

ANALISA KEGAGALAN PATAH LELAH PADA RODA GIGI

Heru Danarbroto *)

ABSTRAK

Dalam menjalankan fungsinya sebuah komponen mesin dapat mengalami kegagalan, meskipun komponen tersebut masih baru. Perubahan baik bentuk, dimensi, maupun sifat materil, yang dialami oleh sebuah komponen mesin yang mengakibatkan mesin tersebut tidak dapat menjalankan fungsinya sebagaimana mestinya, seperti yang direncanakan.

Dalam penelitian ini dapat dicapai dengan melakukan pengujian yang bersifat merusak (*destructive material testing*) menggunakan uji kekerasan dan pengujian yang tidak merusak (*non-destructive material testing*) menggunakan uji makroskopik dan mikroskopik,

Kata Kunci : Patah lelah, roda gigi

PENDAHULUAN

Kegagalan (failure) suatu komponen mesin dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan komponen mesin untuk melakukan fungsinya. Komponen mesin merupakan salah satu dari suatu system komponen. Komponen mesin yang membentuk sebuah mesin atau peralatan sehingga jika satu komponen mesin tersebut mengalami kegagalan, maka akan terjadi :

1. Mesin atau peralatan tersebut tidak dapat dioperasikan sama sekali.
2. Mesin atau peralatan dapat dioperasikan, tetapi tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.
3. Mesin atau peralatan tidak aman bila dioperasikan.

Analisa yang hampir selalu dibuat dalam rangka mencari sebab utama Kegagalan adalah analisis tegangan statis, analisis patah lelah.

1. Analisa dan Perhitungan

Pada analisis tegangan statis dilakukan :

- a. Perhitungan gaya dan momen yang bekerja pada komponen yang rusak atau gagal.
- b. Penentuan potongan yang paling berbahaya dan titik pada potongan tersebut, dimana terjadi tegangan yang besar.

*) Jur Teknik Mesin Fak Teknik Universitas Pandanaran

- c. Perhitungan tegangan maksimum.

- d. Membandingkan tegangan maksimum tersebut dengan tegangan luluh (*yield stress*) dan tegangan ultimat (*ultimate stress*)
- e. Jika tegangan maksimum yang terjadi melebihi tegangan luluh atau bahkan melebihi tegangan ultimat, maka adalah salah satu sebab utama kegagalan telah ditemukan

Tegangan surface ⁶⁾

$$\sigma_b = 0,59 \frac{i+1}{A} \sqrt{\frac{M_{tp} \cdot (1+i) k_c \cdot k_d \cdot E \cdot k_n \cdot \cos \beta}{B \cdot \epsilon \lambda \cdot \sin 2\sigma}}$$

Dimana :

- M_{tp} = momen puntir ⁷⁾
 $= \frac{71620 \cdot N}{n}$
 $= \frac{71620 \cdot 10}{1400}$
 $= 511,57 \text{ kg.cm}$
 - i = factor reduksi
 $= \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{130}{44} = 2,95$
-
- k_c = factor konsentrasi tegangan
 $= 1$ (dari table untuk HB < 350)
 - k_d = factor beban dinamik
 $= 1,2$ (untuk DOAC = 7 pada helical gear HB < 350)
 - A = jarak sumbu poros = 200 mm
 - k_n = factor konsentrasi tegangan = 1,39
 - β = sudut garis kontak gigi = 10°
 - B = lebar gigi = 0,75 cm
 - E = modulus elastisitas untuk baja
 $= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 - $\delta \cdot \lambda$ = $1,3 - 1,39$ diambil 1,34
 - σ = sudut involute tekan = 20°
 - y = factor bentuk

2. Pengumpulan Data dan Pengujian Spesimen di Laboratorium

Satu metoda yang telah tersusun, mulai dari tahap awal yaitu menerima komponen mesin yang gagal yang diikuti oleh tahap-tahap berikutnya sampai mencapai tahap akhir dicapai melalui prosedur yang sesuai.

Prosedur tentang pemeriksaan kegagalan yang dapat disusun adalah prosedur tentang pemeriksaan komponen mesin yang gagal atau spesimennya, yaitu urutan langkah-langkah semua data

yang diperlukan untuk menganalisis diperoleh sebelum specimen habis atau hancur oleh pengujian yang bersifat merusak (*destructive testing*).

3. Kegagalan Komponen Mesin Akibat Patah Lelah

Untuk menganalisis penyebab terjadinya suatu kepatahan, dibutuhkan beberapa sarana yang meliputi kemampuan teknis, pengamatan yang cermat, penggunaan nalar sehat, dan keahlian pendidikan. Banyak informasi yang berhubungan dengan terjadinya kepatahan dapat diperoleh dengan pengamatan pada permukaan penampang roda gigi pinion miring dengan analisa struktur mikro.

Tujuan Penelitian :

Untuk dapat menganalisa adanya sebab kepatahan pada roda gigi pinion dengan menggunakan metoda analisa perhitungan tegangan dan analisa pemeriksaan mikroskopik dan makroskopik yang mana nantinya akan ditemukan cacat atau ketidaksesuaian struktur mikro pada material roda gigi yang patah,

PELAKSANAAN PENELITIAN

1. Secara Visual

Jika keadaan memungkinkan, pemeriksaan awal semua kegagalan sebaiknya dilakukan di tempat kejadian. Mesin yang salah satu atau beberapa komponennya mengalami kegagalan, sebaiknya tidak diusik lebih dahulu sebelum dilakukan pemeriksaan visual secara cermat dan teliti. Pada saat itu, sebaiknya dilakukan pada pemotretan dari beberapa sudut, baik mesin keseluruhan maupun pada komponen yang gagal, jika perlu dilakukan pada pembuatan film atau video.

Pengamatan secara visual pada mesin yang mengalami kegagalan atau kerusakan lebih dari satu. Dalam hal jumlah komponen yang rusak lebih dari satu, maka pengamat harus mencoba memperoleh kesan tentang komponen-komponen yang gagal terlebih dahulu pada umumnya tidak mudah diperoleh.

Untuk pemeriksaan kegagalan lebih lanjut, maka harus dipilih sampel komponen-komponen yang gagal. Pemilihan sampel untuk pemeriksaantersebut bukanlah hal yang mudah dan harus dilakukan dengan benar, agar sampel tersebut bukanlah hal yang mudah dan harus dilakukan dengan benar, agar sampel tersebut biasanya dilakukan di tempat kejadian, tetapi di laboratorium. Dengan diambilnya sampel maka keadaan mesin yang gagal telah terusik, dan keadaan saat kegagalan terjadi dapat dilihat kembali dari foto atau film yang telah dibuat sebelumnya.

Jika hanya sebuah komponen saja, yang mengalami kegagalan, maka komponen yang gagal tersebut yang diambil untuk diperiksa lebih lanjut.

Untuk kegagalan yang berupa patah, kadang-kadang pemeriksaan secara visual pada permukaan patah saja sudah cukup untuk menentukan model kegagalan, misalnya beberapa macam permukaan akibat fatigue dan lain-lain. Tetapi ada juga yang harus melalui tahapan selanjutnya, baru dapat ditentukan model kegagalannya.

Kegagalan yang berupa kerusakan permukaan, seperti beberapa macam kerusakan permukaan yang terjadi pada permukaan roda gigi, seringkali dapat diperiksa secara visual.

2. Secara Makroskopik

Yang dimaksud dengan pemeriksaan secara makroskopik adalah pemeriksaan secara visual secara mendetail dengan pembesaran antara 1 sampai 100 kali, yang dapat diperoleh dengan mata biasa, dengan bantuan lensa pembesar atau dengan bantuan mikroskop, dengan pembesaran rendah.

Dengan pemeriksaan secara permukaan patah dengan cara makroskopik, dapat diperoleh gambaran apakah permukaan patahnya terang (*bright*) atau kelabu, apakah permukaan patahnya kasar atau halus. Konfigurasi patah dapat juga memberikan indikasi tentang kombinasi tegangan yang mendahului patah tersebut.

Pada permukaan patahan dapat juga terlihat arah patahan flat, arah patahan miring atau keduanya.

Arah patahan tersebut juga merupakan indikasi model kegagalan. Arah patahan flat menunjukkan bahwa patah dapat terjadi disebabkan tegangan tarik, sedangkan arah patahan miring menunjukkan bahwa patah yang terjadi disebabkan tegangan geser. Jika permukaan patah menunjukkan kedua arah patahan, yaitu flat dan miring, maka biasanya dapat disimpulkan bahwa arah flat terjadi terlebih dahulu.

Permukaan patah yang telah dibesarkan, kemudian direkam foto. Untuk mengetahui jenis patahan yang terjadi, maka foto tersebut dibandingkan dengan kumpulan foto yang masing-masing telah diketahui jenis patahan atau kegagalannya, satu persatu sampel ditemukan foto yang menunjukkan berbagai jenis patah atau gagal tersebut dinamakan juga Atlas Patah. Bagi seorang pakar, maka dengan melihat keadaan permukaan patah yang dibesarkan saja sudah dapat menentukan jenis kegagalan. Tetapi bagi seorang pemula atau ahli baru, diperlukan atlas patah untuk dapat menentukan jenis kegagalan yang sedang diperiksa.

3. Pemeriksaan Mikroskopik

Pemeriksaan mikroskopik, seperti halnya pemeriksaan makroskopik, adalah pemeriksaan secara mendetail pada permukaan patahan atau permukaan yang mengalami kegagalan. Bedanya terletak pada skala pembesaran sampai 1000 x, bahkan ada yang sampai 4000x. Pemeriksaan mikroskopik pada permukaan patah atau permukaan yang mengalami kerusakan tersebut dinamakan juga *microfractography*.

Alat yang dapat digunakan untuk melakukan pemeriksaan mikroskopik adalah mikroskop electron. Ada dua cara yang dapat dipakai untuk pemeriksaan permukaan yang mengalami kerusakan, yaitu :

1. Pemeriksaan permukaan patah secara langsung
2. Pemeriksaan replica permukaan patah, untuk pemeriksaan dengan mikroskop.
3. Hasil pembesaran pemeriksaan secara mikroskopik, juga direkam pada foto. Interpretasi hasil pembesaran permukaan patah pada pemeriksaan mikroskopik tidak mudah dilakukan. Untuk

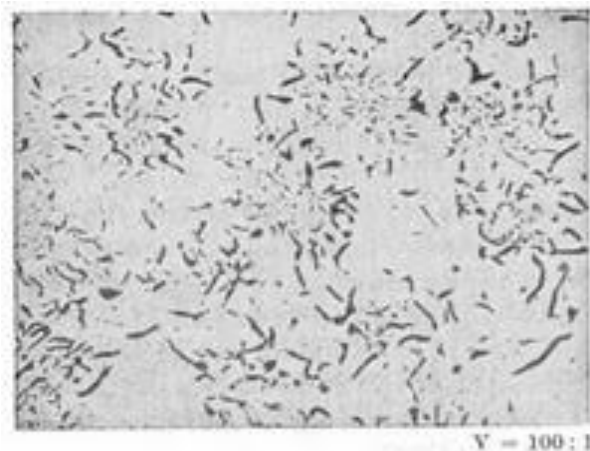
Maksud tersebut diperlukan pengalaman praktek dan bahkan pengetahuan tentang mekanika retak atau mekanika patah.

Pada hasil pemeriksaan mikroskopik yang dapat dikenal sebagai model kegagalan tertentu hanya sedikit jenisnya, yaitu :

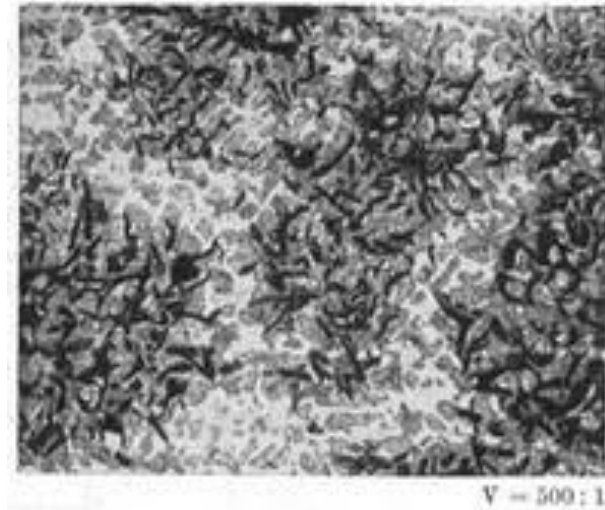
1. *Dimpled fracture*, kegagalan yang disebabkan tegangan yang terlalu besar pada logam ulet dan paduan.
2. *Cleavage facets*, kegagalan berupa patah getas transgranular dari logam dan paduan logam body-centered cubic.
3. Patah getas *intergranular*, yang pada umumnya terjadi pada baja getas yang distemper (tempered brittle steel), dimana patah ini disebabkan karena segregasi dari jenis penggetasan pada batas butir (seperti oksigen dalam besi atau nikel), karena letak korosi tegangan intergranular atau penggetasan hydrogen.

ANALISA STRUKTUR MIKRO

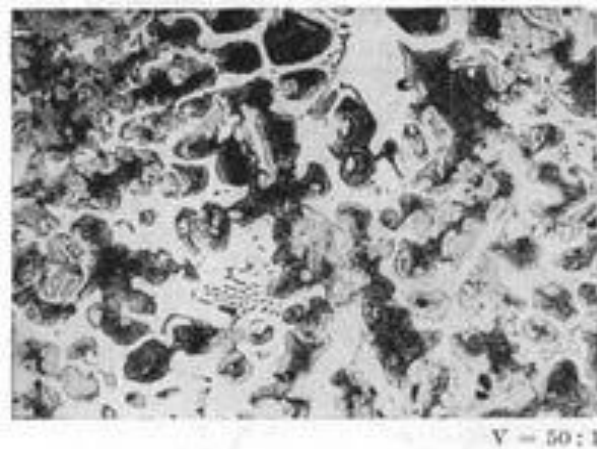
Sampel-sampel untuk pemeriksaan metalography diambil dari bahan roda gigi pinion miring. Untuk pemeriksaan struktur mikro dibuat sampel-sampel sebagai berikut :



Gambar Struktur mikro besi tuang kelabu non-etsa



Gambar Struktur mikro besi tuang kelabu non-etsa pembesaran 100 x Nital 2 %

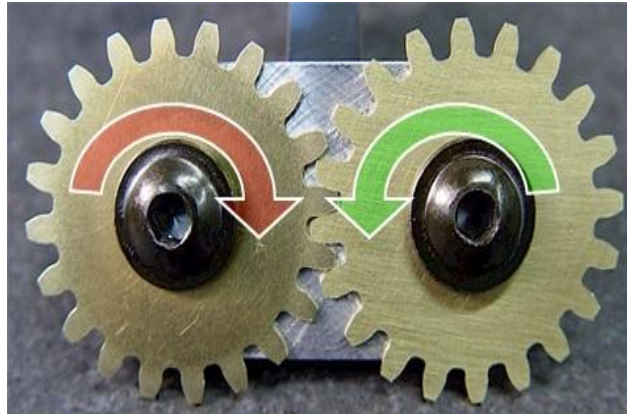


Gambar Struktur mikro besi tuang kelabu non-etsa pembesaran 400 x Nital 2 %

Grafrit merupakan bagian terlemah dalam besi tuang. Kekuatan besi tuang sangat bergantung pada kekuatan matriksnya. Matriks ini tergantung pada kondisi dari *sementit* pada *eutectoid*. Bila komposisi dan laju pendinginan diatur sedemikian rupa sehingga sementit pada eutectoid juga akan menjadi *grafit*, maka struktur dari matriks sepenuhnya *ferritik*.

Sebaiknya bila grafitisasi dari sementit pada eutectoid dapat dicegah, maka struktur dari matriksnya adalah *perlitik*. Struktur dari matriks ini dapat diatur mulai dari kedua ektrim diatas, sepenuhnya ferritik maupun perlitik, ataupun merupakan campuran dari ferrit dan perlit dengan berbagai perbandingan,. Karena juga sifat dan kekuatan besi tuang akan bervariasi. Pengaturan struktur tersebut dilakukan dengan mengontrol komposisi, terutama karbon, silikon, dan mangan, dan laju pendinginan.

Struktur matriks yang ferritik adalah struktur dari besi tuang kelabu yang paling lunak dan lemah. Kekuatan dan kekerasan besi tuang kelabu dapat dinaikkan dengan menaikkan jumlah karbon yang berupa sementit dalam eutectoid, dan akan mencapai maksimum pada struktur *matriks perlitik*.



Gambar Penampang roda gigi pinion miring.

PENGUJIAN KEKERASAN

PENGUJIAN	VICKER HARDNESS (VHN)	BRINNEL HARDNESS (BHN)
1.	196	185
2.	203	193
3.	191	180
4.	205	185
5.	213	197

Angka kekerasan pada penampang sampel roda gigi pinion miring diperoleh dengan pengujian Vicker dan Brinell.

KESIMPULAN

Pada gambar struktur mikro yang dietsa memakai natal, yaitu terdiri dari asam nitrat (HNO_3 + alcohol). Sebagian gigi pada roda gigi pinion yang mengalami kerusakan ditemukan keausan yang hebat. Gigi-gigi yang terbuat dari besi paduan ini sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan mempunyai kekerasan brinell ($\text{HB} = 240$). Pengujian kekerasan yang dilakukan pada sebagian gigi yang masih utuh menunjukkan kekerasan yang hanya 197 HB. Angka kekerasan Brinell yang menurun ini menyebabkan ke tegangan surface yang diijinkan (τ_{surf}) < σ_{surf} , oleh karena itu dapat berakibat keausan pada roda gigi pinion miring.

Disamping itu tegangan bending σ_b , akan melebihi tegangan bending yang diijinkan (σ_b), maka factor bentuknya akan mengecil, hal itu akan dapat menyebabkan kepatahan pada roda gigi pinion miring.

Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh kekerasan Vickers : 191 – 213 dan Brinell : 180 – 197. Hal ini memenuhi syarat untuk bahan roda gigi pinion ialah besi cor kelabu FC25 dengan BHN 180 s/d 240.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah shahab, Dr.Ir.MSc, **ANALISA KEGAGALAN SUATU KOMPONEN**, staff pengajar jurusan teknik mesin, FTI-ITS.

Amiril, Ir ; **TRANSMISI RODA GIGI**, ITN, Malang.

Collins, J.A ; **FAILURE OF MATERIAL IN MECHANICAL**, Analysis, Prediction, dan Preventio, John Willey and Sons Inc, Canada, 1981.

Dieter George E, ; **MECHANICAL METaLLURGY**, Third Edition, Mc. Graw Hill, Singapore, 1986.

Popov , **MECHANICS OF MATERIALS**, 2nd Edition, Versi SI, 1983.

Harsokoesoemo, Dr., Ir., H. Darmawan ; **KRITERIA PATAH LELAH UNTUK PERANCANGAN ELEMEN MESIN**, Jurusan Teknik Mesin, ITB , 1989

Kare Hellen, ; **INTRODUCTION TO FRACTURE MECHANICS**, International Student Edition, 1985.

KURSUS SINGKAT APLIKASI PRAKTIS MEKANIKA RETAKAN, Laboratorium Aerodinamika Pusat Antas Universitas Ilmu Rekayasa, ITB, 1989.

Metal Hand Book, 8 th Edition, Vol.7, **ATLAS OF MICROSTRUCTURE OF INDUSTRIALS ALLOYS**.

Colangelo dan F.A. Heiser, **ANALYSIS OF METALLURGICAL FAILURE**, 2nd Edition, 1987.