

ANALISIS KEGAGALAN SCREW PENYEBAB KERUSAKAN DECANTER SHAFT PADA UNIT PENGOLAHAN MINYAK

FAILURE ANALYSIS OF SCREW CAUSED BY DECANTER SHAFT FRACTURE IN OIL PROCESSING UNIT

Eka Febriyanti, Sutarjo, Adi Febrianto

Perekayasa Pada Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15314, Tel. (021)-7560539; Fax. (021)-7560538
E-mail : eka.febriyanti@bppt.go.id, sutarjo@bppt.go.i, adi.febrianto@bppt.go.id

Abstrak

Decanter merupakan mesin industri pada unit pengolahan minyak yang berfungsi untuk memisahkan *sludge* dari *crude oil tank* menjadi *light phase*, *heavy phase* dan *solid* dalam *crude oil* sehingga proses pemisahan selanjutnya di dalam *clarier settling tank* akan lebih sempurna. *Shaft* merupakan salah satu bagian dari *decanter* yang berhenti beroperasi setelah pengoperasian satu tahun. Selanjutnya setelah dilakukan investigasi di tempat kejadian menunjukkan bahwa *screw* dari *shaft* mengalami patah sehingga menyebabkan *decanter* berhenti beroperasi. Hasil pemeriksaan visual menunjukkan bahwa *screw* mengalami perpatahan/rusak di daerah radius. Sedangkan pemeriksaan fraktografi menunjukkan bahwa foto makro permukaan patahan *screw* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70%, namun patah sisa/patah akhir yang terletak berseberangan dengan patah awal. Hasil pemeriksaan tersebut juga dikonfirmasi dengan pemeriksaan metalografi yang menunjukkan adanya inklusi pengotor di lokasi perpatahan *screw*. Oleh karena itu, cacat inklusi akibat proses manufaktur berperan sebagai inisiasi perambatan retak, lalu menjalar akibat pembebanan dinamis dari pergerakan *shaft* sampai akhirnya baut mengalami perpatahan. Analisis kimia dari material *screw* menunjukkan bahwa material *screw* yang diperiksa merupakan jenis *low alloy steel* yang sesuai dengan spesifikasi standard.

Kata Kunci : Screw, shaft, inklusi, beban dinamis

Abstract

Decanter is an industrial engine of oil processing unit which has function to separate sludge from crude oil tank become light phase, heavy phase, and solid in crude oil so that then segregation process in clarier settling tank is more perfect. Shafts is one of decanter which stop operated after one year operation. Therefore, after investigation on site shows that screw of shaft experienced fracture in radius area. Whereas, fractography examination showed that macro photo of screw's fracture surface is ductile fracture which initiated from one side then propagated up to reach 70% crack propagation, however residual fracture/finish fracture which is located opposite with initiate fracture. Result of examination was also confirmed with metallography examination which showed inclusion in fracture location of screw.

Detail analysis of the failed surface showed that failure of screw decanter shaft is caused by inclusion defect was given by manufacture process whose had a role as crack initiation then propagated by dynamic loading from shaft movement till screw could not withstand the load and fracture occurred.

Keywords : Screw, shaft, inclusion, dynamic load

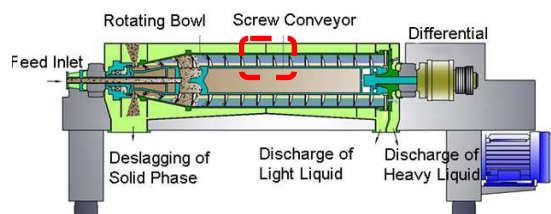
Diterima (received) : 15 Oktober 2017, Direvisi (reviewed) :10 November 2017,
Disetujui (accepted) : 1 Desember 2017

PENDAHULUAN

Shaft digunakan untuk menghantarkan energi ke elemen mesin lainnya dan pada umumnya terkena pembebanan torsi dan tekuk secara dinamis. Salah satu mekanisme kerusakan umum dalam shaft adalah fatik. Kerusakan fatik dimulai pada titik rentan seperti cacat *metallurgical* dan *structural* yang mengandung tegangan terpusat yang tinggi (*high localized stress*)^[1]. Biasanya, titik-titik konsentrasi tegangan dalam shaft berada pada bentuk-bentuk tajam luas penampang dari *keyways*^[2]. Oleh karena itu, ketika cacat-cacat muncul dalam tempat sensitif, kerusakan material akibat fatik perlu diperhatikan.

Analisis kerusakan lainnya yang telah dialami pada *shaft* biasanya muncul pada *strees raiser* potensial atau titik-titik konsentrasi tegangan akibat proses desain atau diawali selama proses fabrikasi atau pengoperasian, khususnya berhubungan dengan sudut-sudut *keyway*, *splines*, *cross holes* radius rendah dari lekukan *keyway*^[3], inklusi^[4], *repair welding* yang tidak benar^[5], mikrostruktur getas^[6], dan tanda *machining*^[7]. Taylor, dkk^[8] juga menyatakan bahwa perilaku fatik pada takikan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang ditentukan seperti geometri takikan dan distribusi tegangan lokal.

Patahan *screw* yang dianalisa pada penelitian ini merupakan milik suatu *decanter shaft* pada unit pengolahan minyak yang mengalami kerusakan setelah satu tahun pengoperasian. *Decanter* umumnya digunakan untuk pengaplikasian di unit-unit pengolahan minyak yang secara garis besar berfungsi untuk memisahkan *non-oil solid* dalam *crude oil* dari *crude oil tank* sehingga proses pemisahan di dalam *clarier settling tank* akan lebih sempurna. Jadi tujuan utama pengoperasian *decanter* adalah untuk memisahkan *sludge* menjadi *light phase*, *heavy phase* dan *solid*. Pada dasarnya, sistem *decanter* terdiri atas *inlet*, *rotating bowl*, *screw shaft*, dan *differential* seperti yang terlihat pada Gambar 1.



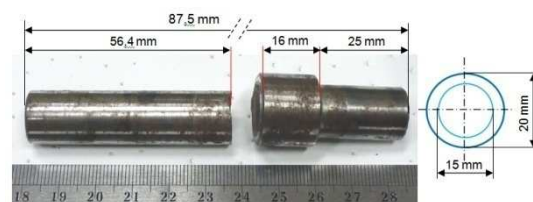
Gambar 1.
Bagian-bagian *decanter*^[9]

Paper ini menjelaskan tentang pemeriksaan kerusakan pada *screw* suatu *decanter shaft*. Inspeksi visual, pemeriksaan metalografi, analisis komposisi kimia, pengujian kekerasan, dan pemeriksaan SEM-EDS juga dilakukan untuk mendukung pemeriksaan kerusakan.

Kronologis

Mesin press ulir digunakan untuk mengekstrak minyak dari tandan buah setelah melalui proses pengolahan. Ada dua shaft yang disebut yaitu *driven shaft* dan *drive shaft* (seperti yang terlihat pada Gambar 1) yang dihubungkan dengan motor elektrik. Shaft berputar berlawanan arah satu sama lain. Motor elektrik menghasilkan tenaga sebesar 30HP (22,5 KW) untuk memutar *screw* melewati *drive shaft* dengan kecepatan 11 rpm. *Screw* juga berputar pada arah yang berlawanan satu sama lain. Model dan potongan melintang *screw* yang menghubungkan *shaft* seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dilaporkan bahwa mesin *decanter* beroperasi selama 24 jam sehari dan tidak beroperasi pada hari Minggu dan hari libur. Selain itu, shaft pada mesin *decanter* mengalami kerusakan dalam 1 tahun pengoperasian.

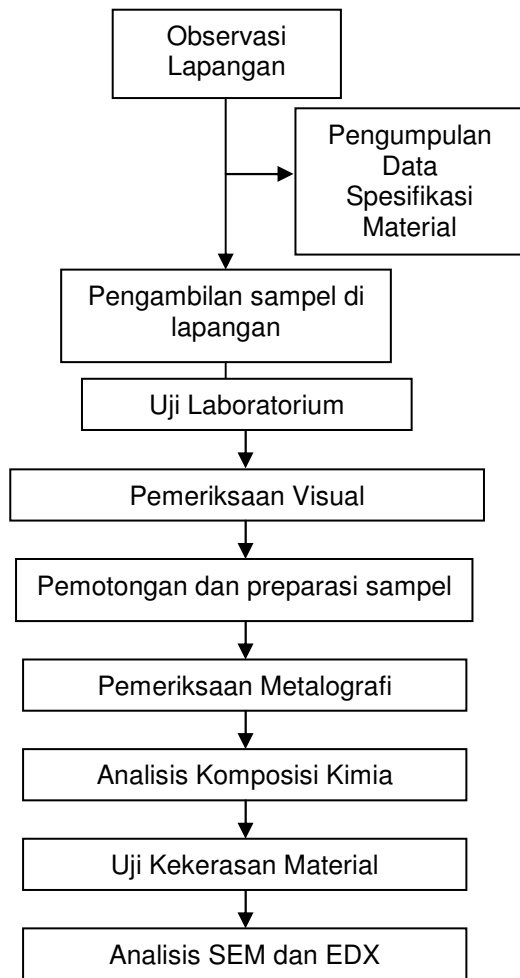
Selanjutnya *screw* pada *decanter shaft* yang patah diuji dan diperiksa di laboratorium supaya akar penyebab kerusakan dapat ditemukan. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses perbaikan dan mencegah terjadinya kerusakan serta kerugian yang sama di pengoperasian selanjutnya.



Gambar 2.
Screw pada *decanter shaft* yang mengalami kerusakan/patah di daerah radius

BAHAN DAN METODE

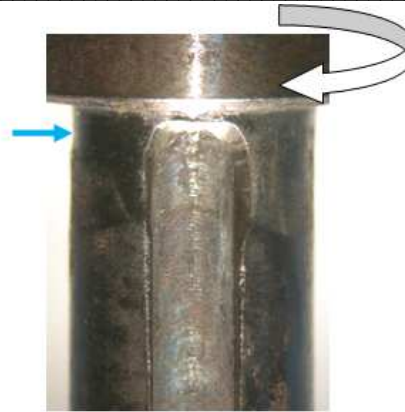
Metode penelitian terhadap *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami perpatahan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram alir pemeriksaan dan pengujian terhadap *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami patah

Pemeriksaan Visual dan Fraktografi

Hasil pemeriksaan visual menunjukkan adanya kerusakan/patah di daerah radius. Pada daerah lubang pasak (lihat panah) seperti yang terlihat pada Gambar 4, terlihat ujung lubang pasak mengalami aus begitu pula di daerah radius.



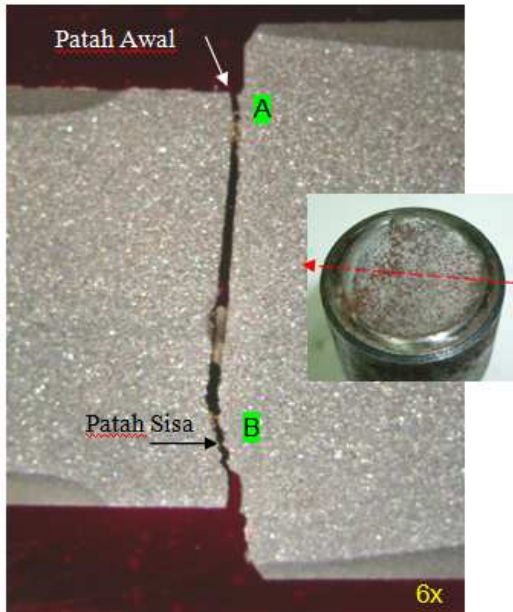
Gambar 4. Foto makro *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami patah di daerah radius.

Sedangkan secara fraktografi, foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70% sedangkan patah sisa/patah akhir terletak berseberangan dengan patah awal dan mempunyai sedikit bidang awal patah seperti yang terlihat pada Gambar 5. Beban bending yang bekerja hanya terjadi pada satu sisi, akan tetapi di daerah patah sisa juga terdapat sebagian indikasi patah awal (*secondary fracture*). Pada patah awal permukaannya lebih halus dan lebih rata dibanding patah sisa yang membentuk permukaan kasar dan menyudut^[10] (lihat lingkaran).



Gambar 5. Foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet

Sedangkan untuk foto makro etsa sampel potongan memanjang (dibelah di posisi satu garis patah awal dengan patah sisa) menunjukkan bahwa permukaan *screw* mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* (lokasi 1), namun di kedua radius tidak terlihat adanya pengerasan permukaan (lokasi 2). Selain itu, patah awal mempunyai bentuk patah rata (A)^[11] sedangkan penjaluran patah dan patah akhir mempunyai permukaan kasar (B)^[11] seperti yang terlihat pada Gambar 6.

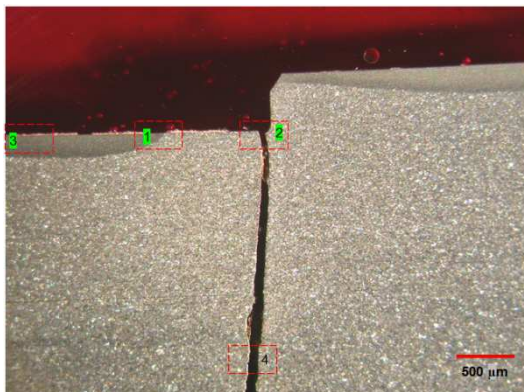


Gambar 6.

Foto makro etsa sampel *screw* yang patah pada potongan memanjang

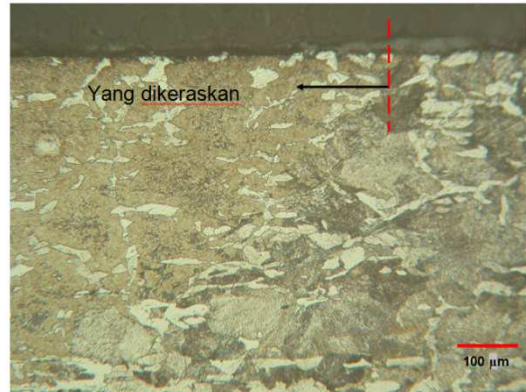
Pemeriksaan Metalografi

Hasil pemeriksaan metalografi pada lokasi 1 menunjukkan batas antara daerah yang dikeraskan dengan yang tidak. Untuk lokasi 2 menunjukkan bahwa struktur mikro pada permukaan patahan berupa ferit(terang)-perlit(gelap). Sedangkan untuk lokasi 3 menunjukkan bahwa struktur mikro pada permukaan yang dikeraskan/*case hardening* berupa martensit. Selain itu, terlihat masih ada austenit sisa yang terperangkap dalam martensit. Untuk lokasi 4 menunjukkan bahwa struktur mikro pada material dasar berupa ferit (terang)-perlit (gelap) dan terlihat adanya inklusi pengotor^[12]. Sedangkan pada patah akhir mempunyai patahan kasar (lokasi 5).



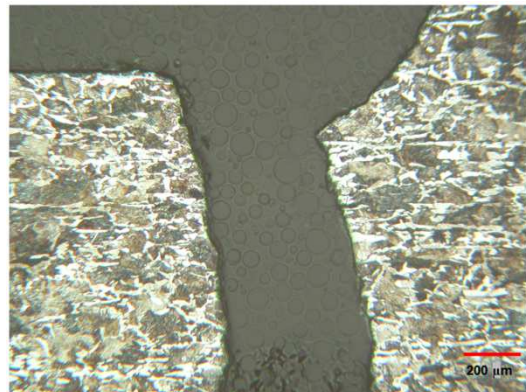
Gambar 7.

Lokasi pemeriksaan metalografi pada *screw* di *decanter shaft*



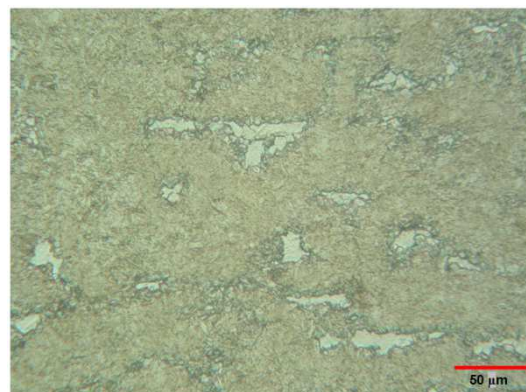
Gambar 8.

Struktur mikro pada lokasi 1 menunjukkan batas antara daerah yang dikeraskan dengan yang tidak



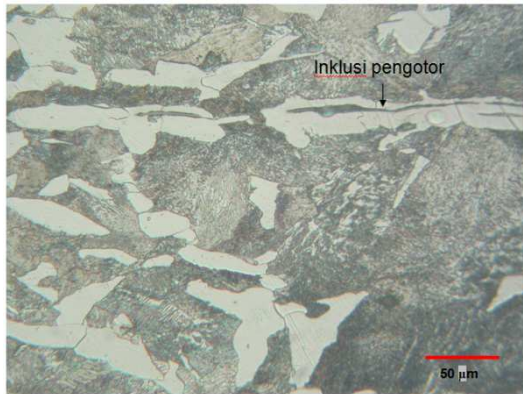
Gambar 9.

Foto struktur mikro daerah patahan pada lokasi 2 berupa ferit (terang)-perlit (gelap)



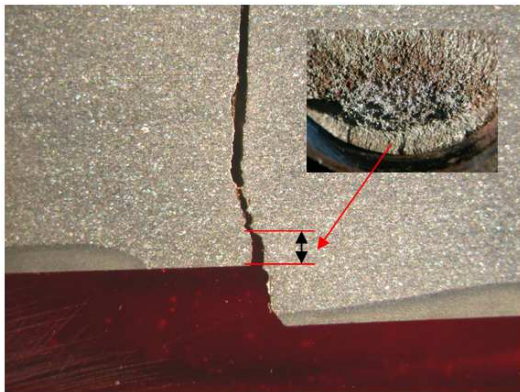
Gambar 10.

Struktur mikro permukaan yang dikeraskan/*case hardening* (lokasi 3) berupa martensit



Gambar 11.

Struktur mikro lokasi 4 material dasar berupa ferit (terang)-perlit (gelap) dan terlihat adanya inklusi pengotor



Gambar 12.

Pada patah akhir mempunyai patahan kasar (lokasi 5)

Analisis Komposisi Kimia

Analisa komposisi kimia menggunakan *spectrometer analyzer* menunjukkan bahwa komposisi kimia material *screw decanter shaft* sesuai dengan komposisi kimia baja karbon atau baja paduan yang digunakan untuk *fastener Class 22H* dan sesuai dengan ISO 898-5:2012^[13] (*Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel, Part 1 : Bolts, screws, and stud with specified property classes -- coarse thread and fine pitch thread*) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

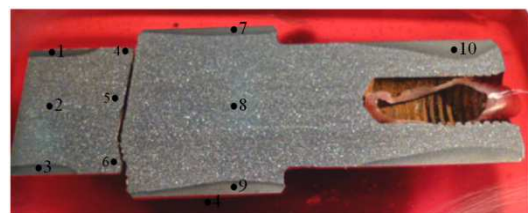
Tabel 1.

Analisis Komposisi Kimia *Screw Decanter Shaft*

<i>Screw Decanter Shaft</i>		
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)	Nilai Kandungan Unsur (%) <i>Class 22H Standard</i>
Fe	98,3	-
C	0,484	0,50 maks.
Si	0,249	-
Mn	0,718	-
Cr	0,0835	-
Ni	0,0456	-
Mo	0,0157	-
Cu	0,0710	-
Al	0,0028	-
V	0,0066	-
W	<	-
Ti	0,0026	-
Nb	<	-
B	<	-
S	0,0304	0,05 maks.
P	0,0086	0,05 maks.

Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan pada material dasar menunjukkan bahwa nilai kekerasan material dasar (lihat lingkaran) berada pada rentang 257-286 HV sesuai dengan nilai kekerasan standar baja karbon untuk *fastener Class 22H*^[13] (220-300 HV). Sedangkan kekerasan material yang mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* berada pada range 550-712 HV seperti yang terlihat pada Tabel 2.



Gambar 13.

Sampel uji kekerasan *screw decanter shaft*

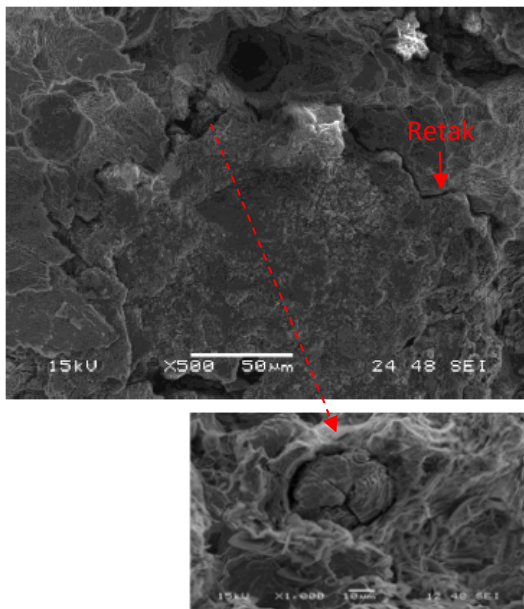
Tabel 2.
Hasil Uji Kekerasan *Screw Decanter Shaft*

No.	Nilai Kekerasan Vickers (HV) P, 5kgf
1	699
2	277
3	550
4	265
5	271
6	257
7	712
8	286
9	653
10	712

Sumber Data :Hasil pengujian dengan menggunakan alat Frank Finotest

Analisis SEM dan EDX

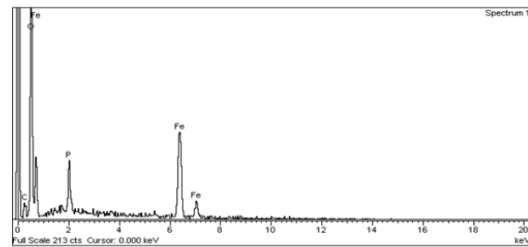
Sampel untuk analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) diambil dari daerah permukaan patahan *screw decanter shaft*. Pemeriksaan SEM menunjukkan adanya inklusi pada permukaan lokasi patahan. Selain itu, juga menunjukkan adanya retak pada permukaan patahan *screw decanter shaft* seperti yang terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14.

Permukaan patahan *screw decanter shaft* menunjukkan adanya inklusi dan retak di sepanjang permukaan patahan

Sedangkan hasil analisa spektrum EDS pada inklusi ditunjukkan oleh Gambar 15 dan Tabel 3. Spektrum inklusi mengandung puncak P dalam spektrum matriks. Hal ini berarti terdapat kandungan P yang lebih tinggi inklusi dibandingkan dalam matriks. Hasil *scanning* dan *mapping* elemen P menunjukkan bahwa kandungan P tertinggi dalam area sekitar inklusi seperti yang terlihat pada Gambar 15. Elemen lain dalam spektrum inklusi adalah unsur Fe dan C.



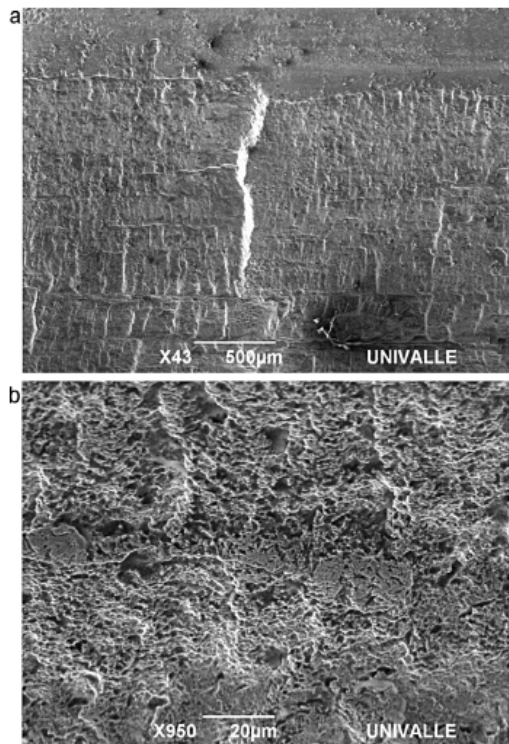
Gambar 15.

Spektrum inklusi hasil EDS

Tabel 3.
Analisa EDS pada inklusi di permukaan *screw decanter shaft*

No.	Nama Unsur	Kandungan Unsur (%)
1	C	5,75
2	O	29,53
3	P	5,33
4	Fe	56,37

Selain itu, permukaan patahan juga menunjukkan bahwa retak diawali dari inklusi seperti yang terlihat pada Gambar 16 (a) dan striasi sejajar terhadap *beachmark* Gambar 16 (b).



Gambar 16.

Hasil SEM dari permukaan *screw decanter shaft*. permukaan patahan *screw* menunjukkan bahwa retak diawali dari inklusi (a) dan striasi sejajar terhadap *beachmark* (b)

PEMBAHASAN

Hasil dari pemeriksaan *screw* dari *decanter shaft* setelah satu tahun pengoperasian yaitu terlihat ujung lubang pasak mengalami aus begitu pula di daerah radius seperti yang terlihat pada Gambar 4. Selain itu, foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70% sedangkan patah sisa/patah akhir terletak berseberangan dengan patah awal dan mempunyai sedikit bidang awal patah seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Analisis komposisi kimia pada permukaan *screw* yang patah dilakukan dengan menggunakan *optical emission spectrometer*. Hasil analisa komposisi kimia dimasukkan ke dalam Tabel 1 lalu dibandingkan dengan standard material baja karbon atau paduan untuk *fastener class 22H*^[13]. Analisa komposisi kimia menunjukkan bahwa material *screw* memiliki perbedaan, namun tidak signifikan dengan standard material baja karbon atau paduan untuk *fastener class 22H*^[13].

Sampe untuk pemeriksaan metalografi diambil dari beberapa lokasi berbeda (no. 1 s/d no.4) pada permukaan patahan *screw* seperti yang terlihat pada Gambar 7. Dari hasil pemeriksaan metalografi di lokasi no.4 menunjukkan adanya inklusi pengotor seperti yang terlihat pada Gambar 11. Inklusi pengotor dikenal sebagai pusat tegangan tinggi (*severe stress concentration*) yang akan mempengaruhi ketahanan fatik dari *screw* dan memfasilitasi inisiasi dari perambatan retak fatik.

Mikrostruktur sampel yang dietsa dengan larutan nital 2 % terlihat pada Gambar 9 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa struktur mikro material dasar terdiri atas ferit (daerah terang)-perlit (daerah gelap) yang mengindikasikan kondisi normal struktur mikro baja karbon untuk *fastener Class 22H*. Sedangkan struktur mikro pada daerah yang dikeraskan (*case hardening*) terdiri atas martensit sehingga menunjukkan bahwa *screw* telah mengalami *heat treatment* di permukaannya (*case hardening*). Hal ini juga dikonfirmasi dari hasil uji kekerasan pada 5 lokasi berbeda yaitu berada pada rentang nilai kekerasan 550 HV s/d 712 HV. Sedangkan nilai kekerasan untuk material dasar pada 5 lokasi yang berbeda dari *screw* yang patah berada pada rentang nilai kekerasan 257 HV s/d 286 HV seperti yang dijelaskan pada Tabel 2. Rentang nilai kekerasan pada material dasar *screw* sesuai dengan rentang kekerasan material baja karbon untuk *fastener Class 22H*.

Stress concentration akibat proses fabrikasi dan kondisi pembebanan dinamis pada *screw* menyebabkan *decanter shaft* rentan terhadap kerusakan akibat fatik yang mengarah pada perpatahan awal. Cacat inklusi merupakan salah satu mekanisme yang memicu inisiasi perambatan fatik secara luas dan mengurangi umur fatik dari material *screw*. Proses kerusakan karena cacat inklusi dapat dideskripsikan ke dalam tiga tahapan yaitu inisiasi awal dengan perubahan struktur mikro dan tampilan beberapa cacat berukuran nanometer atau mikrometer pada permukaan material yang diikuti dengan evolusi retak mikro, perambatan pertumbuhan retak yang signifikan, dan *final failure* (kerusakan akhir)^[14].

Sebagai tambahan, apabila inklusi berkembang pada titik *stress concentration* yang tinggi seperti takikan dan *fillet*, retak mikro kemungkinan tumbuh secara progresif sehingga menghasilkan nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) dan retakan dengan mudah melebihi nilai ambang insentitas tegangan

(*threshold intensity factor*) sehingga menghasilkan pertumbuhan retak fatik.

Dalam kasus ini, kombinasi antara cacat inklusi selama proses fabrikasi, geometri radius, dan kondisi permukaan tanpa adanya *heat treatment* di bawah pembebanan dinamis berupa tarik-tekan yang mengarah pada kerusakan awal dari *screw* pada *decanter shaft*.

SIMPULAN

Dari hasil observasi, pengamatan, dan analisa laboratorium serta pembahasan dapat disimpulkan bahwa penyebab perpatahan *screw decanter shaft* adalah cacat akibat manufaktur berupa inklusi pengotor. Inklusi pengotor berperan sebagai pusat tegangan tinggi (*severe stress concentration*) yang akan mempengaruhi ketahanan fatik dari *screw* dan memfasilitasi inisiasi dari perambatan retak fatik. Adanya pembebanan dinamis berupa tarik-tekan menyebabkan material *screw* mengalami kelebihan tegangan pada daerah tertentu dan akhirnya menghasilkan retak dan patahan.

SARAN

Saran yang perlu dilakukan untuk mencegah terjadi kerusakan yang sama di masa mendatang yaitu melakukan pemeriksaan awal *screw* sebelum diinstalasi pada *decanter shaft*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sudarmadi, M.Eng., MSc. selaku Kepala B2TKS BPPT, Dr.Ing.H.Agus Suhartono selaku Kepala Bidang Kajian Material B2TKS, dan Sutarjo, ST, MM selaku Kepala Sub Bidang Analisa Kerusakan dan Umur Sisa untuk koordinasi dan pemberian ijin dalam menggunakan alat uji laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Failure Analysis and Prevention, Metal Handbook*, Vol. 11, 9th edition, hal.1482, American Society for Metals, Metal Park, Ohio, (1986)
2. Bendt F., Van Bennekom A., *Pump shaft failures a compendium of case studies*, Engineering Failure Analysis, 8 (2001), hal.135-144
3. Goksenli, A., Eryurek IB, *Failure analysis of an elevator drive shaft*, Engineering Failure Analysis, 16 (4) (2009), hal.1001-1009
4. Bhattacharyya, S., Banerjee, A., dkk, *Failure analysis of an input shaft of skip drive gearbox*, Engineering Failure Analysis, 15 (4) (2008), hal. 411-419
5. Attaga, G., Irrisari AM, *Failure analysis of the end of a shaft of an engine*, Engineering Failure Analysis, 17 (4) (2010), hal.714-721
6. Parida, N, dkk, *Failure analysis of coal pulverizer mill shaft*, Engineering Failure Analysis, 10 (6) (2003), hal. 733-744
7. SK, Bhauni, dkk, *Fatigue failre of a hollow power transmission shaft*, Engineering Failure Analysis, 9 (4) (2002), hal. 457-467
8. D., Taylor, dkk, *Prediction of fatigue failure location on a component using a critical distance method*, International Journal Fatigue, 22 (9) (2002), hal. 735-742
9. A. Ktari, dkk, *Fatigue fracture expertise of train engine crankshaft*, Engineering Failure Analysis, 18 (3) (2011), hal.1085-1093
10. Ling, Li, Rong Wang, *Failure analysis on fracture worm gear connecting bolts*, Engineering Failure Analysis, 36 (2014), hal.439-446
11. Kong, Huanppping, dkk, *U-shaped bolt fracture failure analysis*, Procedia Engineering 99, (2015), hal.1476-1481
12. V.Shibaaeva, Tatyana V., dkk, *The effect of microstructure and non-metallic inclusions on corrosion behaviour of low carbon steel in chloride containing solutions*, Corrosion Science, 80 (2014), hal. 209-308
13. *Mechanical Properties of Fasteners Made of carbon steel and alloy steel*, BS EN ISO 898 Part 1, British Standard Institution, United Kingdom, (2012)
14. Sabnavis G, dkk, *Cracked shaft detection and diagnostics: a literature review*, Shock. Vib. Dig., 36 (4) 2004, hal.287–295