

## FENOMENA PATAH LELAH BATANG TORAK MESIN KENDARAAN NIAGA

### PHENOMENON OF SHAFT FATIGUE FRACTURE OF COMMERCIAL VEHICLE ENGINES

Hadi Sunandrio

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) - BPP Teknologi  
Kawasan PUSPIPTEK - Setu- Tangerang Selatan 15314 - Banten  
Telp. : 021-7560562 ext. 1069, Fax. : 021-7560903  
Email : hadisunandrio@yahoo.com

#### Abstrak

Batang torak (*connecting rod*) mesin kendaraan niaga mengalami patah di daerah *connecting rod shank*, pada saat kendaraan tersebut sedang berjalan. Untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan tersebut, maka perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian di laboratorium terhadap patahan batang torak tersebut, meliputi : pemeriksaan fraktografi, pemeriksaan metalografi, pengujian kekerasan, analisa komposisi kimia dan pemeriksaan dengan SEM. Dari hasil pemeriksaan dan pengujian diketahui bahwa patahnya *connecting rod shank* disebabkan karena mengalami patah lelah (*fatigue fracture*). Bila dilihat dari luasan area lelah (*fatigue area*) yang lebih besar dibandingkan dengan sisa patahannya (*final fracture*), maka dapat diketahui bahwa *connecting rod shank* telah mengalami patah lelah akibat beban *unidirectional bending*, dengan tegangan nominal yang rendah (*low nominal stress*) tanpa adanya konsentrasi tegangan (*no stress concentration*). Struktur mikro *connecting rod shank* adalah ferrite dan pearlite, Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia dan pengujian kekerasan menunjukkan jenis materia dari *connecting rod shank* sesuai dengan spesifikasi yang digunakan, yaitu JIS G 4051 Grade S 20 C.

**Kata kunci** :batang torak, patah lelah, beban tekuk searah, tegangan nominal rendah, tanpa konsentrasi tegangan

#### Abstract

*The connecting rod engine of commercial vehicle was suffering damage on the coneecting rod shank area, while its running. To determine the cause of the damage, it is necessary to do inspection and test on the connecting rod fracture in the laboratory, includes: fractography examination, metallography examination, hardness testing, chemical composition analysis and SEM examination. From the results of inspection and testing are known that the fracture of connecting rod shank caused by fatigue fracture. By observing that extent of fatigue area is larger than the final fracture, shows that the connecting rod shank has suffered unidirectional bending fatigue due to load, with nominal low stress and no stress concentration. Connecting rod shank microstructure is ferrite and pearlite, From the results of the chemical composition and hardness testing indicates the type of connecting rod shank material is in accordance with the specification, JIS G 4051 Grade S 20 C.*

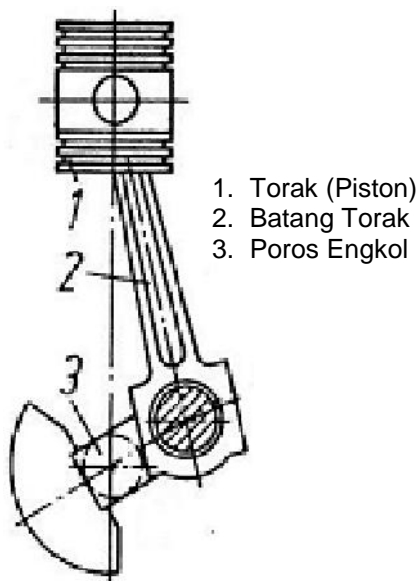
**Key words** : *connecting rod, fatigue fracture, unidirectional bending, low nominal stress, no stress concentration*

Diterima (received) : 16 Juni 2014, Direvisi (reviewed) : 22 Juni 2014,  
Disetujui (accepted) : 10 Juli 2014

**PENDAHULUAN**

Untuk keperluan transportasi mengangkut berbagai keperluan umumnya menggunakan kendaraan roda empat jenis *pick-up*. Bila salah satu komponen vital dari kendaraan niaga tersebut mengalami kerusakan, maka ada kemungkinan bila kendaraan tersebut melaju pada kecepatan tinggi akan berakibat fatal dan dapat menyebabkan kecelakaan. Oleh sebab itu kerusakan yang terjadi pada suatu komponen haruslah ditemukan sedini mungkin penyebabnya, sehingga dapat mencegah kemungkinan terjadinya kecelakaan.

Umumnya kendaraan roda empat jenis *pick-up* yang banyak beroperasi di Indonesia menggunakan mesin sebagai penggerak utamanya. Dimana poros engkol berfungsi merubah gerak turun naik piston melalui batang piston untuk selanjutnya dirubah menjadi gerak putar, tenaga inilah yang dipakai kendaraan untuk bisa berjalan. Susunan komponen mesin penggerak utama ditunjukkan pada Gambar 1.



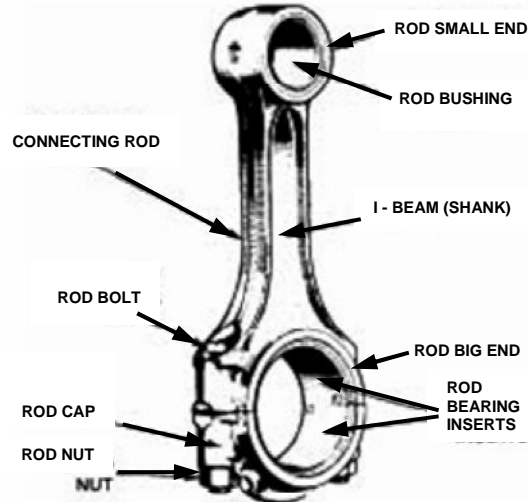
- 1. Torak (Piston)
- 2. Batang Torak
- 3. Poros Engkol

Gambar 1.

Susunan dari komponen mesin yang berfungsi sebagai penggerak utama.

Batang torak terletak pada mesin menghubungkan silinder liner dan poros engkol. Piston bergerak secara translasi sepanjang silinder liner akibat proses pembakaran dalam ruang silinder. Pada batang torak melalui pena torak menggerakkan silinder dengan gerakan translasi diubah menjadi gerakan rotasi melalui poros engkol. Bagian bawah batang torak dengan poros engkol dihubungkan dengan sambungan baut. Batang torak

memerlukan analisis kekuatan karena pembebanan dinamis terhadap komponen tersebut sangat diperlukan agar mendapatkan produk yang berkualitas aman, kuat dan ekonomis. Rangkaian penghubung batang torak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2.

Rangkaian Penghubung Torak

Kendala yang terjadi adalah pada komponen batang torak (*connecting rod*) kendaraan *pick-up* mengalami patah di daerah *connecting rod shank*, pada saat kendaraan tersebut sedang berjalan. Posisi batang torak yang sering menyala dan patah ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3.

Bentuk *connecting rod* pada silinder 1 kendaraan *pick-up* yang mengalami patah

Kronologi kejadian patahnya batang torak adalah sebagai berikut :

Kendaraan roda empat pick-up pada saat digunakan dalam perjalanan memuat beban  $\pm 835$  kg. Setelah lampu hijau, saat kendaraan mulai melaju terjadi kerusakan pada mesin, yakni :

- Silinder 1 : Connecting Rod patah
- Silinder 2 : Tidak terjadi kerusakan
- Silinder 3 : Connecting Rod sedikit bengkok namun tidak patah
- Silinder 4 : Tidak terjadi kerusakan

Untuk mengetahui penyebab patahnya *connecting rod shank* tersebut, maka perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian di laboratorium meliputi: pemeriksaan fraktografi, pemeriksaan metalografi, pengujian kekerasan, analisa komposisi kimia dan pemeriksaan dengan SEM.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

*Connecting rod shank* yang patah tersebut menggunakan bahan dari standard JIS G 4051 Grade S 20 C.

- Jenis Kendaraan : Pick-up
- Nama Part : Connecting Rod

### Metode Penelitian

#### 1. Pemeriksaan Fraktografi

Pemeriksaan fraktografi (mengacu pada ASTM E 340 sebagai referensi) : Untuk memeriksa permukaan kerusakan dan mendeteksi jenis kerusakan serta mencari awal dari kerusakan dengan menggunakan stereo mikroskop perbesaran 12X dan 25X

#### 2. Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi (mengacu pada ASTM E 407): Untuk mengamati struktur makro dan mikro serta mengamati kemungkinan adanya cacat mikro yang tidak terdeteksi oleh alat lain. Sampel untuk pemeriksaan metalografi diambil dari potongan memanjang di daerah awal terjadinya patahan.

Urutan pekerjaan pemeriksaan metalografi adalah sebagai berikut :

- a. Pemotongan sample dengan alat potong yang tidak menimbulkan panas.
- b. Penggerindaan menggunakan amplas dengan kekasaran 80, 220, 400, 600, 800, 1000 dan 1200.
- c. Pemolesan menggunakan pasta dengan ukuran  $\frac{1}{4}\mu$ ,  $1\mu$ ,  $3\mu$  dan  $6\mu$ .
- d. Peng-etsa-an dengan cairan Nital 2%.
- e. Pemotretan menggunakan mikroskop "Metalloplan", dengan perbesaran 50X, 200X dan 500X.

#### 3. Pemeriksaan Komposisi Kimia

Pemeriksaan komposisi kimia (mengacu pada ASTM A 751) : Untuk meneliti kandungan elemen yang ada pada material dasar *connecting rod* apakah sesuai dengan standard. Mesin yang digunakan untuk pemeriksaan komposisi kimia adalah mesin "OES Metorex Arc-Met SP 930".

#### 4. Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan (mengacu pada SNI 19-0406): Untuk mengevaluasi perubahan nilai kekerasan yang terjadi setelah beroperasi. Mesin yang digunakan untuk pengujian kekerasan adalah mesin "frank finotest" pada temperatur ruang, dengan metode uji *vickers (HV)*, beban 5 kg dan waktu pengujian 15 detik.

#### 5. Pemeriksaan dengan SEM

Pemeriksaan dengan SEM (*scanning electron microscope*): Untuk pemeriksaan atau mengamati detail permukaan patahan (mikro fraktografi) dan mampu menampilkan pengamatan obyek secara tiga dimensi, yang berisi informasi tentang topografi permukaan patahan apakah akibat pengaruh dari beban *overload* (beban lebih), dan *fatigue* (lelah).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pemeriksaan dan Pengujian

#### 1. Pemeriksaan Makro Fraktografi

Pada Gambar 4 terlihat bahwa *connecting rod* mengalami patah pada batang penggerak (*connecting rod shank*).

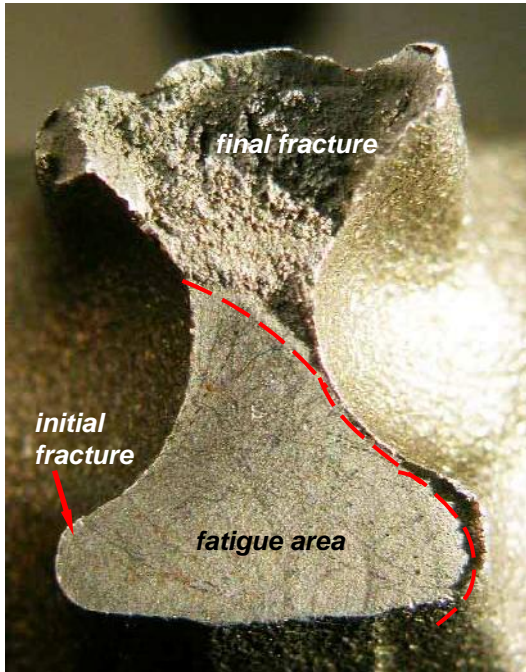


Gambar 4.

Perbesaran dari Gambar 3 yang memperlihatkan patahan terjadi pada batang penggerak (*connecting rod shank*).

Pada permukaan patahan *connecting rod shank* memperlihatkan adanya ciri khas patah lelah (*fatigue fracture*), ditandai dengan adanya alur-alur yang menyerupai garis-garis pantai (*beach mark*) yang merupakan daerah patah lelah (*fatigue area*), dan mengarah kesatu titik (lihat tanda panah merah) yang merupakan awal terjadinya patahan (*initial fracture*). Sedangkan pada

permukaan yang lebih kasar merupakan daerah akhir patahan (*final fracture*), seperti pada Gambar 5 sampai Gambar 7. Gambar 8 menunjukkan lokasi pemotongan sampel dengan arah sejajar sumbu untuk pemeriksaan metalografi.



Gambar 5.

Photo makro permukaan patahan *connecting rod shank* yang memperlihatkan adanya ciri khas patah lelah (*fatigue fracture*)



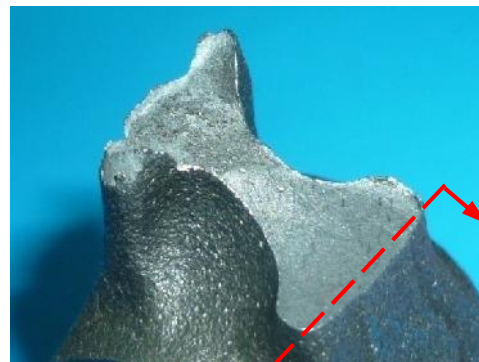
Gambar 6.

Photo makro pada daerah patah lelah (*fatigue area*), sedangkan tanda panah merupakan awal terjadinya patahan (*initial fracture*)



Gambar 7.

Photo makro pada daerah akhir patahan (*final fracture*)

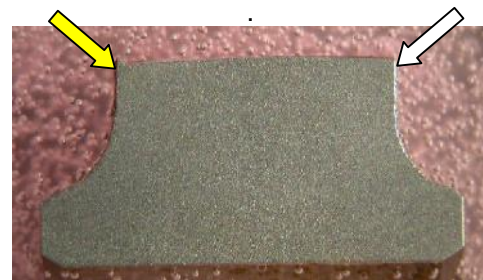


Gambar 8.

Lokasi pemotongan arah sejajar sumbu untuk pemeriksanan metalografi.

## 2. Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan secara makro etsa terhadap potongan sejajar sumbu *connecting rod shank* (lihat Gambar 9 dan 10), dimana tanda panah putih merupakan awal patahan (*initial fracture*) dan tanda panah kuning merupakan akhir patahan (*final fracture*) terlihat membentuk sudut 45°. Photo makro etsa pada potongan sejajar sumbu *connecting rod shank* di daerah yang merupakan terjadinya awal patah lelah (*initial fatigue fracture*) lihat tanda panah putih. Sedangkan pada bagian atas merupakan permukaan patahan/*fatigue area*.

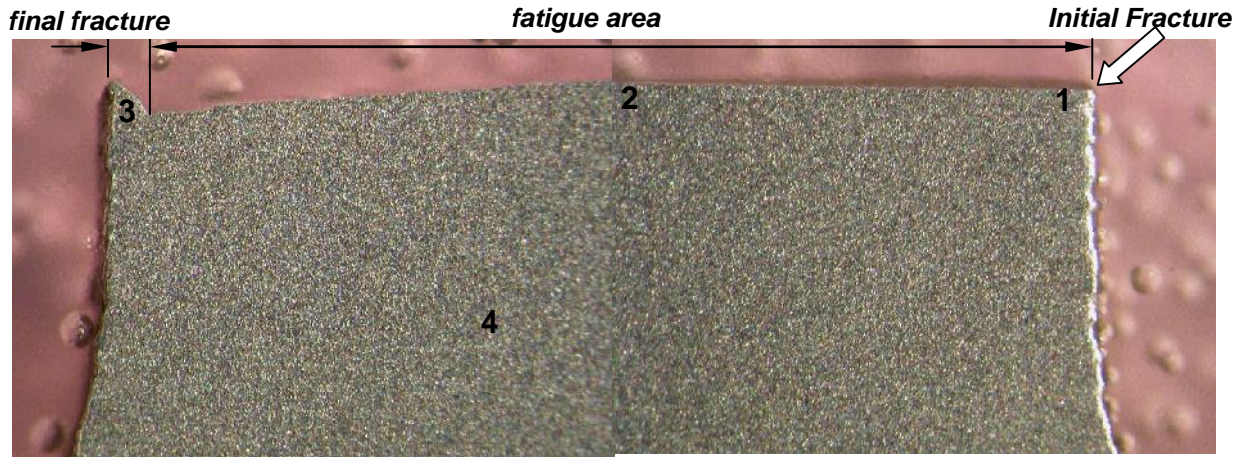


Gambar 9.

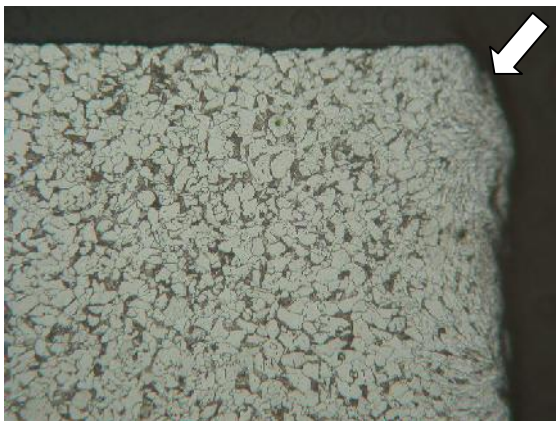
Photo makro etsa potongan sejajar sumbu *connecting rod shank* perbesaran : 12X

Struktur mikro potongan sejajar sumbu pada awal patahan (*initial fracture*) pada lokasi 1 (lihat Gambar 10) berupa ferit dan perlit (normal) dengan perbesaran : 200X dan *Etsa* : *Nital 2%*. Tanda angka 1 s.d 4 merupakan lokasi pengambilan photo metalografi dengan perbesaran : 25X dan *Etsa* : *Nital 2%*. Kondisi

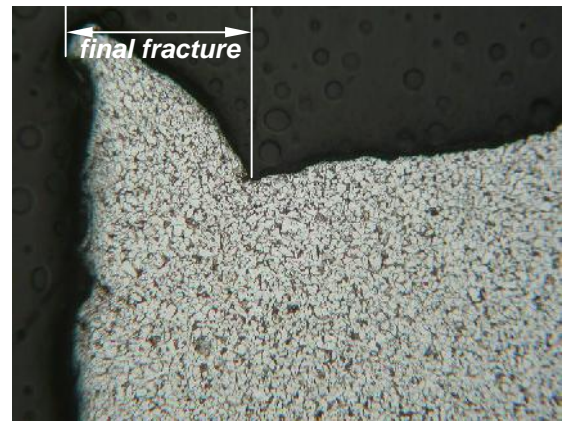
patah tersebut dapat dilihat pada foto-foto pada Gambar 11 sampai 14. Pada titik lokasi 2 (Gambar 10) menunjukkan ferit dan perlit (normal) dengan perbesaran : 200X dan *Etsa* : *Nital 2%*.



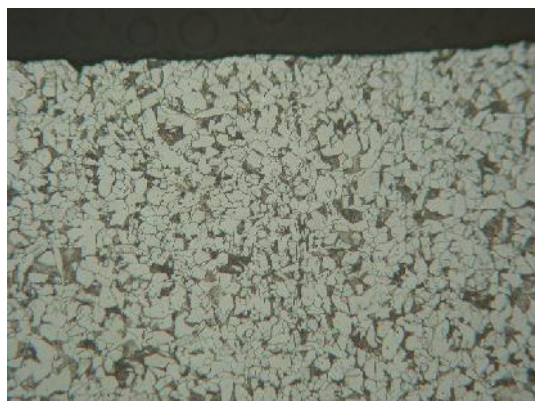
Gambar 10.  
Photo makro etsa pada potongan sejajar sumbu batang



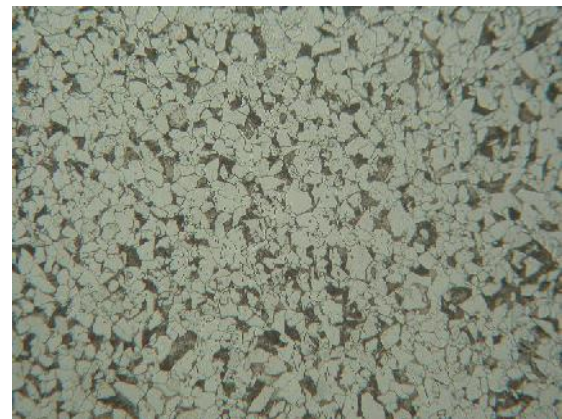
Gambar 11.  
Struktur mikro potongan sejajar sumbu pada awal lokasi titik 1



Gambar 13.  
Struktur mikropada akhir patahan di lokasi 3



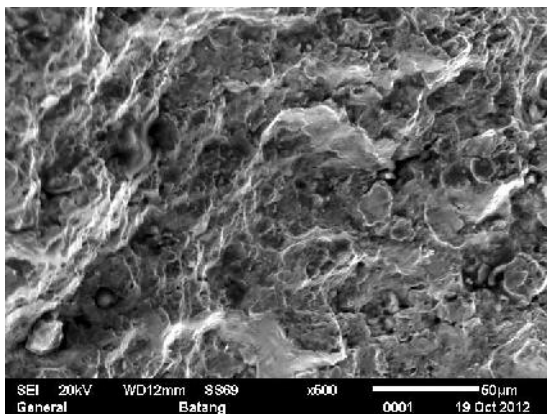
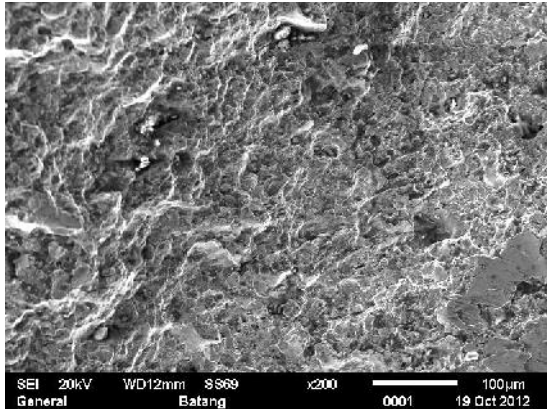
Gambar 12.  
Struktur mikro potongan sejajar sumbu pada daerah patah lelah lokasi 2



Gambar 14.  
Struktur mikro material *Connecting Rod* di lokasi 4 berupa ferit dan perlit (normal).

### 3. Pemeriksaan Dengan SEM

Hasil pemeriksaan dengan SEM (*scanning electron microscope*) pada permukaan patahan *Connecting Rod Shank* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15.

Photo hasil pemeriksaan dengan SEM (*scanning electron microscope*) pada permukaan patahan. Perbesaran :200X dan 500X

Dari hasil pemeriksaan dengan menggunakan SEM di daerah yang mengalami patah lelah, terlihat adanya alur-alur arah memanjang yang merupakan perambatan retakan atau patahan.

### 4. Analisa Komposisi Kimia

Hasil analisa komposisi kimia pada material *connecting rod shank* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.  
Hasil Analisa Komposisi Kimia  
*Connecting Rod Shank*

Element	Hasil (% wt)	JIS G 4051 Grade S 20 C
C	0,18	0.18 - 0.23
Si	0,30	0.15 - 0.35
Mn	0,54	0.30 - 0.60
S	0,026	0.035 max.
P	0,020	0.030 max.

Sumber Data :

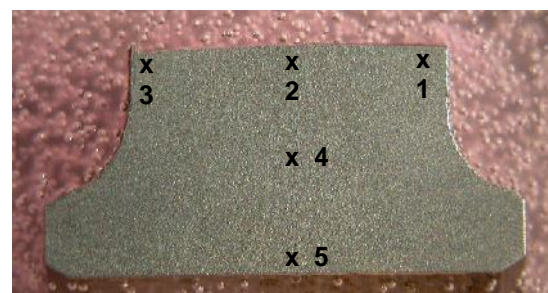
Pengujian ini menggunakan alat OES  
Metorex Arc-Met SP 930

### 5. Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan terhadap potongan memanjang *connecting rod shank* dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *frank finotest*. Lokasi titik pengujian ditunjukkan pada Gambar 16.

Tabel 2.  
Hasil Uji Kekerasan  
*Connecting Rod Shank*

No.	Nilai Kekerasan (HV)	JIS G 4051 Grade S 20 C
1	262	230 HV s/d
2	246	292 HV
3	257	
4	257	
5	265	



Gambar 16.

Lokasi pengujian kekerasan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan karakteristik kerusakan yang terdapat pada permukaan patahan *connecting rod shank*, memperlihatkan adanya ciri khas patah lelah (*fatigue fracture*), yang diawali atau dimulai dari salah satu sisi pada *connecting rod shank* yang merupakan awal terjadinya patahan (*initial fracture*). Kemudian menjalar ke dalam yang ditandai dengan adanya alur-alur yang

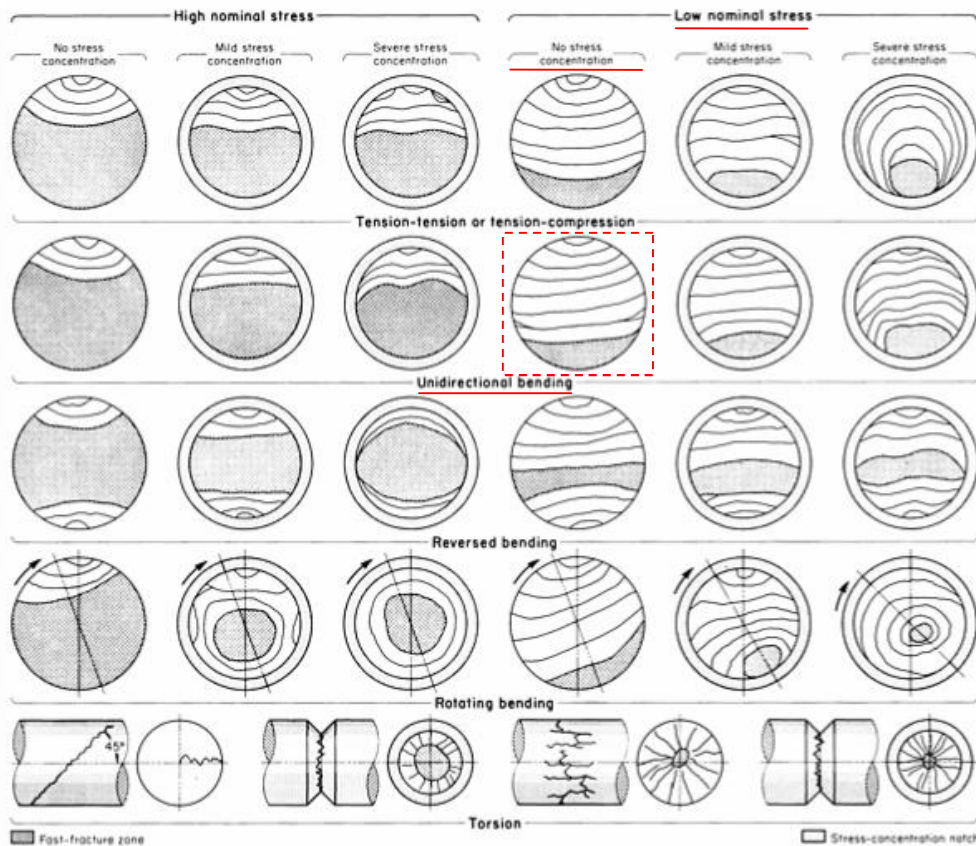
menyerupai garis-garis pantai (*beach mark*) dan merupakan daerah patah lelah (*fatigue area*), kemudian terus menjalar hingga *connecting rod shank* patah. Pada akhir patahan (*final fracture*) terlihat permukaannya cenderung lebih kasar dan membentuk sudut 45°. Hal tersebut dapat diperkuat dengan hasil pemeriksaan pada permukaan patahan dengan SEM (*scanning electron microscope*), dimana dijumpai adanya alur-alur arah memanjang yang merupakan relief dari perambatan retakan lelah (*fatigue crack propagation*).

Dilihat dari luasan area lelah (*fatigue area*) yang lebih besar bila dibandingkan dengan sisa patahannya (*final fracture*), dan jika dicocokkan dengan skematik permukaan patahan lelah (lihat Gambar 17) maka dapat diketahui bahwa *connecting rod shank* kemungkinan besar mengalami patah lelah akibat beban *unidirectional bending*, dengan tegangan nominal yang rendah (*low nominal stress*) tanpa adanya konsentrasi tegangan (*no stress concentration*).

Berdasarkan hasil pemeriksaan secara makro etsa dan struktur mikro pada potongan memanjang *connecting rod shank* di daerah yang merupakan terjadinya awal

patah lelah (*initial fatigue fracture*), terlihat bahwa daerah patah lelah (*fatigue area*) terjadi pada setengah dari tebal *connecting rod shank* dan akhirnya patah membentuk sudut 45° yang merupakan akhir patahan (*final fracture*) karena *overload*.

Dalam hal ini timbulnya *fatigue load* pada *connecting rod shank* dilihat dari konstruksi dan posisi terjadinya patahan, dapat disebabkan karena pada daerah tersebut mengalami getaran atau vibrasi pada saat beroperasi, sehingga beban yang terjadi umumnya disebabkan karena adanya beban tekuk satu arah atau lazim disebut sebagai beban "*unidirectional bending*". Dilihat dari daerah patah lelah (*fatigue area*) terjadi pada setengah dari tebal *connecting rod shank* menunjukkan bahwa perambatan retak lelah (*fatigue crack propagation*) memerlukan waktu yang cukup lama, sehingga tebal dari *connecting rod shank* yang tersisa tidak mampu lagi menahan beban operasional hingga *connecting rod shank* mengalami patah.



Gambar 17. Skematik permukaan patahan lelah dengan berbagai jenis beban.

Getaran atau vibrasi yang timbul pada *connecting rod* dapat disebabkan karena *misalignment* pada batang torak, *unbalance* pada poros engkol atau gangguan pada sistim pelumas. Struktur mikro material *connecting rod shank* berupa ferit dan perlit (normal). Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia dan pengujian kekerasan terhadap *connecting rod shank*, maka jenis material dari *connecting rod shank* telah sesuai dengan spesifikasi yang digunakan, yaitu JIS G 4051 Grade S 20 C

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengujian terhadap patahan *connecting rod shank*, maka dapat disimpulkan bahwa *connecting rod shank* mengalami patah lelah (*fatigue fracture*) akibat beban "*unidirectional bending*" pada tegangan nominal yang kecil (*low nominal stress*). Awal patah lelah diawali atau dimulai dari salah satu sisi pada *connecting rod shank* yang merupakan awal terjadinya patahan (*initial fracture*), kemudian menjalar ke dalam yang ditandai dengan adanya alur-alur yang menyerupai garis-garis pantai (*beach mark*), dan akhirnya sisa tebal yang ada tidak mampu lagi menahan beban operasional hingga *connecting rod shank* mengalami patah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada : Bapak DR. Ing. H. Agus Suhartono, Bapak Sutarjo, ST dan Bapak Aswandi, ST, yang telah membantu memberikan masukan serta data pengujian kepada kami dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Metals Handbook, Vol. 12, "*Fractography*", American Society for Metals, 2009.
2. ASM Metals Handbook, Vol. 9, "*Metallography and Microstructures*", American Society for Metals, 2009.
3. ASM Metals Handbook, Vol. 11, "*Failure Analysis and Prevention*", American Society for Metals, 2009
4. Charlie R. Brooks, Ashok Choudhury, "*Metallurgical Failure Analysis*", Mc. Graw-Hill, Inc., United States of America, 1993.
5. Heinz P. Bloch, Fred K. Geitner, "*Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1997.
6. George E. Dieter, "*Mechanical Metallurgy*", Mc.Graw-Hill Book Company, New York, 1988.