ANALISA KERUSAKAN SHORT DRIVE SHAFT KEMPA ULIR PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Purwo Subekti

ABSTRAK

Kempa ulir (*screw press*) digunakan untuk memisahkan minyak kasar (*crude oil*) dari adonan daging buah (*mesocarp*) kelapa sawit, sehingga dihasilkan minyak kelapa sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO). *Short drive shaft* adalah bagian dari kempa ulir yang berfungsi untuk meneruskan daya dari *speed reducer* ke *worm screw*. Pada saat beroperasi, *short drive shaft* terjadi patah pada daerah fillet.

Tujuan penelitian adalah untuk menentukan penyebab terjadinya kerusakan pada *short drive shaft* dan mencegah tejadinya kerusakan yang sama di waktu mendatang. Penelitian terdiri dari pemeriksaan visual dan pengujian di laboratorium, meliputi uji metalografi, fraktografi, kekerasan, tarik, komposisi kimia dan simulasi tegangan.

Dari data hasil pengujian didapat kesimpulan bahwa kerusakan *short drive shaft* diakibatkan oleh terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah alur pasak yang menyebabkan pasak menjadi longgar sehingga *worm screw* mengalami *rotating bending*. Selama beroperasi, kejadian tersebut terus menerus berulang dan terjadi kelelahan pada *short drive shaft*,yang berlanjut menjadi retak awal pada permukaan fillet terus menjalar ke dalam dan akhirnya patah.

Kata kunci: Kempa ulir, *short drive shaft,* konsentrasi tegangan, *rotating bending,* kelelahan

ABSTRACT

Screw press is used to separates crude oil from mesocarp to produce the crude palm oil. Short drive shaft is an element of the screw press that used to transfer of power from speed reducer to worm screw. During in the operation the short drive shafts damaged in the fillet region.

The objective of research is to determine the causes of the short drive shaft damaged and prevent of same failure in the future. The research consist the visual inspection and laboratory examination that including, test of metallography, fractography, hardness, tensile, chemical composition and stress simulation.

From the result data's can be conclusion that the damaged of the short drive shaft caused by stress concentration in keyway areas and it provoke the looseness of the bolt which worm screw rotating bending happened. The rotating bending always happen during short drive shaft in operation and provoke of fatigue in the shaft due to reversed bending continuously and provoke the early cracks in the surface of the fillet shaft and then continue to spread into and eventually break.

Keywords: *Screw press, short drive shaft, stress concentration, rotating bending, fatigue*

1. Pendahuluan

1.1.Latar Belakang

Untuk mendukung hasil yang optimal pada proses pengolahan buah kelapa sawit maka kondisi Kempa Ulir (*Screw Press*) harus di pelihara dengan baik, sehingga proses

aktivitas produksi tidak mengalami gangguan. Terjadinya gangguan pada unit Kempa Ulir (*Screw Press*) akan mengakibatkan berhentinya proses aktivitas pengolahan buah sawit menjadi minyak sawit, yang berimbas pada berkurangnya stok CPO, dan selanjutnya akan menghambat pengiriman pesanan konsumen. Hal tersebut menyebabkan turunya keper-cayaan konsumen akan ketepatan penyediaan bahan baku CPO untuk industri hilir.

Selain itu dampak yang timbul akibat terganggunya proses pengolahan pada unit Kempa Ulir (*Screw Press)* adalah menumpuknya tandan buah segar (TBS) yang sudah siap untuk diolah, sehingga akan mengakibatkan TBS terlalu matang (bahkan akan mulai membusuk), hal ini sangat merugikan karena akan berakibat menurunya kualitas dari CPO. Berhentinya proses peng-olahan akibat gangguan pada unit *Screw Press* disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya: Kebocoran pada seal, Kerusakan pada *Worm Screw*, Keausan pada bantalan, Keausan pada *Conus*, Kerusakan pada Poros Penggerak *(drive shaft)*, Kerusakan pada elektro Motor, Keausan pada *Intermidiate Gear*, Keruskan *Speed Reducer.*

Dari beberapa faktor diatas yang menyebabkan *Screw Press* mengalami gangguan operasional dan memakan waktu paling lama dalam perbaikan adalah ketika Poros Penggerak *(drive shaft) Worm Screw* mengalami kerusakan (patah).

Melihat pentingnya kegunaan dari Poros Penggerak *(drive shaft)* dan untuk menghindari kerusakan yang sama, maka dilakukan suatu studi mengenai penyebab kerusakan. Dengan melakukan kajian keru-sakan diharapakan dapat diidentifikasi faktor-faktor penyebab dari akar kerusakan Poros Penggerak Kempa Ulir *(drive shaft Screw Press*) tersebut, sehingga nantinya dapat diam-bil kesimpulan yang berguna untuk tindakan pencegahan kerusakan di kemudian hari.

1.2.Studi kepustakaan

Analisa Kerusakan

Analisa kerusakan bertujuan untuk menentukan penyebab utama dari suatu kerusakan, sehingga kemudian dapat dila-kukan langkah-langkah koreksi/ perbaikan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sejenis dikemudian hari. Mekanisme kerusakan/kegagalan komponen atau alat dalam operasi yang mungkin terjadi dapat berupa:

Keausan (*wear*); Korosi (*corrosion*); Perubahan bentuk (*distorsion*); Retak/ patah/pecah akibat: Kelelahan (*fatigue*), Beban berlebih (*overload*), Suhu tinggi (*elevated temperature failures*), Lingkungan (*environmentally affected fractures*) dan Perubahan warna/penampakan

Untuk mencegah kerusakan yang fatal pada komponen dapat dilakukan tindakan-tindakan sebagai berikut:

a. Menurunkan tegangan kerja melalui perbaikan desain yang meliputi:bentuk, ukuran/dimensi; susunan/ tata letak dan perakitan
b. Meningkatkan ketahanan material/ komponen yang meliputi: pemilihan material yang sesuai; perbaikan proses manufaktur, perlakuan panas dan pabrikasi/ perakitan; perbaikan lapisan pelindung permukaan (*surface treatment*)
c. Mengendalikan lingkungan yang meliputi:temperatur kerja; tekanan/ tegangan kerja; kontaminasi/ pengotor; kosentrasi lingkungan korosif; kecepatan aliran fluida dan penggunaan *corrosion inhibitor*

Kegagalan Lelah

Bila logam mengalami pembebanan yang berubah/ berfluktuasi baik besar maupun arahnya terhadap waktu operasi (beban dinamik), kerusakan dapat terjadi pada tingkat

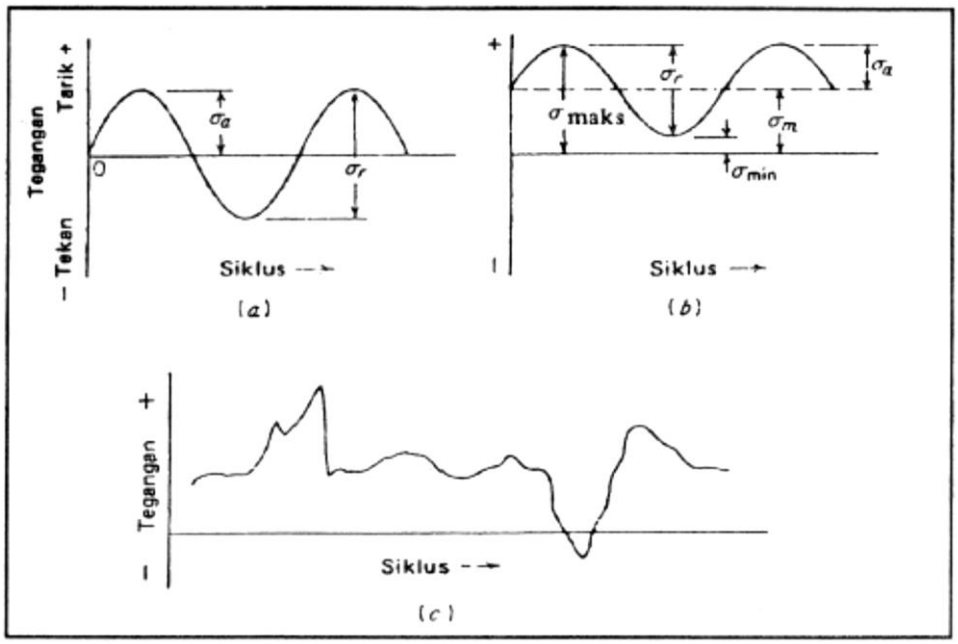
beban yang sangat rendah dibandingkan terhadap kondisi statis. Sifat ini disebut kelelahan (*fatigue*).Kegagalan lelah adalah kondisi yang sangat berbahaya, sebab terjadinya tanpa didahului tanda-tanda awal. Sedangkan akibat kelelahan dapat menyebab-kan patah yang tampak rapuh dengan tidak diawali deformasi pada patahan tersebut.

Walaupun pembebanan dinamis itu terjadi pada daerah elastis, akan tetapi sudah mampu menimbulkan deformasi plastis secara lokal (*plastisitas mikro*) pada bagian logam yang lemah. Hal ini berlangsung terus menerus dan berangsur-angsur akan mengarah kepada pembentukan retak yang kemudian menjalar menimbulkan kerusakan pada logam. [11]

Proses kerusakan/patah akibat fatik meliputi 3 tahapan, yaitu: permulaan retak; penjalaran retak dan patah akhir.

Salah satu hal yang terkait dengan patah akibat fatik adalah pembebanan, ada beberapa kondisi pembebanan yang menye-babkan fatik, yaitu: Fluktuasi tegangan, mencakup getaran *(vibration)*; Fluktuasi regangan; Fluktuasi temperatur (thermal fatigue), atauSalah satu dari kondisi di atas di dalam lingkungan korosif atau pada suhu tinggi.

Sebagai langkah awal perlu menge-tahui bentuk siklus tegangan yang bisa menyebabkan kelelahan, seperti terlihat pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2. Siklus tegangan lelah

(a) Tegangan balik *(complete reversal)*
Gambar siklus tegangan adalah berbentuk sinusoidal, dimana tegangan berfluktuasi pada tegangan rata-rata nol dengan amplitudo yang constant, tegangan maksimum dan minimum adalah sama besar. Tegangan minimum adalah tegangan terendah pada suatu siklus, tegangan tarik dianggap positif dan tegangan tekan dianggap negatif.

(b). Tegangan berulang *(repeated)*
Dimana tegangan berfluktuasi pada tegangan rata-rata diatas nol dengan amplitudo yang konstan, tegangan maksimum dan minimumnya tidak sama keduanya adalah tegangan tarik.

(c). Siklus tegangan acak atau tak-teratur *(complicated)*

Dimana siklus dan tegangan rata-rata berubah baik secara acak *(random)* atau dengan suatu bentuk tertentu.

Patah karena fatik mulai terjadi sebelum terbentuknya suatu retak. Akibat beban siklus maka terjadi deformasi plastis *(slip)* secara lokal. Bila slip terjadi, maka slip tersebut dapat terlihat pada permukaan logam sebagai suatu tangga *(step)* yang disebabkan oleh pergerakan logam sepanjang bidang slip. Demikian seterusnya maka lama-kelamaan akan terjadi suatu retak. Siklus untuk menimbulkan awal retak dan penjalaran retak tergantung pada tegangan pada yang bekerja. Bila tegangan yang bekerja tinggi maka waktu terbentuknya awal retak akan lebih pendek. Pada tegangan yang sangat rendah *(low cycle fatigue)* maka hampir seluruh umur fatik dugunakan untuk membentuk retak awal. Pada tegangan tinggi sekali *(high sycle fatigue)* retak terbentuk dengan cepat.

Perpatahan (fracture)

Perpatahan karena beban statis atau dikenal sebagai perpatahan karena beban yang berlebihan diakibatkan material mendapat beban yang dinilainya lebih tinggi dari kekuatan material tersebut. Patah karena beban statis ini umumnya terjadi pada laju pembebanan yang tinggi atau jika material mendapat beban kejut. Sedangkan perpatahan karena beban dinamis dikenal dengan perpatahan lelah, dengan tipe patahan disebabkan pemberian beban yang berubah besarnya ataupun arahnya. Fluktuasi beban akan mengakibatkan kelelahan pada material jika kekuatan lelah material terlampaui, material akan patah. Umumnya penjalaran retak pada patahan lelah ini sulit terdeteksi sampai diketahui material rusak setelah terjadi perpatahan.

Disamping pengaruh tegangan mekanis seperti diuraikan diatas, pengaruh kimiawi, temperatur dan lain-lain juga ikut membantu proses terjadinya patahan. Lokasi terjadinya patahan ditentukan oleh letak daerah kritis pada komponen/benda kerja, serta besar dan arah tegangan maksimumnya.

Tabel 1. Komposisi kimia standar baja ASSAB 709

Bahan	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %
ASSAB 709	0.42	0.25	0.75	1.05	0.20

Sumber: (ASSAB Steel Indonesia)

1.3. Tujuan dan manfaat serta kontribusi hasil.

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

a. Menentukan penyebab utama dan mengutarakan secara jelas timbulnya kerusakan.
b. Mendapatkan petunjuk-petunjuk yang berguna untuk mencegah timbul dan meluasnya kerusakan.
c. Menentukan langkah-langkah untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama dikemudian hari.

2. Ulasan

2.1. Metode Penelitian

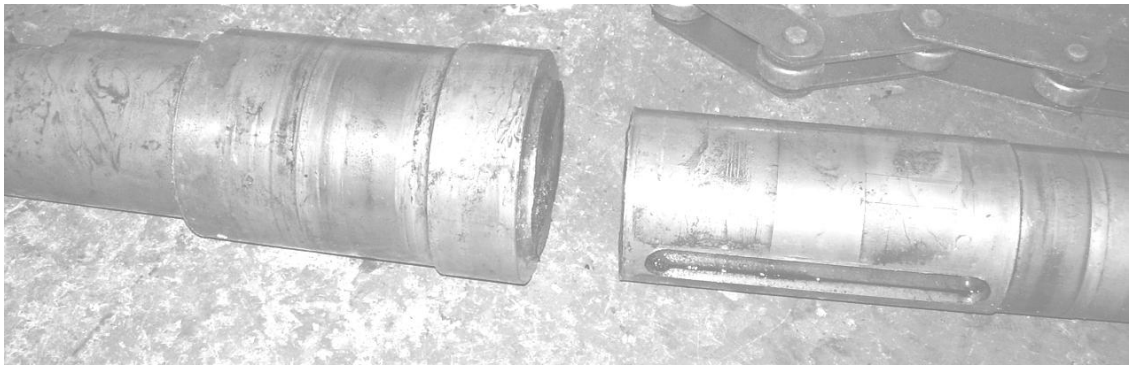
Bahan Penelitian

Didalam penelitian ini bahan yang dipakai adalah material*short drive shaft* kempa ulir *(screw pres)* yang mengalami patah, yaitu baja ASSAB 709 (AISI/SAE 4140) dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Dengan sifat mekanik sebagai berikut:

- Kekuatan Luluh (*yield strength*) : 600 N/mm^2
- Kekuatan Tarik (*tensile strength*): 800-950 N/mm^2
- Elongasi (*elongation*) : 14 %
- Pengurangan Area (*reduction of area*) : min. 55 %

- Kekuatan Tumbuk (*impact strength*) : 25 Joule
- Kekerasan (*hardness*) : 245-290 HB



Gambar 2.1. S*hort drive shaft* kempa ulir *(screw pres)* yang patah

Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

(1). Peralatan pembuatan benda uji, yaitu mesin potong abrasive, mesin poles, ampelas dan lain-lain yang ada di B2TKS-PusPitek Serpong.

(2). Peralatan spectrometer dengan system komputerisasi untuk analisa komposisi kimia.

(3). Peralatan uji fraktografi

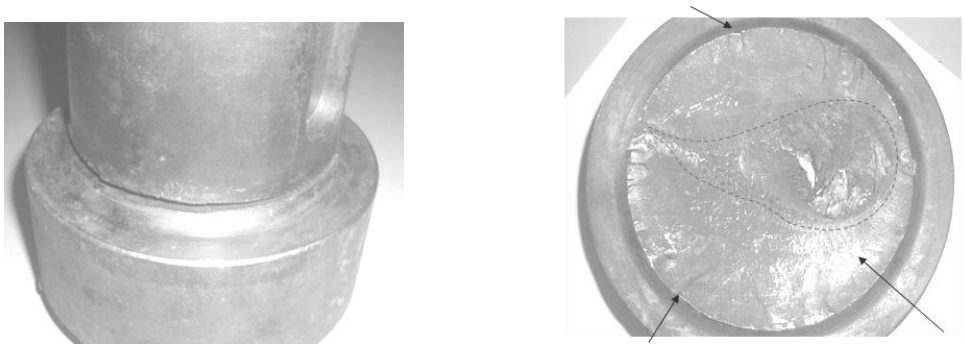
(4). Peralatan uji struktur mikro berupa mikoroskop optic.

(5). Peralatan uji mekanis, seperti alat uji kekerasan dan alat uji tarik.

2.2. Hasil Pembahasan

Pemeriksaan Visual

Dari hasil pengamatan secara visual pada *Short Drive Shaft* Kempa Ulir (*Screw Press*) yang mengalami patah, permukaan patahan dan daerah luar sekitar poros yang mengawali terjadinya patah, dapat dilihat pada gambar 2.2. Dari gambar tersebut terlihat jelas jejak awal patahan dan patah akhir, yang menunjukkan bahwa poros tersebut mengalami patah akibat *rotating bending*.

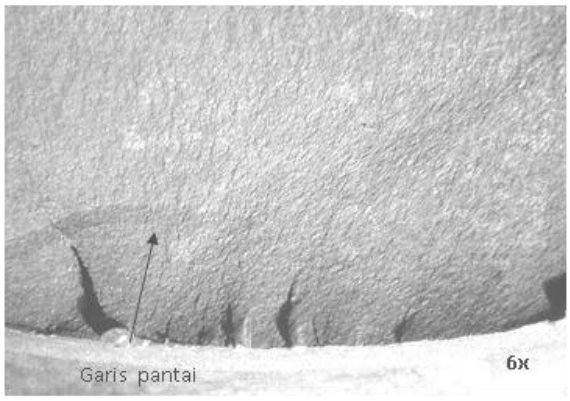


Gambar 2.2. a. Lokasi daerah yang mengalami patah pada daerah *fillet*
b. Permukaan awal patah. Patah terjadi pada poros mengalami *rotating bending*, yang mempunyai dua awal patah

Analisa Fraktografi

Daerah yang diperkirakan sebagai awal retak dapat dilihat pada 2.3.Daerah awal retak (*crack initiation*) terjadi dari permukaan poros dan daerah penjalaran retak *(crak propagation)* terus menjalar ke dalam membentuk *beach mark* (gambar 2.2. b). Daerah patah akhir *(final fracture)* yang terjadi

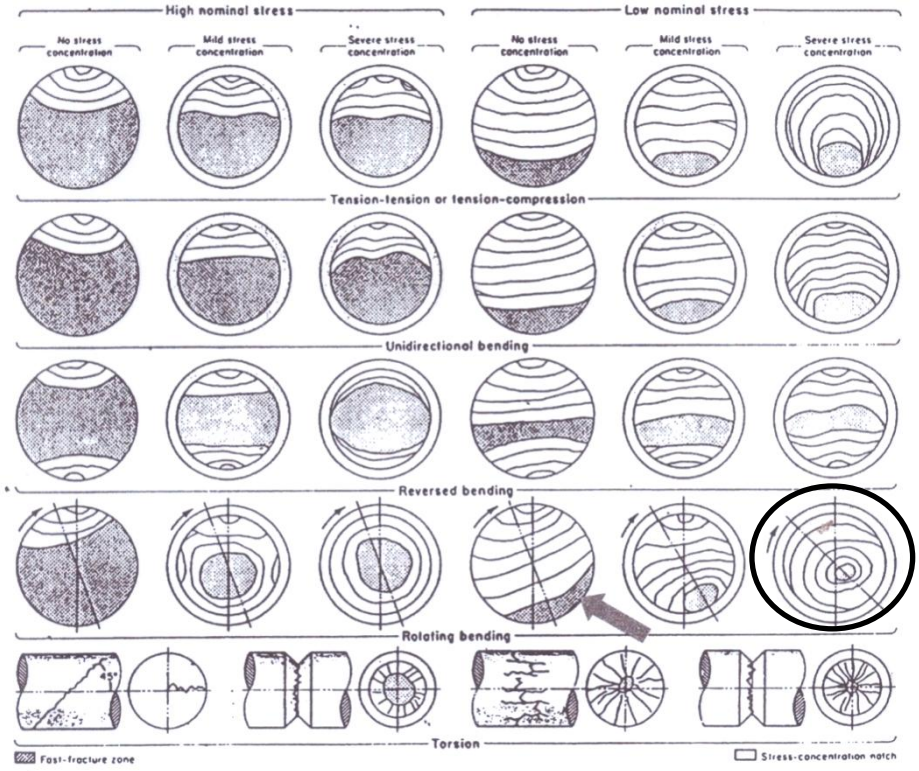
pada akhir siklus tegangan, pada saat sisa penampang poros tidak mampu lagi menahan beban poros (gambar 2.2. b).



Gambar. 2.3. Bentuk permukaan patah awalTerlihat adanya garis pantai (patah lelah)

Patah lelah dapat dikenali dari permukaan patahannya, yaitu pada daerah yang halus (gambar 2.2. b) akibat efek gesekan *(rubbing effect)* ketika retakan menjalar akibat siklus pembebanan, sedangkan permukaan patahan akhir terlihat kasar. Untuk membandingkan keadaan pembebanan dikaitkan dengan bentuk permukaan patahan yang terjadi, maka dapat melihat referensi penampang patahan akibat kelelahan *(fatigue)*, seperti terlihat pada gambar 2.4. Dari gambar tersebut terlihat secara sketsa beberapa kondisi tegangan kerja *(high nominal stress)* atau *(low nominal stress)* untuk beberapa pembebanan.

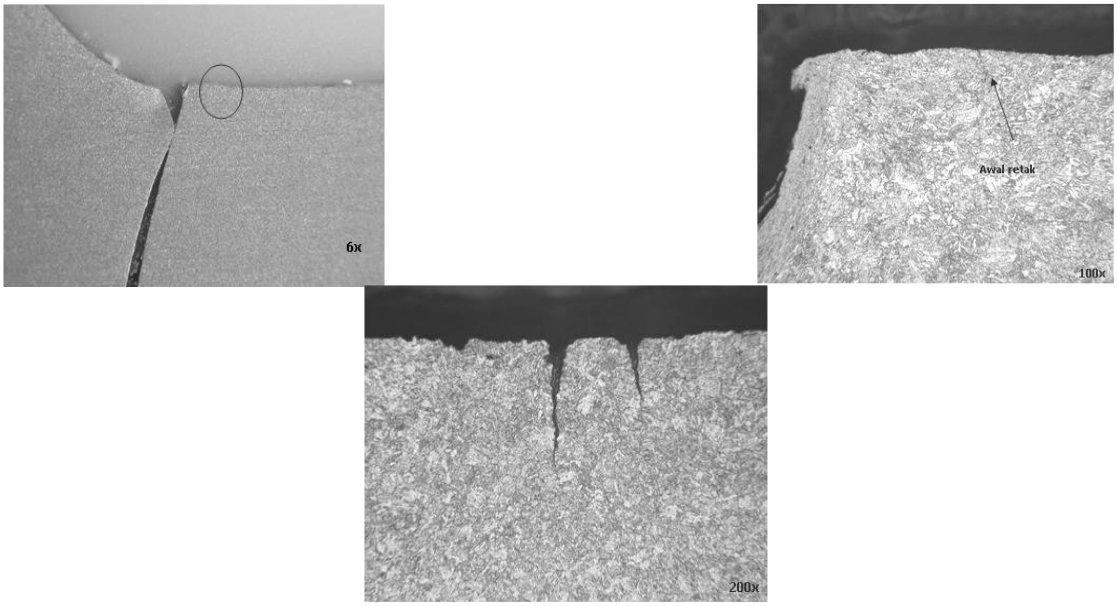
Pada gambar 2.2.b dan gambar 2.4 terlihat perbandingan permukaan patahan, yang mendekati dengan skematis adalah pada bentuk penampang yang di beri tanda lingkaran merah. Maka kerusakan pada *Short Drive Shaft* disebabkan oleh beban dinamis yaitu beban gabungan antara *rotating bending* dan *torsion* dengan tingkat pembebanan *low nominal stress*. Keadaan ini menunjukan bahwa, *Short Drive Shaft* tersebut di operasikan dalam beban yang normal (dalam ambang batas yang diijinkan). Tetapi dengan adanya kelonggaran pada pasak pengunci*worm screw press* maka terjadi *rotating bending* pada *Short Drive Shaft.* Faktor awal yang menyebabkan poros tersebut patah adalah akibat adanya kelelahan (*fatigue*).



Gambar 2.4. Skematis permukaan patah-lelah (bentuk ideal) untuk specimen atau komponen logam bentuk silindris.[5]

Analisa Metalografi

Hasil foto terhadap beberapa titik didaerah sekitar awal retakan ditunjukan pada gambar 4.8. a dan b. Sedangkan pada gambar 4.8 c dan d memperlihatkan dengan jelas bahwa penjalaran retak dimulai dari permukaan poros terus menjalar ke arah bagian dalam, diakibatkan karena beban torsi. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa struktur mikro dari material poros adalah bainit.



Gambar 2.5. c. Patah pada daerah fillet pembesaran 6x, 100 x dan 200x

Crak dimulai pada permukaan poros potongan memanjang, struktur mikro berupa bainit

Analisa Komposisi Kimia

Dari data hasil uji komposisi kimia seperti terlihat pada tabel 2, menunjukan bahwa material *Short Drive Shaft* tersebut sesuai dengan spesifikasi material standar ASSAB 709 (AISI/SAE 4140) terlihat pada tabel 1.

Tabel 2. Komposisi kimia material uji

No	Elemen	Komposisi Hasil Uji (% Berat)	Komposisi Standar (% Berat)
1	Fe	96,80	97,33
2	C	0,35	0.42
3	Si	0,23	0.25
4	Mn	0,86	0.75
5	Cr	1,05	1.05
6	Ni	0,16	-
7	Mo	0,15	0.20
8	Cu	0,29	-
9	Al	0,00	-
10	V	0,011	-
11	W	0,047	-
12	Ti	0,0002	-
13	Nb	0,0017	-
14	B	0,0001	-
15	S	0,023	-
16	P	0,023	-

Sumber: Penelitian B2TKS-BPPT

Pengujian Kekerasan

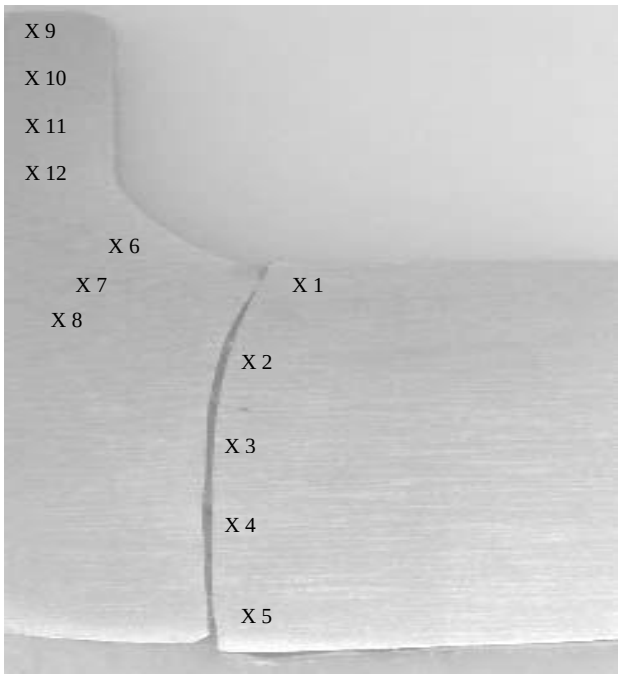
Dari hasil pengujian kekerasan seperti pada tabel 3 dapat di lihat bahwa pada bagian permukaan poros nilai kekerasannya relatif lebih tinggi dibanding dengan bagian dalam. Di samping itu dari hasil rata-rata nilai kekerasan material uji (268 HB), sedangkan nilai kekerasan material standar (245-290 HB). Dari pengujian kekerasan juga terlihat bahwa tidak ada perlakuan panas terhadap material

setelah proses *machining*, karena nilai kekerasan masih standar ASSAB 709.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan

Posisi	Nilai Kekerasan	
	HV	**HB**
1	293	278
2	277	263
3	262	250
4	257	244
5	241	227
6	286	270
7	286	270
8	280	266
9	313	294
10	313	294
11	299	284
12	293	278
Rata-rata	**283**	**268**
Standar		**245-290**

Sumber: Penelitian B2TKS-BPPT



Gambar 2.6. Titik uji kekerasan

Pengujian Tarik

Dari hasil uji tarik yang dapat dilihat pada tabel 4, dengan hasil rata-rata kekuatan tarik material uji sebesar 883,82 N/mm^2, untuk material standar kekuatan tariknya adalah sebesar 800-950 N /mm^2. Sedangkan kekuatan luluh sebesar 706,28 N/mm^2, untuk material standar kekuatan luluhnya adalah sebesar 600 N /mm^2. Dan juga untuk perubahan panjangan sebesar 13 %, sedangkan standarnya adalah sebesar 14 %.

Dari hasil tersebut mengindikasikan kekuatan luluh material poros meningkat 106,32 N/mm^2 (15,4 %).

Tabel 4. Hasil uji tarik

Benda Uji	Penampang Benda Uji Bulat(mm)	Gaya Yield (KN)	Gaya maks. (KN)	Panjang (mm)	Luas Penampang (mm^2)	Perubahan Panjang (mm)	Selisih Luas (%)	Tegangan Tarik (N/mm^2)	Tegangan Yield (N/mm^2)
1	12,79	91	114	50	128,41	13	26	887,78	708,67
2	12,62	88	110	50	125,02	13	26	879,86	703,89
Rata-Rata	**12,71**	**89,5**	**112**	**50**	**126,72**	**13**	**26**	**883,82**	**706,28**
Standar								800-950	600

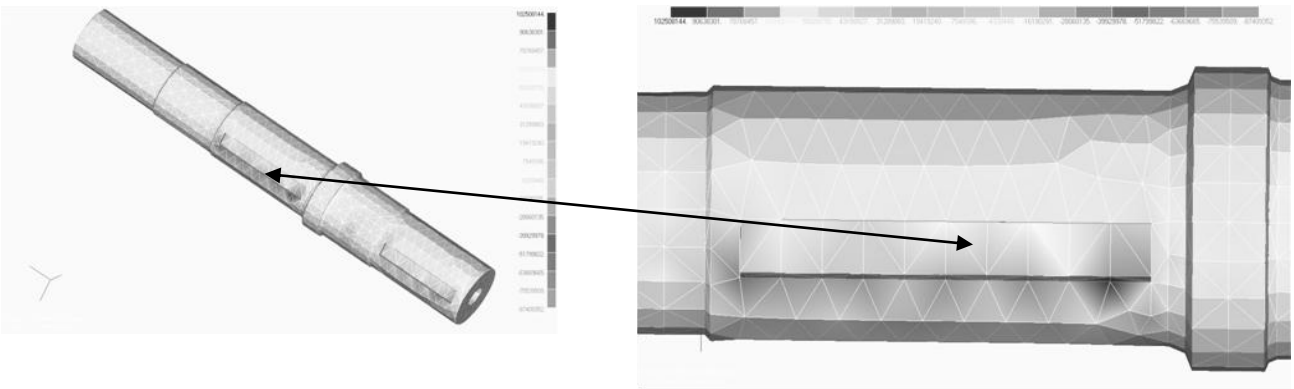
Sumber: Penelitian B2TKS-BPPT

Simulasi Tegangan

Dari hasil simulasi tegangan maka terlihat bahwa kosentrasi tegangan terjadi di daerah alur pasak. Untuk gambar 4.12 - 4.14 menunjukan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada daerah alur pasak (terhadap kekuatan pasak) sebesar $\boldsymbol{\tau}$ = 71790872 N/m^2 (71,79 N/mm^2), sedangkan tegangan yang terjadi ($\boldsymbol{\tau}$)hasil perhitungan lebih kecil (tabel 4.8) dan untuk tegangan ijin (nominal) sebesr $\boldsymbol{\tau}_a$ = 76,33 N/mm^2.

Sedangkan untuk gambar 4.15 menunjukan bahwa tegangan maksimum (terhadap kekuatan poros) yang terjadi pada setiap bagian poros (rata-rata) adalah sebesar $\boldsymbol{\tau}$ = 102508144 N/m^2 (102,51 N/mm^2), sedangkan tegangan maksimum yang terjadi hasil perhitungan adalah $\boldsymbol{\tau}$ = 104, 19 N/mm^2. dan untuk tegangan ijin sebesr $\boldsymbol{\tau}_a$ = 102, 56 N/mm^2.

Dari hasil simulasi dan perhitungan menjelaskan bahwa tegangan yang terjadi lebih besar dari pada tegangan ijin (pada table 4.5), disamping itu akibat terkonsentrasinya tegangan pada daerah alur pasak, menyebabkan tidak meratanya distribusi tegangan yang bekerja pada poros sehingga menyebabkan pada daerah tersebut mengalami kelelahan. Hal tersebut terus berlangsung hingga daerah alur pasak longgar dan terus bergesek. Gesekan antara pasak dan alur pasak menyebakan benturan yang terus berlanjut hingga terjadi keretakan dan terus menjalar menjadi patah akhir.



Gambar 2.7..Kontur von mises stress pada poros dan
Kontur konsentrasi tegangan pada aerah alur pasak *dudukan tooth wheel*

Penyebab Terjadinya Kerusakan Material Short Drive Shaft

Dari hasil pemeriksaan secara visual, hasil pemeriksaan laboratorium dan simulasi tegangan yang dilakukan, dapat diperkirakan indikasi terjadinya patah pada *Short Drive Shaft* diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Dari pengaruh *rotating bending* menga
2. kibatkan longgarnya pasak pada daerah alur pasak dudukan *tooth whell* yang kemudian menyebabkan terjadinya hen-takan/ benturan antara kedua roda gigi (*tooth whell)*, sehingga mengakibatkan pada daerah *fillet* mengalami dorongan balik dari roda gigi pemutar. Indikasi tersebut dikuatkan dengan gambar 2.2.a. Kejadian tersebut terus berlangsung selama beroperasinya *Short Drive Shaft*, sehingga menyebabkan terjadinya kele-lahan pada poros yang berlanjut menjadi retak awal pada permukaan poros, dan terus menjalar sampai pada patah akhir, seperti terlihat pada gambar 2.2.b.
3. Kekuatan material yang rendah, sehingga pada daerah fillet dan alur pasak terjadi konsentrasi tegangan yang tidak seban-ding dengan kekuatan material, di sam-ping itu juga terlihat kekerasan pada permukaan poros dengan bagian dalam

terlihat berbeda dan semakin menurun (tabel 2).

Usaha Penanggulangan Kerusakan Short Drive Shaft

Upaya pencegahan kerusakan yang sama perlu dilakukan sehingga umur pakai dari komponen sesuai dengan yang di syaratkan, sehingga kerusakan yang sama di kemudian hari dapat dihindari. Upaya tersebut adalah dengan perlakuan panas terhadap material *Short Drive Shaft* setelah proses *machining,* yang meliputi:

1. *Hardening*, material *Short Drive Shaft* dipanaskan seluruhnya dalam dapur dengan suhu 880 – 890°C, kemudian setelah tercapai suhu pada seluruh bagian material kemudian didinginkan dengan oli. Perlakuan panas *hardening* mengasilkan kekerasan sangat tinggi sebesar 62 HRC dan cendrung getas
2. *Tempering*, setelah perlakuan *hardening* kemudian untuk menurunkan nilai kekerasan dan meningkatkan ketangguhan atau keuletan material maka dilakukan *tempering*, suhu dapur 500 -700°C dengan waktu tahan selama 1 – 2 jam kemudian didinginkan dalam media oli. Perlakuan panas *tempering* menghasilkan nilai kekerasan 320 HB dengan kekuatan tarik 1090 N/mm^2 dan kekuatan luluh 700 N/mm^2.

Dari hasil perlakuan panas didapat kekuatan material yang meningkat (1090 N/mm^2)dibanding dengan tanpa perlakuan panas (800-950N/mm^2).

3. Penutup

3.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan data hasil penelitian terhadap kerusakan *short drive shaft*, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kerusakan *short drive shaft* pada dasarnya disebabkan oleh faktor kelelahan *(fatigue)* akibat beban dinamis, yaitu beban gabungan antara *rotating bending* dan *torsion* dengan tingkat pembebanan *low nominal stress*. Faktor kelelahan dapat dikenali, dimana pada permukaan patahan terlihat adanya garis pantai *(beach mark)* dan sebagian lagi terlihat halus *(rubbing affect).* Selain itu pada permukaan patahan juga terlihat patah sisa (patah akhir) terlihat kasar.
2. Kelelahan pada *short drive shaft* disebabkan karena pada saat beroperasi terjadi *bending* pada *worm screw*, hal ini dapat dikenali dengan bentuk permukaan alur pasak yang halus akibat gesekan dengan pasak.
3. Gesekan terjadi karena pasak longgar yang disebabkan pada daerah stopper/hub *worm screw* mengalami tekanan yang tidak merata akibat *bending* pada *worm screw*, disamping itu juga menyebabkan stopper retak dan akhirnya patah.
4. Dari hasil simulasi tegangan maka terlihat bahwa kosentrasi tegangan terjadi di daerah alur pasak. Gambar tersebut menunjukan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada daerah alur pasak (terhadap kekuatan pasak) sebesar 71790872 N/m^2 (71,79 N/mm^2. Dan untuk tegangan ijin (nominal) sebesr 76,33 N/mm^2 (tegangan yang terjadi lebih besar dari tegangan ijin).
5. Akibat dari poin diatas (4) dan adanya gesekan pasak ditambah lagi dengan adanya konsentrasi tegangan pada daerah alur pasak menyebabkan kelelahan pada pada daerah *fillet* dan terus menjalar seiring dengan bero-perasinya *short drive shaft*, yang selanjutnya permukaan poros mengalami retak yang pada akhirnya patah.
6. Usaha penanggulangan kerusakan yang sama yaitu dengan melakukan perlakuan panas terhadap material *short drive shaft* setelah proses *machining*, dengan harapan

kekuatan dan ketangguhan bahan akan meningkat dan aman.

3.2. Saran

Beberapa analisis yang disarankan untuk mengetahui performance *short drive shaft*secara komprehensif antara lain:

1. Perlunya proses perlakuan panas *(heat treatment)* pada material *short drive shaft*.
2. Perlunya control operasi secara ketat untuk mengihindari penurunan putaran yang tidak seimbang dengan daya terpakai, sehingga putaran terus dipertahankan seimbang dengan daya yang terpakai.
3. Perlu dilakukan analisis gesekan pada komponen alur pasak pada *short drive shaft* dan *stopper* pada *worm screw*.
4. Perlu dilakukan analisis gesekan pada komponen alur pasak pada *short drive shaft* dan *alur pasak pada tooth wheel.*
5. Perlu dilakukan analisis getaran pada komponen *worm screw*.
6. Pengecekan uji tak rusak *(penetrant test)* terhadap *hub worm screw* sebelum dioperasikan dan pada saat pemeliharaan.
7. Perlu dilakukan uji laboratorium terhadap kekuatan material *short drive shaft* setelah laku panas.

4. Daftar Pustaka

Djoko Wiyono, "Pengaruh Temperatur Tinggi Terhadap Struktur dan Sifat Mekanis Material Coil Pipe Heater Pada Anjungan Pengeboran Minyak Lepas Pantai", Tesis Magister Materials Science Universitas Indonesia, Jakarta 1994

W.O. Alexander, "Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan", PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta, 1995.

Amin Suhadi, "Proses Manufaktur", Magister Teknik Mesin ISTN, Jakarta 2009

Lawrence H. Van Vlack (Penerjemah: Sriati Djaprie), "Ilmu dan Teknologi Bahan", Penerbit Erlangga, Jakarta,1991

D.N. Adnyana, "Analisa Kerusakan/ Kegagalan dan Pencegahan," Magister Teknik Mesin ISTN, Jakarta 2008

Djawadi, "Pengaruh Perlakuan Panas Pada Baja ASSAB 709 Terhadap Sifat Korosi dan Sifat Mekanis", Tesis Magister Materials Science Universitas Indonesia, Jakarta, 1997.

Hadi Sunandio, "Analisa Kegagalan: Pelatihan Dasar Metalurgi dan Analisa Kerusakan", LUK-BPPT, Jakarta, 2000

William D. Callister. Jr, "Materials Science and Engineering", Jhon Wiley & Sons, Inc New York Chichester Brisbane Toronto Singapure 1991

K.M. Ralls, T.H. Courtney, and J.Wuff, "Introduction to Materials Science and Engineering", Jhon Wiley & Sons, Inc New York, 1976

Bagus Budiwantoro, Arief Teguh Hermawan, Desain Geometri Screw Press DenganMetode Numerik Elmen Hingga, Jurnal Teknik Mesin Vol. 17 No. 1 , ITB, Bandung 2002

Putu M. Santika, Desain Kontruksi Terhadap Kelelahan, Diktat Kuliah Magister Teknik Mesin ISTN, Jakarta 2008.

Ach. Muhib Zainuri, Kekuatan Bahan, Andi Offset, Yogyakarta, 2008

Sularso, Suga Kyokatsu, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, P.T. Prandya Paramitha, Jakarta, 1987.