

## KERUSAKAN PADA MATERIAL BAUT PIN AKIBAT PATAH LELAH

### CAUSE OF PIN BOLT FAILURE IS FATIGUE FRACTURE

**M. N. Setia Nusa**

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

#### Abstrak

Baut Pin atas pada klem sebagai koneksi ketiga kaki anjungan, yang berada didalam air laut mengalami kerusakan, patah dan terdapat korosi. Dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan baut 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 dan pemeriksaan SEM-EDS. Dari hasil pemeriksaan didapatkan struktur mikro baut pin berupa martensit temper dengan pengotor sulfid arah memanjang serta temuan kerusakan dengan ciri-ciri patah lelah yang ditandai dengan adanya *beach mark* dan *radial fanlike*. Beban yang diterima pada patah lelah I adalah *reversed bending*, dan pada patah lelah II menerima beban geser-geser dan *reversed bending*. Dengan demikian penyebab kerusakan baut pin adalah patah lelah oleh beban bending dan beban geser.

Kata kunci : Baut pin, Bending, Beban geser, Fatik, Patah.

#### Abstract

*Upper pin bolt of three platform support connection which is located under sea water having failure, fracture and corroded. Investigation is conducted to find the cause of failure and going recommendation to avoid same failure takes place in the future. The examination are conducted are visual, fractography, metallography, hardness test, chemical composition and SEM-EDS. From the examination it is resulted that the microstructure of pinbolt material temper with elongated inclusion of sulfide and finding of typical of fatigue failure as indicated by beachmark and fanlike radial mark, operation load on fatigue fracture I is reversed bending and on fatigue fracture II is shear load and reversed bending. The cause of the pinbolt failure is fatigue fracture due to bending and shear load.*

*Keywords : Pinbolt, Bending load, Shear load, Fatigue, Fracture.*

Diterima (received) : 30 Oktober 2015, Direvisi (reviewed) : 14 Nopember 2015,  
Disetujui (accepted) : 25 Nopember 2015

#### PENDAHULUAN

Baut klem merupakan komponen pengikat bagian mesin atau peralatan agar tidak bergerak, bentuk dan ukuran baut klem disesuaikan kebutuhan komponen mesin/peralatan yang lain khususnya kepala baut. Secara umum baut adalah suatu batang atau tabung dengan alur *heliks* pada permukaannya, penggunaan utamanya

adalah sebagai pengikat (*fastener*) untuk menahan dua obyek bersama, dan sebagai pesawat sederhana untuk mengubah torsi (*torque*) menjadi gaya linear.

Sebagian besar baut dipererat dengan memutarnya searah jarum jam yang disebut ulir kanan, baut dengan ulir kiri digunakan pada kasus tertentu, misalnya saat baut akan menjadi pelaku torsi berlawanan arah jarum jam.

Baut digunakan secara luas dalam industri kendaraan bermotor dan beberapa konstruksi, banyak sekali komponen yang dibuat secara terpisah, kemudian disatukan menggunakan baut dan mur agar memudahkan dilakukan pelepasan kembali saat diperlukan, misalnya untuk melakukan pekerjaan perbaikan atau penggantian komponen. Baut biasanya digunakan berpasangan dengan mur, bagian batang baut yang berulir dimaksudkan untuk menepatkan dengan celah lubang mur. Untuk mengurangi efek gesekan antara kepala baut dengan benda kerja dapat ditambahkan ring/washer di antara kepala baut dan permukaan benda kerja. Washer berbentuk spiral dapat digunakan pada baut untuk membantu mencegah kekuatan sambungan berkurang yang disebabkan baut mengendor akibat getaran. Konstruksi baut terdiri atas batang berbentuk silinder yang memiliki kepala pada salah satu ujungnya, dan terdapat alur di sepanjang (ataupun hanya di bagian ujung) batang silinder tersebut. Baut terbuat dari bahan baja lunak, baja paduan, baja tahan karat ataupun kuningan. Dapat pula baut dibuat dari bahan logam atau paduan logam lainnya untuk keperluan-keperluan khusus

Baut yang dilakukan untuk penelitian adalah Baut Pin atas pada klem sebagai koneksi ketiga kaki anjungan, yang berada didalam air laut yang mengalami kerusakan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel tersebut dibawa ke laboratorium pengujian dan analisa kerusakan bertujuan untuk

menelusuri penyebab terjadinya kerusakan dengan metoda," Visual/Fraktografi, Metalografi, Uji Kekerasan, Analisa Komposisi Kimia, dan pemeriksaan SEM-EDS".

## BAHAN DAN METODE

Metode pemeriksaan dan acuan pengujian mencakup :

- ASTM E 340 untuk acuan pemeriksaan Visual / Fraktografi.
- ASTM E 407 untuk acuan pemeriksaan Metalografi.
- SNI 19-0406 untuk acuan Uji Kekerasan.
- ASTM E 407 untuk acuan Uji Komposisi Kimia.
- SEM & EDS

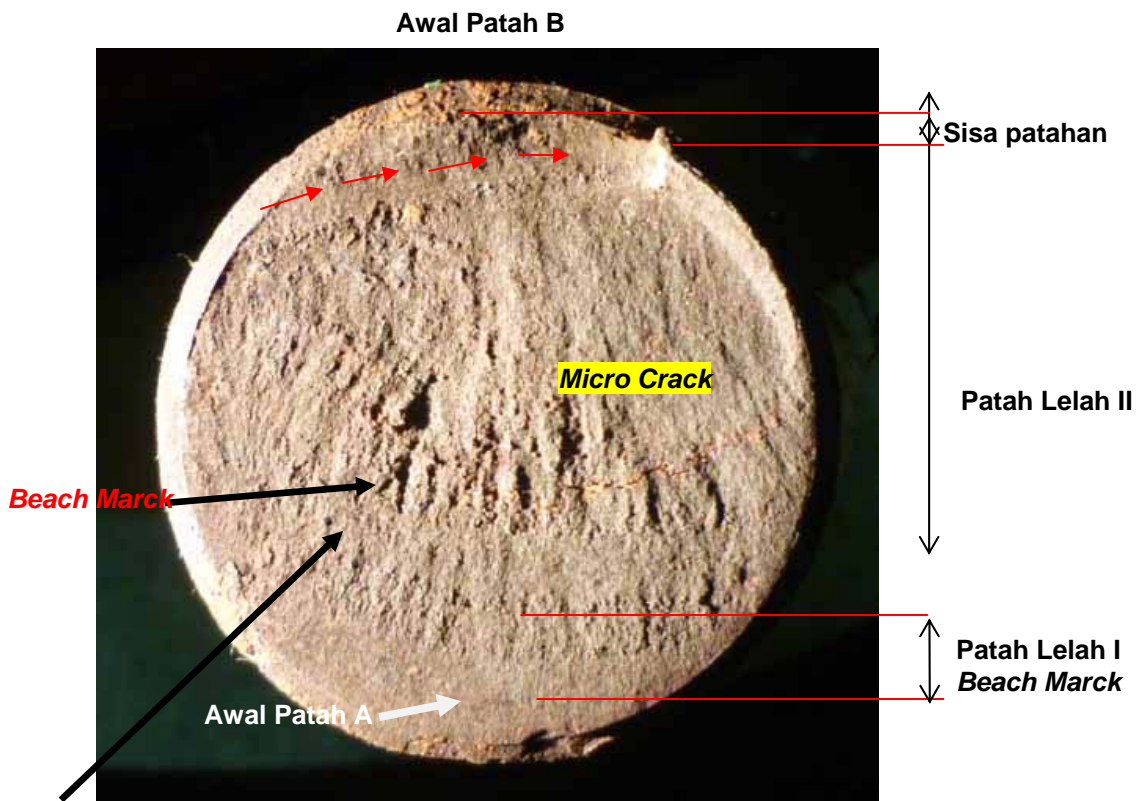
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Fraktografi

Permukaan patahan pada baut pin mengalami patah lelah yang diawali dari awal patah A dan awal patah B. Perambatan pada awal patah B ditemukan *beach marck* pada tahapan pertama dari patah lelah (patah lelah I), fanlike dan beach marck pada tahapan pertama dari patah lelah (patah lelah II).<sup>21</sup> Sedangkan sisa patahan sekitar 10% dari permukaan patahan . Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1.  
Baut Clamp Pin yang mengalami patah



Radial Fanlike

Gambar 2.

Photo makro permukaan patahan baut pin yang mengalami patah lelah (*fatigue fracture*)

Pada Gambar 2 photo makro permukaan patahan baut pin yang mengalami patah lelah (*fatigue fracture*) dan awal patah dimulai dari tepi baut (Awal patah). Terlihat alur garis pantai (*beach marck*) yang menunjukkan bentuk area patah lelah hingga 90 % dan yang 10% adalah patah sisa. Pada daerah tengah terdapat retak

akibat beban operasi sesaat. Sedangkan pada Gambar 3 seluruh permukaan (daerah ulir) baut pin yang patah banyak ditemukan binatang-binatang laut (kerang) yang melekat, pada ulir telah terserang korosi sehingga pada ujung ulir terjadi pengurangan dimensi



Gambar 3.

Permukaan baut pin yang banyak binatang laut menempel.

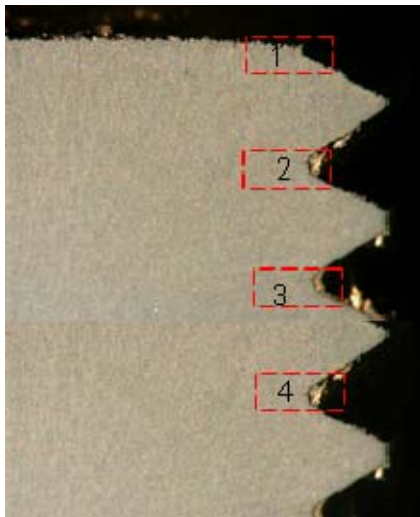
### Pemeriksaan Metalografi

Struktur mikro pada baut pin berupa mertensite temper dan ditemukan pengotor sulfida.<sup>4)</sup> dengan arah memanjang baut

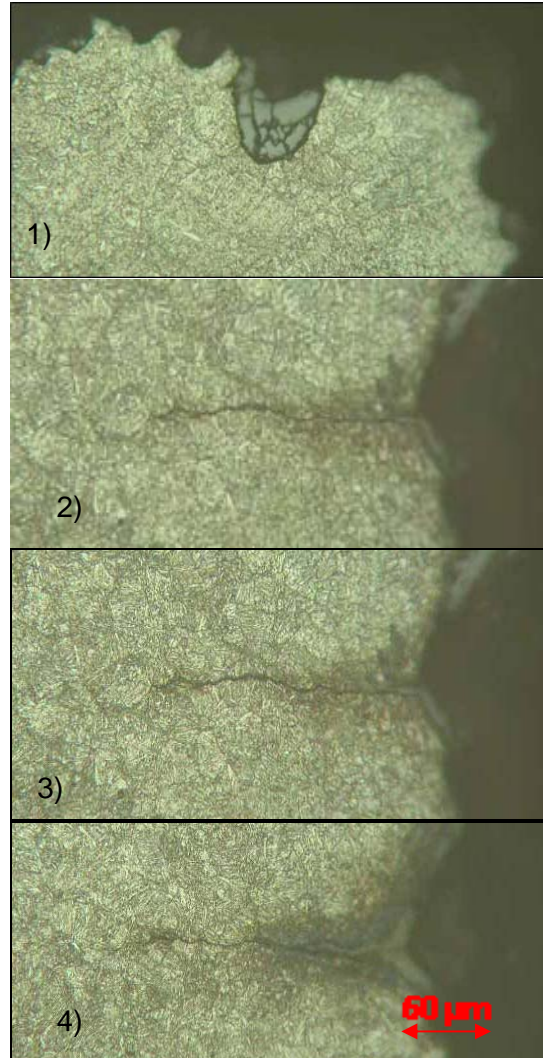
seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11). Pada ketiga akar ulir yang berada dibawah permukaan patahan ditemukan retak sekunder dengan produk karat.<sup>6)</sup> seperti ditunjukkan pada Gambar 3



Lokasi adanya *secondary cracks* sejajar dengan awal patah



Lokasi pengambilan struktur mikro



Gambar 4.

*Secondary cracks* terdapat disejajar awal patah berupa patah lelah dan mempunyai bentuk retak memotong butiran (*transgranular crack*).



Gambar 5.

Titik-titik area uji kekerasan



## Pengujian Kekerasan

Tabel 1  
Hasil Uji Kekerasan

No.	Kekerasan HV	ASTM A325-TYPE 1
1	317	
2	309	
3	321	
4	306	
5	321	240 - 335 HV
6	321	
7	321	
<b>Rata-rata</b>	<b>316,5</b>	

Tabel 2  
Hasil Komposisi Kimia Baut

Element	Result (% wt)	ASTM A325 Type 1 Alloy Steel
Fe	Rem	
C	0.41	0.30 – 0.52
Si	0.24	0.15 – 0.35
Mn	0.74	> 0.60
Cr	0.90	
Ni	0.069	
Mo	0.12	
Cu	0.14	
Al	0.028	
W	0.068	
S	0.020	
P	0.018	

Menggunakan:

Alat uji kekerasan : Frank Finotest  
Metode uji : Hardness Vickers (HV)  
Beban : 5 Kgf  
Standar : DIN 50133  
Waktu : 15 detik  
Temperatur : 28 °C

Alat uji komposisi kimia : Spectrometer  
Type : Metorex 930 SP

### Pemeriksaan SEM-EDAX

Hasil pemeriksaan permukaan patahan tertutup oleh garam dengan unsur Ca, Na, Mg, Cl, dan S (lampiran hasil pemeriksaan SEM-EDAX).

### PEMBAHASAN

Struktur mikro pada baut pin berupa martensit temper, dan ditemukan pengotor sulfide.<sup>4]</sup> dengan arah memanjang. Baut pin masuk dalam klasifikasi ASTM A325 type 1 – alloy steel.<sup>1]</sup> berdasarkan hasil uji kekerasan pada Tabel 1 dan uji komposisi kimia pada Tabel 2.

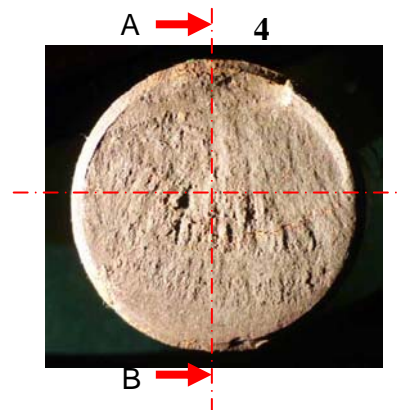
Hasil pemeriksaan fraktografi pada permukaan patahan dengan menggunakan metoda SEM-EDAX menunjukkan bahwa permukaannya diselimuti oleh garam yang mengandung Na, Mg, Ca, Cl, dan S. ini terjadi akibat baut yang terekspos cukup lama di lingkungan udara laut setelah mengalami kerusakan, dari hasil fraktografi korosi yang terjadi bukan penyebab utama patahnya baut.

Karena kerusakan baut pin tersebut masuk dalam klasifikasi kerusakan lelah yang ditandai dengan adanya *beach marck* dan

*radial fanlike* dan beban yang diterima pada patah lelah I adalah *reversed bending*, dan pada patah lelah II menerima beban geser-geser dan *reversed bending*.<sup>5]</sup>

Pada Gambar 2 yang mempunyai arah radius sama dengan diameter luar pada sisi bawah baut. Berdasarkan pola pada permukaan patahan yang mengacu pada skematis permukaan patahan ASM 12 seperti ditunjukkan pada Gambar.13.<sup>7]</sup> maka baut pin masuk dalam kategori beban *reversed bending* dengan tegangan nominal tinggi dan konsentrasi tinggi lingkaran merah seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Ditemukannya retak sekunder dari satu sisi baut seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 9, maka gaya yang diterima baut tinggi, dan dampak dari gaya tersebut akan menimbulkan gaya yang berlawanan dari sisi yang berlawanan. Dari sisi yang berlawanan tidak ditemukan retak sekunder sehingga dapat dikatakan gayanya relatif rendah dibanding sisi retak sekunder. Dan pergeseran pada awal patahan diatas retak sekunder juga menunjukkan adanya konsentrasi yang tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 4. *Beach marck* pada sisi bawah baut menandakan bahwa baut menerima beban *reversed bending*.<sup>12]</sup> Kemudian pola berubah dari *beach marck* ke *radial fanlike* dan *beach marck* (patah lelah II seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Perubahan ini memperlihatkan adanya perubahan beban yang diterima baut dari *reversed bending* ke simultan antara beban geser dan *reversed bending*. Beban geser-geser akan membentuk pola *radial fanlike*, dan *reversed bending* membentuk pola *beach marck* (*beach marks*). Kemudian baut tidak mampu menerima beban statis sehingga mengakibatkan patahnya baut.

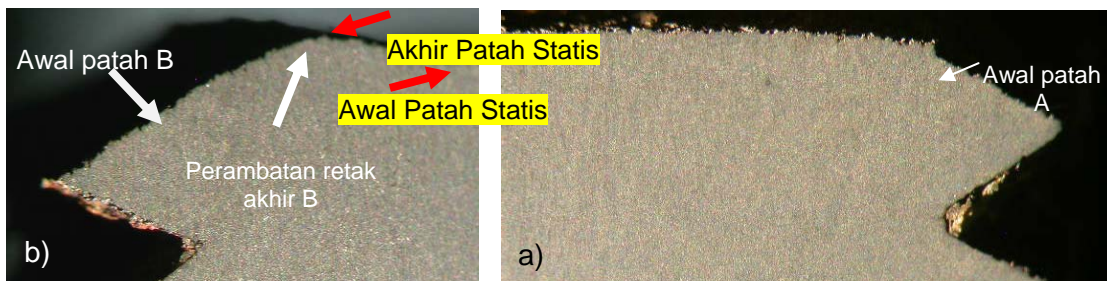
Disisi baut yang berseberangan juga ditemukan indikasi geser, dan perambatan retaknya sangat lambat seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dibanding dengan perambatan patah leleh I dan patah leleh II. Fenomena ini juga dapat dilihat dari foto makro potongan melintang baut.<sup>91</sup>. perambatan retak yang terjadi searah dengan ulir yang kemudian bertemu dengan puncak akhir patahan statis.



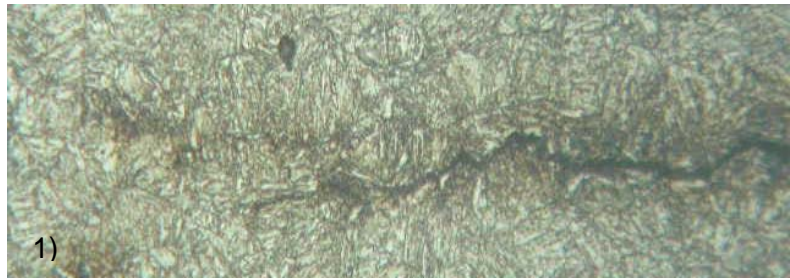
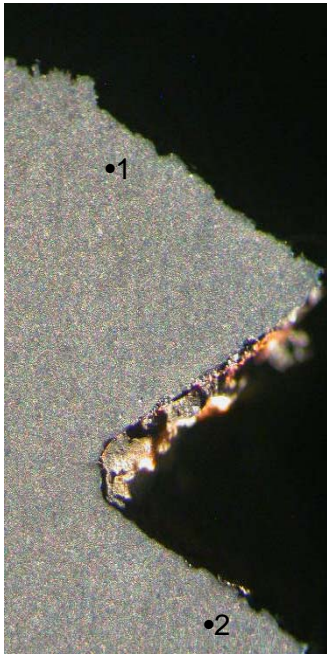
Gambar 6.  
Pengambilan sampel metallografi Potongan A-B



Gambar 7  
Photo makro etsa sampel metallografi potongan memanjang pada area A dan B

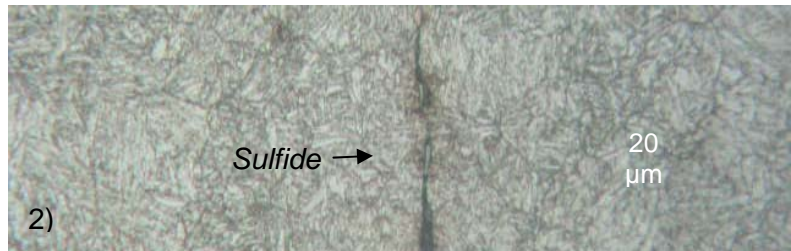


Gambar 8.  
Perbesaran 12 X dari gambar 7, awal patah A, awal retak dan akhir retak B, awal dan akhir patahan statis (panah merah).



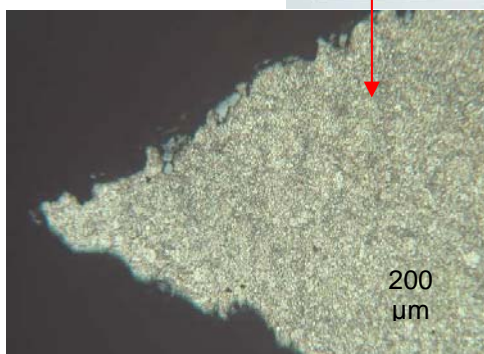
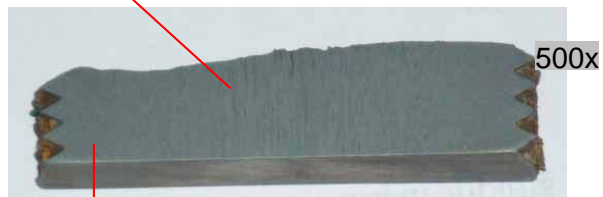
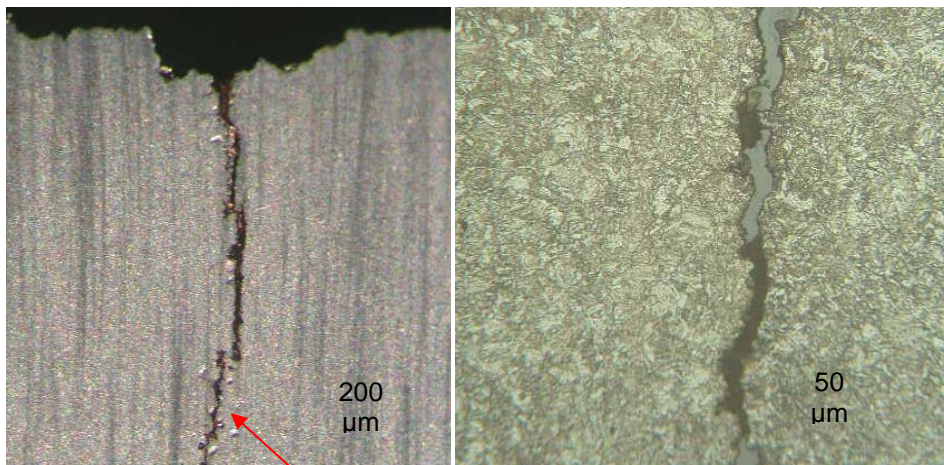
Gambar 9.

Struktur mikro dari gambar 8 lokasi 1 pada akhir retak berupa martensit temper dengan bentuk *transaranular*



Gambar 10.

Struktur mikro pada lokasi 2 berupa martensite temper.



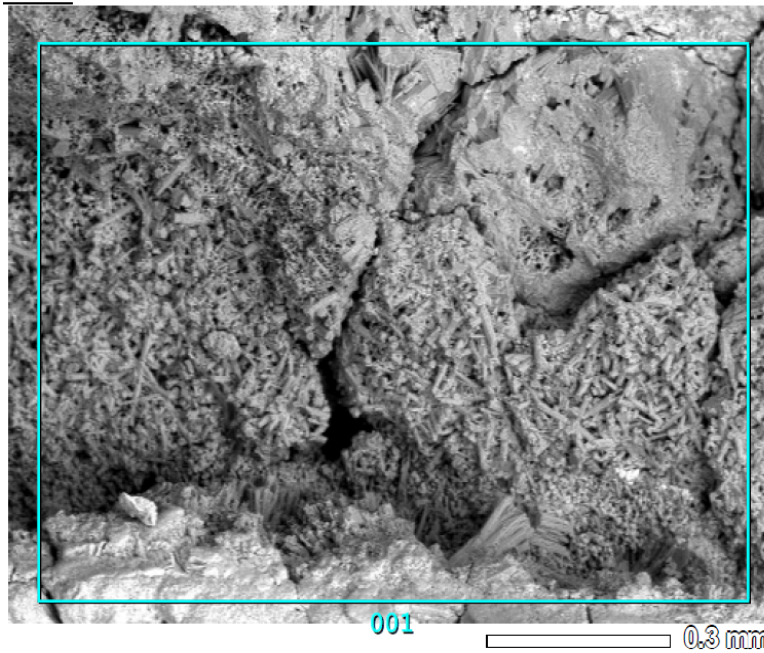
Gambar 11.

Pada tengah-tengah baut terdapat retak berupa *transgranular crack* dan serangan korosi merata.



Dari potongan baut diatas, pada tengah-tengah baut (arah panah atas) terdapat retak berupa *transgranular crack* akibat beban yang cukup significant akibat arus dan gelombang laut saat penjarangan retak

berlangsung. Serangan korosi yg terjadi pada ulir baut bersifat korosi merata (arah panah bawah), pada kaki ulir sejajar patah sisa merupakan *secondary crack*.



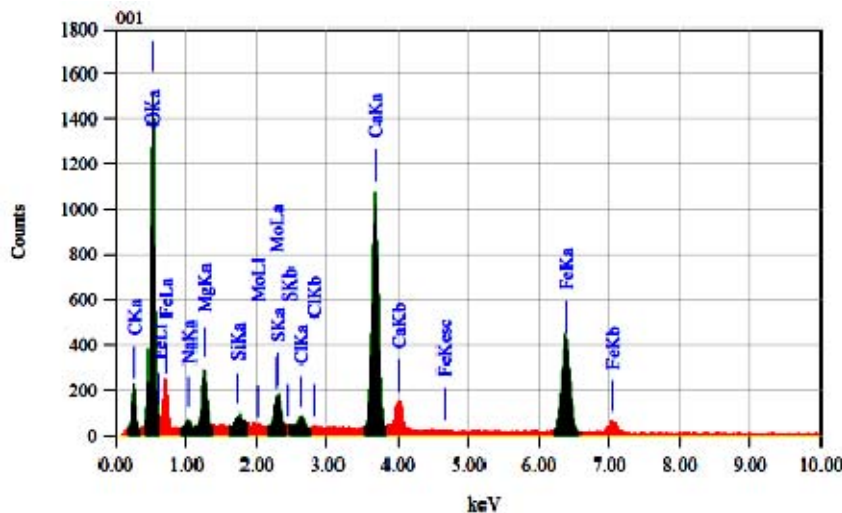
Title	: IMG1
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 100
Date	: 2013/02/08
Pixel	: 512 x 384

Gambar 12.

Permukaan patahan ditemukan retak, dan permukaannya tertutup oleh senyawa garam

Tabel 3.

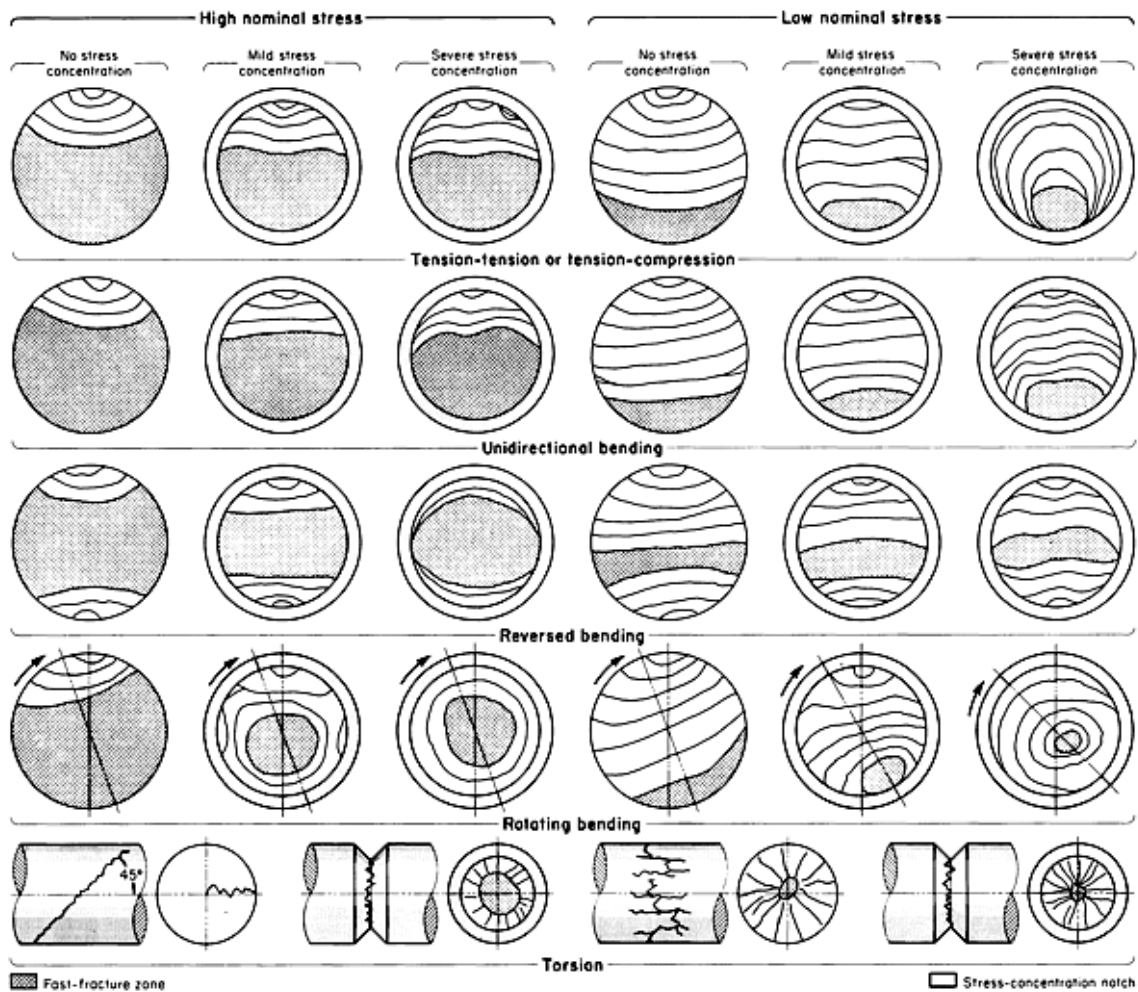
Hasil pengukuran SEM-EDAX dan nilai komposisi kimianya.



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 34.24 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 12 %
Counting Rate	: 2975 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis						
Fitting Coefficient : 0.1863						
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass% Cation
C K	0.277	8.17	0.05	13.74		3.0375
O K	0.525	53.99	0.11	69.22		49.4210
Na K*	1.041	0.71	0.11	0.62		0.4429
Mg K	1.253	3.62	0.08	3.01		2.1605
Si K*	1.739	0.22	0.06	0.16		0.2101
S K	2.307	0.94	0.08	0.60		1.2975
Cl K	2.621	0.52	0.05	0.30		0.7249
Ca K	3.690	13.93	0.07	7.03		20.9516
Fe K	6.398	16.86	0.17	6.10		20.6175
Mo L*	2.293	1.04	0.24	0.22		1.1366
Total		100.00		100.00		





Gambar 13 .  
 Pola permukaan patah lelah dari berbagai beban

## SIMPULAN

Permukaan baut yang diselimuti oleh garam mengandung Na, Mg, Ca, Cl, dan S dan korosi yang terjadi adalah bukan penyebab utama patahnya baut.

Komposisi kimia dan nilai kekerasan pada baut pin, materialnya sesuai dengan spesifikasi ASTM A325 type 1 – alloy steel dengan struktur mikro baut pin berupa martensit temper.

Mengacu fenomena beban berdasarkan pola patahan diatas maka mekanika gaya yang terjadi pada baut digambarkan dalam konstruksi klem pada *bracing* di ketiga kaki anjungan sebagai *balancing* penerimaan beban ombak sehingga pergerakan ketiga kaki anjungan tidak akan berimbang. Pemasangan baut pin pada klem pada ketiga kaki anjungan akan menambah rigid bergerakan kaki anjungan. Baut akan menerima beban dari pergerakan kaki anjungan dan *bracing*. Beban yang diterima oleh kaki anjungan adalah puntir-puntir

maka baut pin menahan beban yang diterima oleh kaki anjungan dan batang penghubung antar kaki anjungan dalam bentuk kombinasi beban bending dan geser<sup>5)</sup> yang berasal dari multi beban akibat perubahan ombak yang menjadi penyebab utama kerusakan baut pin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

- Kepada Bapak Sutarjo, ST, MM sebagai Ka. Sub. Bid. Analisa Kerusakan dan umur sisa di B2TKS – BPPT yang ikut mengolah data selama persiapan penulisan ini.
- Kepada teman-teman di lab. Analisa kerusakan dan umur sisa yang memberikan banyak saran-saran serta arahan-arahan sehingga menjadikan penelitian dan tulisan ini mengarah kepada kesempurnaan.

- Kepada Bapak Ir. Edi Sumarsono, MT yang sangat membantu dalam pengambilan data dan analisa / masukan atas materi - materi yang mendukung atas terselesaikannya tulisan ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Anual Book of ASTM Standards, Vol. 01.01, "Steel Piping, Tubing, Fitting", American Society for Testing and Material, Philadelphia, 2006.
2. ASM Handbook Committee, Failure Analysis and Prevention. 2011. Ninth Edition.
3. ASM Metals Handbook, Volume 10, "Failure Analysis and Prevention", American Society for Metals, 2007.
4. American Standard Testing of Material E 407. 1993. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
5. Heintz P. Bloch Fred K Geitner, "Machinery Failure Analysis and Troubleshooting", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1997
6. R. Winston Revie, "Corrosion and Corrosion Control", John Wiley & Sons, United States of America, 2008.
7. ASM Handbook Committee, "Fractography" 2011.
8. Z. Szklarska Smialowska, "Pitting Corrosion of Metals", National Association of Corrosion Engineers, 2005.
9. ASM Handbook Volume – 9 Thn 1998 Metallography and Microstructures
10. Book of The Vocational Training, "Corrosion of Oil and Gas Well Equipment", Production Department American Petroleum Institute, 2002.
11. Mars Guy Fontana, "Corrosion Engineering", Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 2005.
12. Yu Z, Xu X, Failure analysis of connecting bolts and location pins assembled on the plate of main-shaft used in a locomotive turbocharger. Eng Fail Anal, 2008
13. MC. Cabe, W.L, Smith, JC, Harriot, P, "Unit Operation of Chemical Engineering", 4th ed, Mc.Graw-Hill, New York, 1985, Chapter 11, 12, 15
14. Sundjono, " Fenomena Kegagalan Akibat Korosi Pada Pipa Economizer Dari Baja Carbon" volume 15 no 2, Korosi LIPI 2006
15. Kern, DQ, "Process Heat Transfer", Mc.Graw-Hill, New York, 1965
16. Kays,W.M. and London, A.L, "Compact Heat Exchanger", 2 nd Edition McGraw-Hill, New York, 1964
17. Nizamul Latif, " Kerusakan Korosi Pipa Saluran Kimia Akibat Kesalahan Material " Edisi V no 8 Material Komponen dan Konstruksi " Desember 2005.
18. DN. Adnyana " Stress Corrosion Cracking of Stainless Steel, Hose Bellows " volume 15 no 2, Korosi LIPI 2006
19. Laili Novita Sari "Transgranular Stress Corrosion Cracking Penyebab Kegagalan Poros Ulir, Volume 10 no 2, Material Komponen dan Konstruksi. 2010
20. M.Syahril " Fenomena Korosi Dibawah Isolasi Panas Pada Material TP 321 Pipa Uap Hidro Karbon " volume 16 no 2 KOROSI LIPI Oktober 2007.
21. Pengaruh Khromat Pada Korosi Tegang Baja Tahan Karat AISI 304 di Dalam Larutan 0.82M HCl. volume 18 no 1 KOROSI LIPI April 2009.
22. Hadi Sunandrio, Laili Novita Sari, "Serangan Korosi Sumuran Pada Roll Bearing Pipa Distribusi " Volume 11 no 2 Material Komponen dan Konstruksi Desember 2011.