demikian, kegagalan atau kerusakan yang sama dapat dihindari atau dicegah dengan memperbaiki prosedur proses pembuatan (*fabrication*) dan kerugian ekonomis dapat diminimalisir.

Komponen poros roda belakang (*rear axle shaft*) yang berfungsi sebagai penggerak belakang dari kendaraan roda empat atau mobil yang dibuat dengan menggunakan material yang mempunyai spesifikasi standar berupa JIS G4051 – S43C.

Dalam proses pembuatan poros roda belakang, batang yang berupa *round bar* dibentuk dengan cara proses tempa (*forging*) dan kemudian dilakukan proses pengerasan permukaan hingga kedalaman 2,5 – 5 mm dengan cara induksi. Adapun nilai kekerasan permukaan yang diharapkan adalah sebesar 550-750 HV, berdasarkan disain manual yang dimiliki oleh industri manufaktur tersebut.

Beberapa teknologi yang digunakan dalam proses pengerasan permukaan adalah<sup>[2]</sup>:

- *Carburizing* yaitu pengerasan permukaan dengan cara memanaskan bahan dalam lingkungan karbon, lalu dibiarkan beberapa waktu pada suhu tersebut dan kemudian didinginkan.

Tujuan dari pengerjaan panas itu adalah untuk memberi lapisan luar pada benda kerja yang akan dikeraskan. Lapisan luar benda kerja yang telah mengambil karbon dinamakan lapisan karbonasi.

- *Carbonitriding* (sianida kering) adalah suatu proses pengerasan permukaan di mana baja dipanaskan di atas suhu kritis dalam lingkungan gas dan terjadi penyerapan karbon dan nitrogen.
- *Cyaniding* atau *carbonitriding* cair merupakan proses dimana terjadi absorpsi karbon dan nitrogen untuk memperoleh permukaan yang keras pada baja karbon rendah yang sulit dikeraskan. Proses ini dilakukan dengan rendaman air garam yang terdiri dari natrium karbonat dan natrium sianida yang dicampur dengan salah satu bahan klorid natrium dan klorid barium, tebal lapisan sekitar 0,3 mm.
- *Nitriding* adalah suatu proses pengerasan permukaan baja paduan dengan cara dipanaskan untuk waktu yang lama dalam suatu atmosfer dari gas nitrogen. Baja dipanaskan sampai 510 °C dalam lingkungan gas ammonia. Nitride yang diserap oleh logam akan membentuk lapisan keras yang tersebar rata pada permukaan logam.

## PROSEDUR PERCOBAAN

Penelitian terfokus pada kegagalan suatu poros roda belakang penggerak otomotif yang baru terpasang, maka metode-metode yang digunakan terbatas seperti terlihat pada skema dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema alur penelitian kegagalan poros roda belakang kendaraan

## Uraian Metode Penelitian

### Pengamatan Visual

Pengamatan visual dimaksudkan untuk memverifikasi dari permasalahan yang terjadi pada poros roda belakang berupa lokasi dan tipe kerusakan seperti bentuk permukaan patahan, area patahan dan indikasi lain yang informatif.

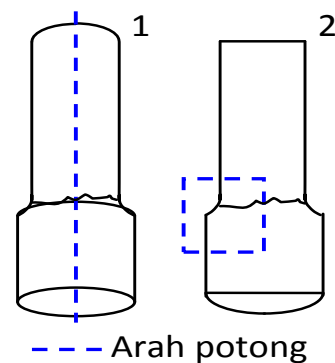
### Pemeriksaan Makro

Pengamatan dilakukan pada permukaan patahan sebelum dan setelah pemotongan sampel untuk mengidentifikasi bentuk permukaan patah dan kemungkinan adanya cacat material yang secara visual tidak dapat terlihat. Peralatan yang digunakan dalam pengamatan makro ini adalah stereo microscope dengan perbesaran 12X.

### Metalografi

Uji metalografi mengacu pada standard ASTM E 3-01 yang meliputi beberapa tahapan antara lain : Posisi pemotongan sampel sesuai dengan lokasi yang telah ditentukan seperti terlihat pada Gambar 2.

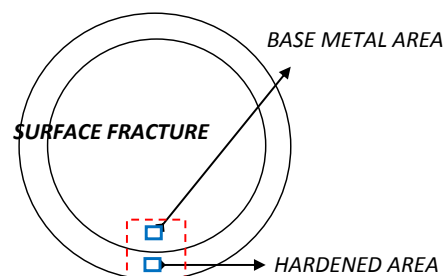
Proses grinding / pengampelasan menggunakan mesin grinding Struers dan kertas ampelas silikon karbida (SiC) dengan berbagai kekasaran dari kekasaran 80 sampai dengan 1200 mesh. Proses pencucian menggunakan alkohol 95%, kemudian dikeringkan dengan peralatan pengering (*hair dryer*). Proses pemolesan (*polishing*) sampel uji pipa menggunakan diamond pasta produk *Struer*. Selanjutnya dilakukan etsa pada sampel uji pipa yang mengacu pada standard ASTM E 407-01 dimana larutan yang digunakan adalah nital 2%.



**Gambar 2.** Ilustrasi area pemotongan sampel poros roda belakang untuk benda uji metalografi

### Fraktografi

Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi dengan perbesaran dalam mikron menggunakan SEM (scanning electron microscope).



**Gambar 3.** Sketsa lokasi pemeriksaan dengan SEM pada permukaan patahan poros roda belakang

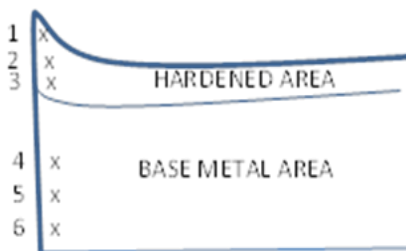
### Analisa Komposisi Kimia

Analisa komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan *spark spectrometer* untuk mencocokkan kesesuaian komposisi

dari unsur-unsur yang terkandung dalam material terhadap spesifikasi yang digunakan sebagai acuan.

### Uji Kekerasan

Pengujian ini dilakukan menggunakan peralatan mesin *hardness tester* “*frank fino test*“, dengan beban uji sebesar 5 kg dan sudut *diamond* 120°. Adapun posisi pengujian yang dilakukan adalah di sekitar permukaan patahan poros roda belakang seperti terlihat dalam ilustrasi pada Gambar 4.

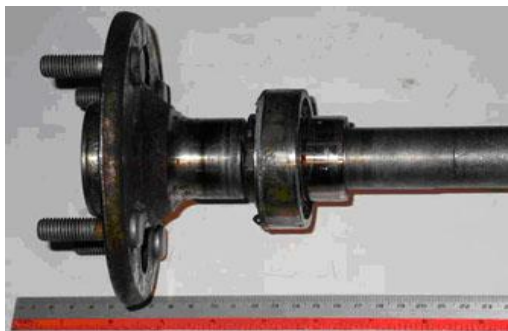


**Gambar 4.** Ilustrasi lokasi uji kekerasan pada poros roda belakang kendaraan yang patah

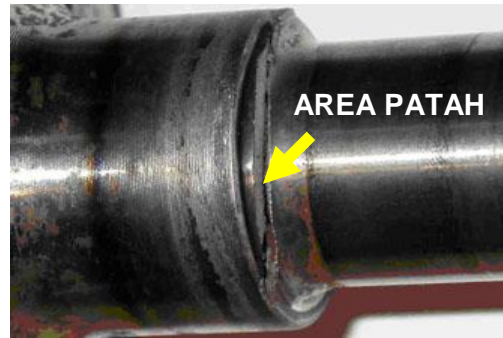
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengamatan Visual

Hasil pengamatan visual pada poros roda belakang kendaraan yang mengalami kegagalan menunjukkan bahwa kegagalan berupa patahnya poros roda belakang terjadi pada bagian luar dari kelahar (*bearing*) yaitu di area transisi antara diameter 32 ke 42 (*fillet radius*) (Gambar 5, 6 dan 7). Pada permukaan patahan juga tidak terlihat adanya indikasi deformasi plastis maupun patah akibat *fatigue*<sup>[3]</sup>.



**Gambar 5.** Kondisi visual axle shaft yang mengalami patah di luar area kelahar (*bearing*)



**Gambar 6.** Kondisi visual setelah kelahar dibuka terlihat poros belakang mengalami patah di area transisi diameter (*fillet radius*)



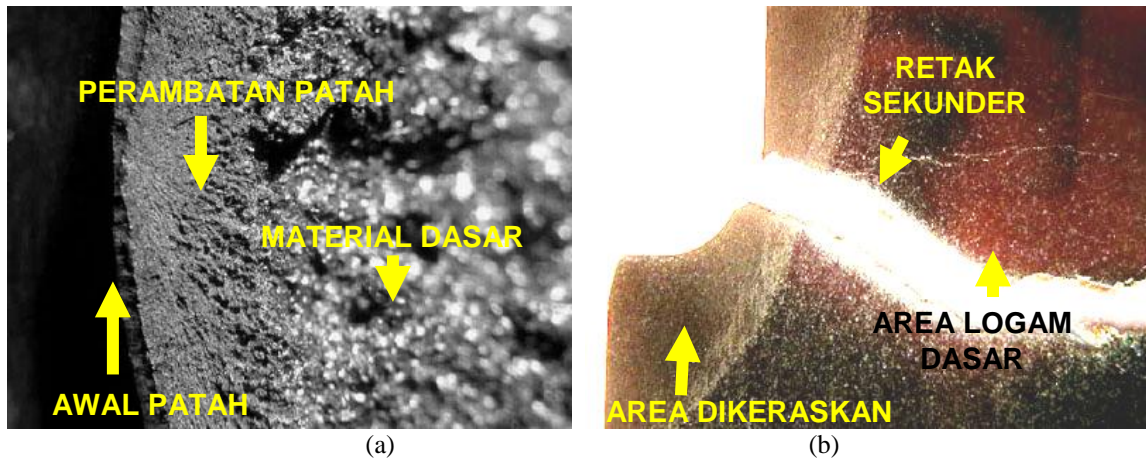
**Gambar 7.** Kondisi visual batang poros roda belakang kendaraan. Pada permukaan patahan tidak terlihat adanya deformasi plastis

### Pengamatan Makro

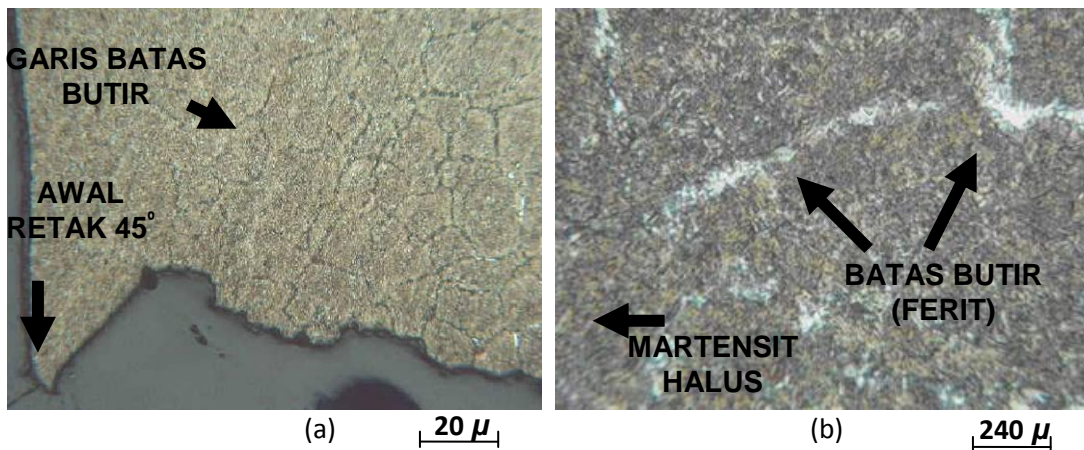
Pengamatan secara makro pada permukaan patahan dengan perbesaran 12 kali memperlihatkan adanya perbedaan karakteristik patahan yaitu antara permukaan patah diameter luar dengan permukaan dalam seperti terlihat pada Gambar 8a, dimana permukaan patah di area diameter luar lebih halus dibandingkan dengan bagian dalam.

Dengan adanya indikasi tersebut dan terlihat adanya batasan sangat jelas di permukaan dalam material pada Gambar 8b yang merupakan penampang potongan memanjang membuktikan bahwa di permukaan luar poros roda belakang telah mengalami proses pengerasan (*heat treatment*)<sup>[4]</sup> sehingga lebih keras dan getas dibandingkan dengan bagian dalam atau material dasar.





**Gambar 8.** Foto struktur makro permukaan patahan pada komponen poros roda belakang dengan *stereo microscope* ; (a) permukaan patahan yang halus dan perambatan patah ulet yang kasar pada area tepi, (b) potongan memanjang di area patahan terlihat adanya batas area yang dikeraskan dan perambatan retak sekunder pada material dasar



**Gambar 9.** Foto struktur mikro dengan mikroskop optik pada area potongan memanjang dari area awal patah pada komponen batang poros roda menunjukkan ; (a) Pada permukaan yang dikeraskan terlihat adanya batas butir dan sudut 45° di permukaan patah, (b) Struktur mikro permukaan dikeraskan berupa martensit dan sisa ferit di area batas butir. Etsa ; Nital 2 %

Dari Gambar 8a dan 8b teramati pula bahwa di permukaan patahan terlihat adanya indikasi awal patah (*initial fracture*) dengan permukaan lebih halus dan perambatan patah (*propagation of fracture*)<sup>[5]</sup> dengan permukaan lebih kasar yang merupakan ciri dari permukaan patah tanpa terjadinya deformasi plastis.

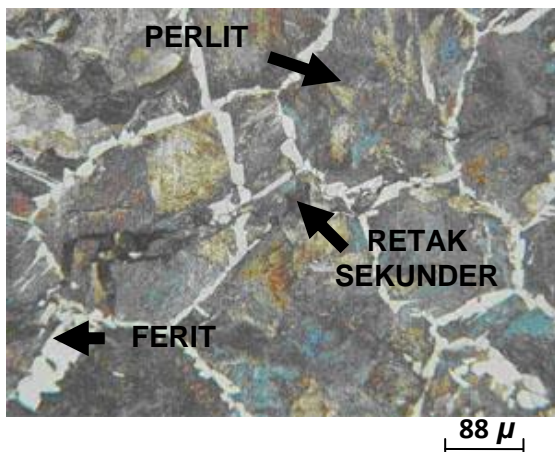
### Pengamatan Mikro

Dari hasil pengamatan secara mikro di permukaan patahan luar poros roda yaitu di sekitar area yang dikeraskan seperti ditunjukkan pada Gambar 9a, permukaan luar patahan terindikasi sebagai area awal

patah (bibir patahan) terbentuk sudut 45° dan juga terlihat adanya batas butir<sup>[6]</sup>. Struktur yang terbentuk di area yang telah mengalami proses pengerasan berupa martensit temper halus (*fine tempered martensite*), dan tidak terlihat adanya inklusi atau senyawa pengotor lain di dalam struktur tersebut (Gambar 9a).

Gambar 9b adalah perbesaran dari Gambar 9a, dimana dalam gambar tersebut terlihat bahwa batas butir yang terbentuk memiliki struktur ferit. Fasa ferit kemungkinan masih tetap bertahan sesuai dengan struktur material dasar yang berupa ferit – perlit normal seperti terlihat pada

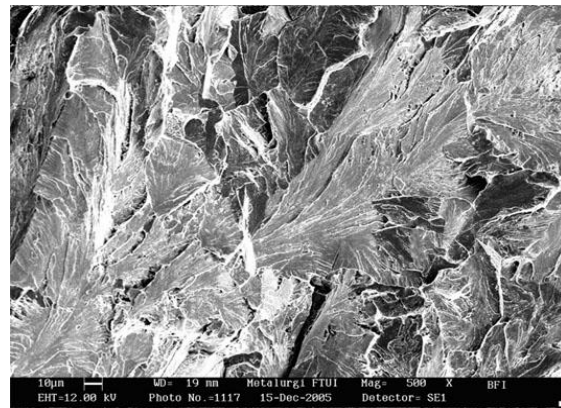
Gambar 10. Diketahui bahwa material dasar poros roda belakang kendaraan merupakan tipe dari material baja karbon<sup>[7]</sup>. Pada gambar tersebut juga terlihat jelas adanya retak sekunder yaitu retak yang timbul sebagai efek dari patahnya poros roda belakang, tidak terdeteksi adanya inklusi atau senyawa pengotor lainnya dalam struktur yang bisa menjadi faktor penyebab retakan (Gambar 10).



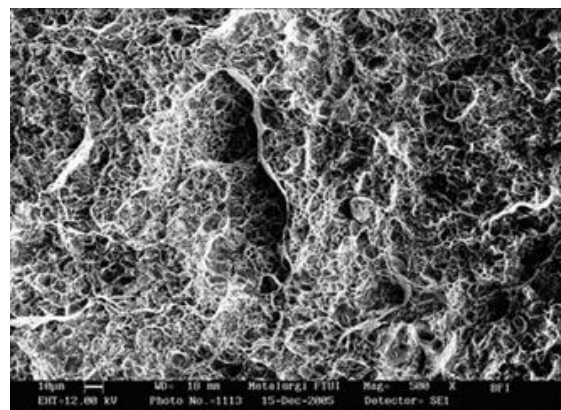
**Gambar 10.** Struktur mikro material dasar dari poros roda belakang berupa ferit - perlit normal, terlihat jelas perambatan retak yang memotong butiran. Etsa 2 % HCl

### Analisa Fraktografi

Gambar 11 menunjukkan foto fraktografi hasil SEM pada permukaan patahan dari komponen poros roda belakang, terlihat adanya perbedaan karakteristik patahan antara area permukaan yang dikeraskan dengan area inti atau logam dasar. Pada permukaan yang dikeraskan (Gambar 11a) terlihat ciri-ciri dari patah getas (*brittle fracture*), dimana permukaan patahan berupa serpihan daun (*cleavage fracture*). Sedangkan pada Gambar 11b, permukaan patahan memiliki ciri-ciri dari patah ulet (*ductile fracture*)<sup>[8]</sup>, dimana dipermukaan patah membentuk rongga-rongga mikro (*microvoid coalescence*).



(a)



(b)

**Gambar 11.** Foto fraktografi permukaan dengan SEM dari komponen poros roda belakang pada; (a) area dikeraskan, (b) area material dasar

### Analisa Komposisi Kimia

Hasil analisa komposisi kimia seperti terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa material batang poros roda belakang memiliki komposisi kimia sesuai dengan standar JIS G 4051 dan tergolong baja karbon medium dengan kandungan C = 0,44% berat, dimana kandungan karbon untuk baja karbon medium adalah berkisar antara 0,40-0,46% berat.

**Tabel 1.** Hasil analisa komposisi kimia batang poros roda belakang dan standar acuan material

Unsur	Hasil Uji (% berat)	Standar JIS G 4051 (% berat)
C	0,44	0,40 – 0,46
Si	0,21	0,15 – 0,35
Mn	0,87	0,60 – 0,90
P	0,017	0,03 maks.
S	0,019	0,035 maks



## Uji Kekerasan

Uji kekerasan yang dilakukan di area yang dikeraskan (disekitar patahan poros roda belakang) dan material dasar menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata di permukaan yang dikeraskan sebesar 626 HV, sedangkan nilai kekerasan pada area logam dasar adalah sebesar 230 HV (Tabel 2).

**Tabel 2.** Perbandingan nilai kekerasan hasil uji terhadap disain dan standar

Lokasi	Hasil Uji (HV)	Kekerasan (HV)
Area Permukaan dikeraskan	653	(Disain) 550 - 750
	558	
	667	
Area logam dasar	223	(Standar JIS G 4051) 400 max.
	232	
	236	

## Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa komposisi kimia, uji kekerasan dan struktur mikro pada material dasar poros roda belakang penggerak roda otomotif (*axle shaft*) dapat digolongkan ke dalam kriteria standar JIS G 4051<sup>[9]</sup> dan memenuhi ketentuan disain. Sehingga dimungkinkan bahwa kegagalan poros roda belakang disebabkan oleh faktor lain.

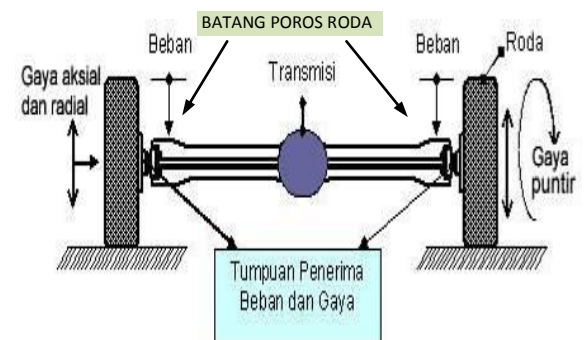
Dari hasil pengamatan visual, struktur makro dan struktur mikro menunjukkan bahwa tidak terlihat adanya indikasi fatigue, retak awal, dan elemen pengotor yang menyebabkan kerusakan poros roda belakang. Struktur mikro material dasar poros roda belakang berupa fasa ferit dan perlit dimana fasa tersebut adalah struktur normal dari material logam dasar. Sedangkan permukaan yang dikeraskan mempunyai struktur berupa martensit halus yang merupakan hasil temper<sup>[10]</sup>.

Namun terlihat bahwa kegagalan poros roda belakang penggerak otomotif terjadi di area transisi diameter 32 ke 42 mm (*out side bearing*), dengan karakteristik

permukaan patahan yang sangat cepat, awal patahan yang membentuk sudut 45°, dan adanya ferit sisa di dalam struktur martensit temper. Maka kegagalan / patahnya poros roda belakang dapat dinyatakan sebagai akibat dari kegagalan proses fabrikasi, meskipun secara komposisi dan kekerasan material telah memenuhi kriteria standar acuan.

Perbedaan permukaan patahan di area yang dikeraskan dengan area material dasar disebabkan oleh perbedaan fasa dari struktur mikro yaitu fasa martensit temper di area yang dikeraskan dan fasa ferit-perlit di area logam dasar. Dari perbedaan fasa di kedua area tersebut, struktur martensit temper mempunyai kekerasan cukup tinggi dan bersifat getas (*brittle*)<sup>[11]</sup> sehingga tidak ada deformasi plastis pada permukaan patahan. Lain halnya bila dibandingkan dengan permukaan patahan dari logam dasar yang memiliki fasa ferit-perlit.

Pada saat kendaraan dijalankan maka di area poros roda belakang akan menerima beban tegangan (*load stress*) yang sangat besar, terutama di area transisi diameter 32 ke 42 mm seperti terlihat pada skema sederhana dari rangkaian poros roda belakang pada Gambar 12 berikut ini.



**Gambar 12.** Skema sederhana rangkaian poros roda belakang pada kendaraan<sup>[12-13]</sup>

Terbentuknya sudut 45° yang merupakan karakteristik dari kekuatan tarik<sup>[8,14]</sup> membuktikan adanya beban kerja yang diterima poros roda belakang cukup besar, terutama di area terjadinya patah dimana merupakan area yang kritis terhadap beban. Oleh sebab itu, patahnya

poros roda belakang diperkirakan adanya beban bentur (*impact load*) sesaat yang cukup besar. Benturan pada roda otomotif dapat terjadi pada saat roda melewati lubang yang dalam atau roda membentur benda keras seperti batuan, pembatas jalan dan lainnya.

Pada dasarnya, poros roda belakang telah didisain dengan perhitungan yang matang oleh para perancang (*designer*) yang mempunyai kemampuan dibidangnya masing-masing.

Dalam proses pembuatan poros roda, proses pengerasan permukaan pada kedalaman tertentu terhadap logam dasar bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis seperti kekuatan (*strength*), ketahanan aus (*wear resistance*) dan kekakuan (*stiffness*). Karena material poros roda merupakan baja karbon yang berupa fasa ferit - perlit bersifat lunak dan ulet, sehingga dilakukan proses pengerasan permukaan pada poros roda belakang tersebut. Proses pengerasan dilakukan dengan merubah fasa di permukaan menjadi fasa martensit temper yang bersifat keras dan getas sehingga kekuatan poros roda meningkat.

Tetapi, dengan adanya batas butir yang berupa ferit yang bersifat lunak di dalam fasa martensit temper akan melemahkan kekuatannya dan merupakan indikasi dari kegagalan proses pengerasan permukaan.

Kegagalan dalam proses pengerasan poros roda belakang ini dapat terjadi akibat temperatur proses perlakuan panas (*heat treatment*) dari permukaan poros roda belakang tersebut belum mencapai temperatur austenisasi<sup>[15]</sup> sehingga hasil akhir dari proses perlakuan panas di permukaan poros roda belakang yang diharapkan sepenuhnya fasa martensit (*full martensit*) tidak terjadi karena batas butir berupa ferit masih tersisa di dalam struktur mikro tersebut (fasa martensit).

Dengan tidak tercapainya kekuatan yang diharapkan dalam proses fabrikasi (*heat treatment*) di area transisi poros roda belakang tersebut, maka beban tegangan yang seharusnya masih dapat ditahan oleh

poros roda belakang tidak dapat terjadi sesuai dengan ketentuan yang diinginkan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil penelitian mengenai kegagalan yang terjadi pada komponen poros roda belakang kendaraan dapat disimpulkan bahwa :

1. Kegagalan komponen poros roda saat dioperasikan merupakan bentuk dari patah yang diakibatkan oleh proses pengerasan permukaan material yang tidak sempurna.
2. Ketidak sempurnaan pengerasan terlihat pada struktur mikro permukaan yang dikeraskan yang masih menyisakan batas butir di dalam fasa martensit, sehingga kekuatan material poros roda belakang (*rear axle shaft*) tidak sesuai dengan kriteria yang diinginkan (kekuatannya rendah).
3. Dengan kekuatan material yang rendah, khususnya di area tumpuan beban (*stress concentration*), maka adanya beban yang cukup besar terutama beban kejut (*impact load*) menyebabkan patahnya poros roda belakang penggerak kendaraan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djoko W Karmiadi. 2011. *Optimasi Disain : Material, Komponen, Konstruksi. Teori dan Aplikasi. Fakultas Teknik . Universitas Pancasila Jakarta : Engineering clinic.*
- [2] George E Totten Phd. 2006. *Steel Heat Treatment Metallurgy And Technologies. Steel Treatment Hand-book*, Oregon : Yaylor & Francis LLC.
- [3] Stanley T Rolfe & John M Barsom. 1977. *Fractures and Fatigue Control in Structures. Application of Fracture Mechanics*, New Jersey : Prentice hall Inc.
- [4] J R Davis. 1994. *Surface Engineering : Surface Engineering*



- of Carbon and Alloy Steel. ASM Handbook : Material Information Society, Ohio : Vol 5.*
- [5] Helmet Thielsch. 1963. *Defects And Failures in Pressure Vessel And Piping*, Malabar Florida : Robert Krieger Publishing.
- [6] JR Davis. 1992. *Materials Engineering Dictionery. ASM Handbook : Material Information Society. Ohio.*
- [7] Bruce L Bramfitt. 2002. *Carbon And Alloys Steel. Handbook of Materials Selection Edited by Myer Kutz*, New York : John Wiley & Sons inc.
- [8] Colengelo & Hesser. 1974. *Analysis of Metallurgical Failures*, New York : Jhon Willey & Sons.
- [9] JIS Standards. 1998. *Ferrous Materials & Metallurgy I. JIS Handbook G 4051*, Tokyo : Japan Standard Association.
- [10] George Krauss. 1998. *Properties and Selection : Irons, Steels and High-Performance Alloys, Microstructures, Processing, and Properties of Steels. ASM Hand-book : Material Information Society, Ohio : Vol 1.*
- [11] Michael B. Bever. 2004. *Metallography and Microstructures. Introduction to Structures in Metals. ASM Hand-book : Material Information Society, Ohio : Vol 9.*
- [12] RC Van Ree. 1952. *Teknik Mobil. Buku Teknik*, Jakarta Raya.
- [13] Toyota Astra Motor. 1995. *Pedoman Reparasi Chasis dan Bodi. Toyota Kijang Seri KF40–50. RA 3 – 7*, Jakarta.
- [14] WT Becker. 1994. *Failure Analysis : Mechanisms and Appearances of Ductile and Brittle Fracture in Metals. ASM Handbook : Material Information Society, Ohio : Vol 11.*
- [15] William C Leslie. 1981. *The Physical Metallurgy of Steels*, New York : Mc Graw Hill.

## RIWAYAT PENULIS

**M. Syahril**, dilahirkan di Palembang pada tanggal 04 Agustus 1965. Tahun 1986-1992 Lulus Sarjana Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Tahun 2012 menyelesaikan Pasca Sarjana Teknik Manufaktur di Universitas Pancasila. Tahun 1996 melaksanakan program Training “*Corrosion Engineering*” di Singapura. Tahun 2002 melaksanakan kursus dan akreditasi Ahli Korosi Madya, di INDOCOR Bandung. Sampai saat ini masih aktif bekerja pada B2TKS (UPT-LUK) BPP Teknologi berkedudukan di Serpong, sebagai staf peneliti Bidang Material.

