

# Analisis Kegagalan pada *Shaft Gearbox* Mesin *Palletizer* di PT Holcim Tbk Tuban

Asia, Lukman Noerochim, dan Rochman Rochiem

Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, Kampus ITS-Keputih Sukolilo, Surabaya

*e-mail*: lukman@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**—*Shaft* merupakan bagian yang cukup penting di dalam motor karena *shaft* berfungsi sebagai penyalur gaya atau tenaga. *Shaft* bekerja sesuai dengan kerja mesin dan motor. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab kegagalan yang terjadi pada *shaft gearbox* mesin *palletizer*. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung analisis ini. Dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa material *shaft* tersebut merupakan AISI 1030 dan material *shaft* tersebut sesuai dengan ASTM A291. Dari pengujian *metallography* didapatkan hasil struktur mikro yang terdiri dari ferit dan perlit. Pengujian SEM dilakukan pada permukaan patahan dan hasil dari uji SEM menunjukkan adanya retakan dan terdapat garis striasi halus akibat adanya pembebanan berulang dan terus menerus. Uji kekerasan dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah dekat patahan dan daerah yang jauh dari patahan. Semakin jauh titik pengujian dari patahan maka hasil kekerasan semakin menurun. Dari hasil analisis *rietveld* didapatkan nilai regangan dan tegangan sisa pada daerah yang dekat dari patahan lebih besar dari pada daerah yang jauh dari patahan. Pada patahan *shaft* ini terdapat retakan yang ditandai dengan adanya awal retakan (*crack initiation*) pada daerah ujung rumah pasak, penjaralan retak (*crack propagation*) yang ditandai dengan garis pantai dan *final fracture* dengan permukaan yang kasar.

**Kata kunci**—*crack, metallography, palletizer, rietveld, shaft*

## I. PENDAHULUAN

PT HOLCIM Tbk Tuban merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri semen. Produksi semen di Indonesia setiap tahun mengalami kenaikan sehingga perusahaan semen menggunakan beberapa alat atau mesin untuk mendukung produksi semen tersebut. Salah satu mesin yang cukup membantu produksi semen adalah mesin *palletizer*.

Mesin *palletizer* berfungsi untuk menyusun atau memindahkan barang produksi ke tempat yg telah disediakan. Mesin *palletizer* ini dikendalikan secara manual dan semi otomatis. Mesin ini digerakkan oleh sebuah motor. Pada motor tersebut terdapat beberapa komponen penting seperti poros, *gear* dll. Komponen mesin yang menghubungkan daya dari motor ke mesin yaitu disebut poros atau *shaft*.

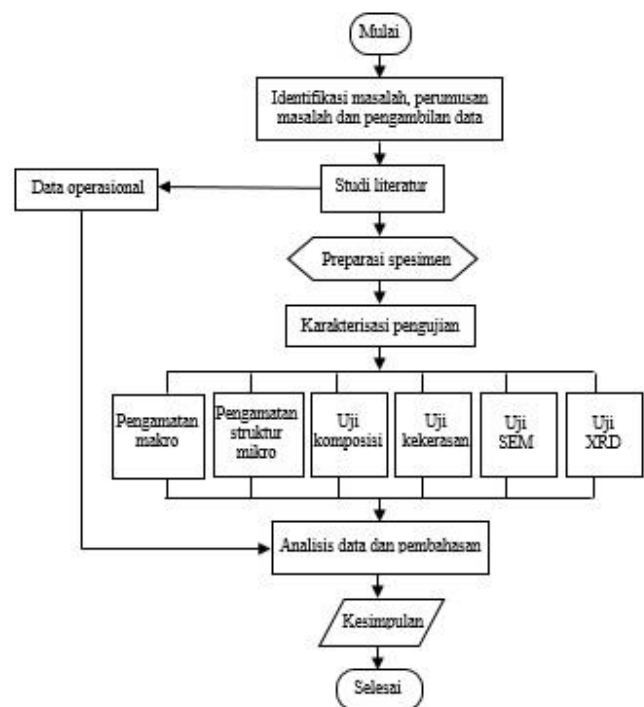
Poros biasanya merupakan material yang terbuat dari baja karbon. Baja karbon yang cocok diaplikasikan untuk poros adalah baja karbon yang cukup kuat yaitu seperti baja karbon menengah. Poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik berupa puntiran, torsi maupun bending dari suatu bagian ke bagian yang lain. Akibat beban tersebut poros mengalami pembebanan yang terus berulang. Akibatnya suatu poros sering mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan akibat

beban berulang sangat tidak diinginkan karena tanda-tanda akan terjadinya kegagalan tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dapat berupa *crack* yang terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* yang kemudian menjadi patah [1]. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab-penyebab terjadinya kegagalan pada poros atau *shaft*.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun rancangan dan prosedur percobaan akan dijelaskan sebagai berikut:

### A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### B. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Penggaris digunakan untuk mengukur spesimen
2. Alat pemotong digunakan untuk memotong spesimen
3. Kamera digunakan untuk melihat kegagalan secara makro
4. Mesin uji kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen

5. Peralatan untuk pengujian metalografi seperti amplas *grade* 80 sampai 2000, mesin polish, dan larutan etsa
6. Mikroskop optik digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari *shaft*
7. *Optical Emission Spectrometer* digunakan untuk mengetahui komposisi kimia unsur dari *shaft*
8. SEM digunakan untuk mengetahui karakterisasi pada permukaan patahan
9. XRD digunakan untuk mengetahui fasa dan tegangan sisa material *shaft*

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian komposisi

Material yang digunakan untuk penelitian mempunyai komposisi kimia sebagai berikut:

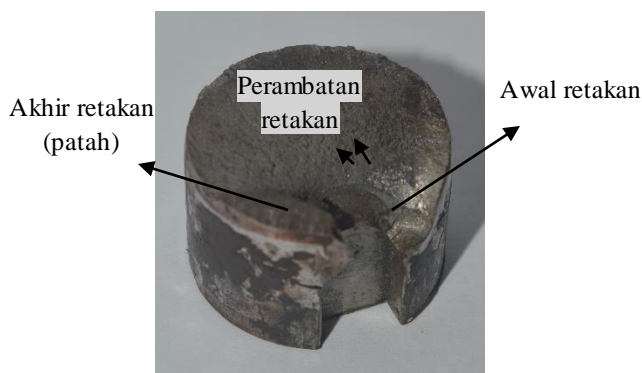
Tabel 1.

Komposisi Kimia Material *Shaft* yang Dibandingkan dengan ASTM

Unsur	Kadar (%)	1030 (ASTM A29)	ASTM A291
C	0,315	0,28-0,34	0,55 max
Si	0,151	-	0,35 max
Mn	0,771	0,60-0,90	0,60-0,90
P	0,0133	0,040 max	0,040 max
S	0,0190	0,050 max	0,040 max
Cr	0,198	-	0,25 max
Mo	0,0180	-	0,10 max
Cu	0,180	-	0,35 max
Ni	0,115	-	0,30 max
Fe	98,2197	-	-

Tabel 1 merupakan komposisi kimia material *shaft*. Jika dilihat dari komposisinya material tersebut termasuk baja karbon menengah yaitu AISI 1030 (ASTM A29). Material tersebut juga sesuai dengan ASTM A291 yang menjelaskan tentang komposisi yang cocok untuk digunakan sebagai *shaft*.

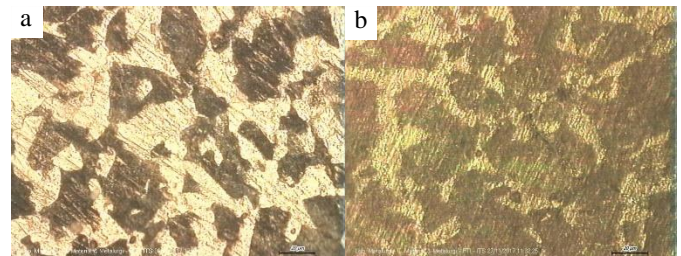
#### B. Pengamatan Makro



Gambar 2. Permukaan Patahan *Shaft*

Pada gambar 2 tersebut terlihat jelas pada permukaan patahan terdapat adanya awal retakan, perambatan retak yang ditandai dengan adanya garis pantai dan akhir retakan dengan permukaan yang kasar.

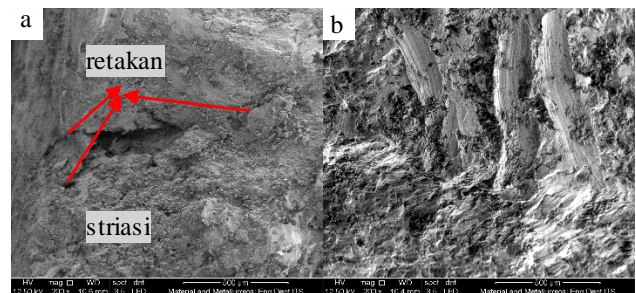
#### C. Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 3. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Menggunakan Etsa Nital dengan Perbesaran 50x (a) Daerah yang Jauh dari Patahan (b) Daerah yang Dekat dari Patahan

Pada hasil pengamatan struktur mikro terdapat 2 warna yang berbeda yang menandakan pada struktur mikro tersebut terdiri dari 2 fasa yaitu sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C bahwa dengan kadar karbon 0,3% maka struktur mikro yang terbentuk adalah ferit (warna terang) dan perlit (warna gelap).

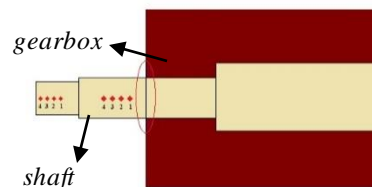
#### D. Pengamatan SEM



Gambar 4. Hasil Pengamatan SEM (a) Fraktografi Bagian Tepi Permukaan Patahan *shaft* (b) Fraktografi Akhir Retakan yang Ditandai dengan Permukaan Kasar dan Lebih Gelap

#### E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah yang jauh dari patahan dan daerah yang dekat dengan patahan.

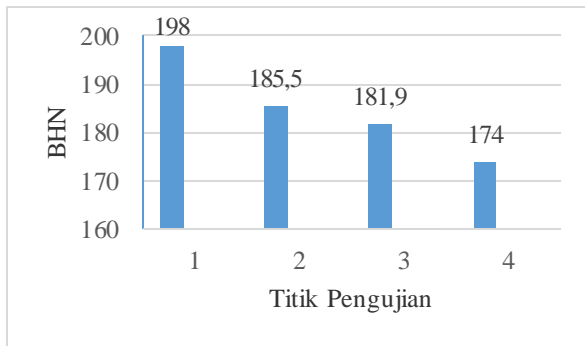


Gambar 5. Titik-titik Pengujian Kekerasan

Hasil yang didapatkan dari pengujian kekerasan yaitu:

Tabel 2. Kekerasan *Shaft* pada Daerah yang Jauh dari Patahan

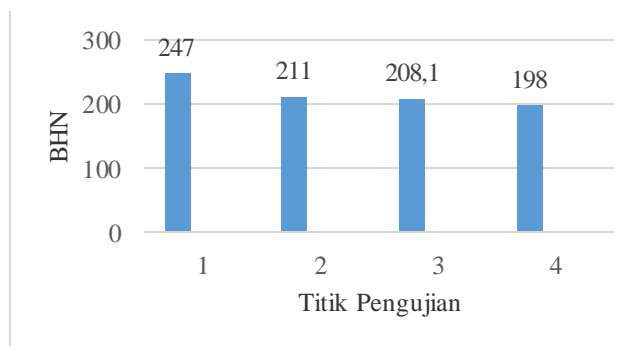
Titik	D1	D2	HV	BHN
1	0,928	0,962	208	198
2	0,978	0,972	195	185,5
3	0,984	0,988	191	181,9
4	1,006	1,008	183	174
	Rata-rata		194,25	184,85



Gambar 6. Distribusi Kekerasan *Shaft* Daerah yang Jauh dari Patahan

Tabel 3. Kekerasan *Shaft* pada Daerah yang Dekat Patahan

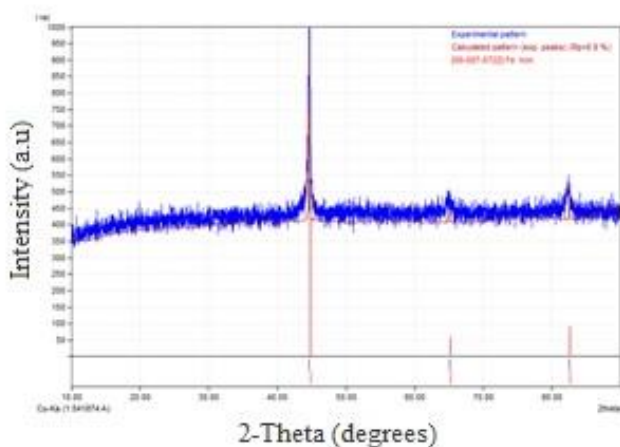
Titik	D1	D2	HV	BHN
1	0,792	0,892	260	247
2	0,884	0,942	222	211
3	0,878	0,964	219	208,1
4	0,932	0,954	208	198
Rata-rata			227,25	216,025



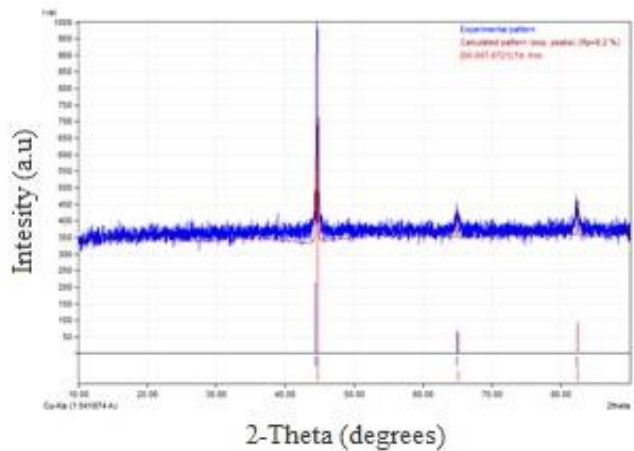
Gambar 7. Distribusi Kekerasan *Shaft* Daerah yang Dekat dari Patahan

F. Analisis Rietveld

Analisis *rietveld* juga dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah yang jauh dan dekat dari patahan. Analisis ini bertujuan untuk menganalisis regangan dan tegangan sisa yang terjadi pada material *shaft* tersebut. Analisis ini menggunakan program *rietica* dan MAUD berdasarkan data dari pengujian XRD.



Gambar 8. Hasil Uji XRD pada Daerah yang Jauh dari Patahan



Gambar 9. Hasil Uji XRD pada Daerah yang Dekat dari Patahan

Hasil dari analisis ini dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 4.

Hasil Output Program *Rietica*

Bagian	Rp	Rwp	$\chi^2$
Jauh dari patahan	3,93	6,13	2,93
Dekat dari patahan	3,67	5,94	3,23

Tabel 5.

Hasil Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

Bagian	Regangan	Tegangan (MPa)
Jauh dari patahan	0,000157437	31,4874
Dekat dari patahan	0,000551367	110,2734

G. Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi unsur kimia menggunakan OES, komposisi kimia dari *shaft gearbox* tersebut sesuai dengan komposisi kimia material AISI 1030. *Shaft* ini termasuk baja karbon sedang atau medium. Baja karbon sedang dalam dunia teknik biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, poros, engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain. Material yang digunakan sebagai *shaft gearbox* ini sesuai dengan ASTM A291 tentang penggunaan komposisi kimia material yang cocok digunakan sebagai *shaft*. Kegagalan yang terjadi pada *shaft* ini bukan dikarenakan kesalahan pemilihan material. Kegagalan yang terjadi bisa saja disebabkan karena kondisi operasi yang berlebihan, cacat produksi, dan pemeriksaan yang kurang baik [2].

*Shaft* tersebut menerima pembebanan secara terus menerus baik dari motor maupun mesin. Pada *gearbox* juga terdapat *gear* yang memberikan beban torsi kepada *shaft*. Pembebanan yang didapat *shaft* dari motor yaitu sebesar 4,99 N.m dan pembebanan yang didapat dari mesin untuk mengangkat 5 kantong semen yaitu sebesar 350kg. Momen bending dari *shaft* tersebut yaitu sebesar 342 Mpa. Kegagalan *shaft* juga bisa dikarenakan pembebanan yang berlebihan atau *overload*. Selain pembebanan yang berlebihan, kegagalan juga bisa disebabkan karena perawatan komponen atau *maintenance* yang tidak benar sehingga kegagalan tidak bisa dihindari.

Dari pengujian struktur mikro pada gambar 3 didapatkan struktur mikro ferit dan perlit yang mendukung karakterisasi material ini sebagai *carbon steel* dan juga sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C bahwa struktur mikro dengan kadar

karbon 0,3%C adalah ferit dan perlit [3]. Pada gambar 3 (a) menunjukkan hasil pengujian struktur mikro material shaft di daerah yang jauh dari patahan. Terlihat hasil dari struktur mikro tersebut terdapat 2 fasa yang berbeda yaitu fasa ferit dan perlit. Fasa ferit terlihat lebih dominan dibandingkan dengan perlit. Hal ini disebabkan karena sifat dari baja dengan kadar karbon 0,3% C sedikit ulet sehingga perlit lebih sedikit dari pada ferit. Apabila dilihat dari diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C didapatkan perhitungan perbandingan fasa pada 0,3% C yaitu sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{0,8-0,3}{0,8-0,008} \times 100\% = 63,13\% \quad (1)$$

$$p = \frac{0,3-0,008}{0,8-0,008} \times 100\% = 36,87\% \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan terlihat banyaknya fasa ferit dan perlit. Berdasarkan perhitungan dari *lever rule* diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu banyaknya perlit hampir setengah dari ferit sehingga sifat dari baja ini tidak terlalu keras.

Pada gambar 3 (b) menunjukkan hasil pengujian struktur mikro material shaft di daerah yang dekat dari patahan. Sekilas terlihat tidak ada yang berubah karena struktur yang terbentuk tetap yaitu ferit dan perlit. Akan tetapi, struktur mikro di daerah yang dekat patahan terlihat strukturnya memanjang (terjadi *elongation*). Terjadinya pertambahan panjang dari struktur mikro material tersebut disebabkan karena terjadi *strain hardening* pada material sebelum mengalami patah. *Strain hardening* sendiri yaitu pengerasan regangan yang disebabkan karena pergeseran dislokasi. Dislokasi pada logam semakin rapat dan meningkat serta terjadi pembentukan dislokasi baru. Dengan adanya pembentukan dislokasi baru membuat dislokasi lama terdesak. Pada saat material akan mengalami patah terjadi peregangannya sehingga struktur mikro dari material tersebut mengalami penarikan dan membuat struktur mikronya terlihat memanjang.

Material yang mengalami pembebanan pada umumnya akan mengalami peningkatan tegangan dalam yang dikenal dengan *strain hardening*. Terjadinya *strain hardening* juga sangat dipengaruhi oleh seberapa besar beban luar yang dikenakan pada material tersebut. Beban yang dikenakan pada material akan menyebabkan material mengalami reaksi terhadap beban tersebut dengan mengalami deformasi yaitu mengalami regangan atau *strain*. Selama regangan masih dalam batas kemampuan material untuk menahan, maka energi dari luar tersebut yang berupa beban akan digunakan oleh material untuk mengalami peregangannya. Akibatnya energi dalam material akan meningkat. Atau hal ini dikenal dengan terjadinya *internal stress* atau tegangan dalam. Semakin besar tegangan dalam yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan atau perpatahan pada material, jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut [4].

Dari hasil pengamatan makroskopik terlihat jelas dari permukaan patahan terdapat adanya *initial crack* atau awal retakan yang terdapat di pinggir cekungan. Awal retakan terjadi pada daerah tersebut karena pada daerah tersebut merupakan pusat tegangan sehingga lebih sering terjadi retakan pada daerah tersebut. Retak mulai menjalar dan akhirnya menyebabkan patah yang berujung di daerah seberang

terjadinya awal retakan. Pada daerah tengah permukaan patahan material *shaft* tersebut terlihat adanya garis striasi yang halus. Penjaluran retak disepanjang permukaan patahan ditandai dengan adanya garis pantai. Sedangkan pada akhir patahan terlihat dengan jelas permukaannya lebih kasar.

Hasil uji SEM terlihat pada permukaan patahan terdapat garis striasi halus. Garis striasi yang timbul disebabkan karena adanya pembebanan berulang yang dialami oleh komponen sebelum patah.

Pada gambar 4 merupakan hasil dari uji SEM pada permukaan patahan *shaft*. Pada gambar 4 (a) menunjukkan hasil fraktografi pada permukaan patahan *shaft* di bagian tepi. Pada gambar tersebut menunjukkan adanya retakan. Di daerah tersebut juga terlihat adanya garis striasi halus. Adanya retakan menandakan awal terjadinya kegagalan pada material *shaft*. Pembebanan berulang dan terus menerus yang dialami oleh komponen akan menyebabkan retak yang terbentuk akan mudah menjalar hingga akhirnya mencapai dimensi yang cukup signifikan untuk menyebabkan komponen patah [5]. Pada gambar 4 (b) merupakan hasil uji SEM pada daerah akhir patahan. Dari hasil SEM tersebut terlihat patahan lebih kasar dan lebih gelap.

Pengujian kekerasan dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah yang jauh dari patahan dan daerah yang dekat dengan patahan. Daerah yang jauh dari patahan diambil di ujung material *shaft* dengan 4 titik pengujian. Titik 1 didapatkan nilai kekerasan 208 HV. Titik 2 didapatkan nilai kekerasan 195 HV. Titik 3 didapatkan nilai kekerasan 191 HV dan titik 4 di ujung *shaft* didapatkan nilai kekerasan 183 HV. Semakin jauh titik pengujian dari daerah patahan maka kekerasan semakin menurun.

Pengujian kekerasan yang kedua dilakukan pada daerah yang dekat dari patahan. Titik 1 di daerah ujung patahan didapatkan nilai kekerasan 260 HV. Titik 2 didapatkan nilai kekerasan 222 HV. Titik 3 didapatkan nilai kekerasan 219 HV dan titik 4 didapatkan nilai kekerasan 208 HV. Sama halnya pada daerah yang jauh dari daerah patahan, nilai kekerasan akan semakin turun seiring jauhnya titik pengujian dengan patahan.

Dari data hasil pengujian didapatkan nilai kekerasan yang sesuai dengan standar pada ASTM A291. Akan tetapi, pada daerah yang dekat dari patahan didapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari nilai kekerasan daerah yang jauh dari patahan. Hal ini disebabkan karena pada daerah yang dekat dari patahan mengalami *strain hardening* sehingga menyebabkan kekerasan di daerah yang dekat dengan patahan meningkat.

Bila dilihat dari hasil analisis *rietveld* yang digunakan untuk menghitung analisis regangan dan tegangan sisa dapat dilihat pada tabel 5 bahwa daerah yang dekat dari patahan memiliki nilai regangan dan tegangan sisa yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang jauh dari patahan. Semakin besar tegangan dalam atau tegangan sisa yang terbentuk dapat menyebabkan kerusakan atau perpatahan pada material jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut [4].

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan:

- a. Terjadi *strain hardening* pada material *shaft* sebelum patah yang menyebabkan kekerasan material di dekat daerah patahan meningkat dan *strain hardening* menyebabkan adanya tegangan sisa sehingga menyebabkan komponen patah atau mengalami kegagalan pada material jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut
  - b. Terdapat retakan sebelum material patah yang ditandai dengan adanya awal retakan (*crack initiation*) yang terjadi pada ujung rumah pasak, penjalaran retak (*crack propagation*) yang ditandai dengan adanya garis pantai dan *final fracture* dengan permukaan yang kasar. Pada daerah tengah permukaan patahan terdapat garis-garis striasi halus yang menandakan adanya pembebanan berulang
  - c. Kegagalan yang terjadi pada *shaft* ini bukan dikarenakan kesalahan pemilihan material. Kegagalan yang terjadi bisa saja disebabkan karena kondisi operasi yang berlebihan, cacat produksi, dan pemeriksaan yang kurang baik.
2. Mekanisme terjadinya kegagalan pada kasus ini disebabkan karena ada beban berulang dan terus menerus sehingga pada saat mencapai titik maksimum komponen menerima beban

- akan menyebabkan komponen patah. Terdapat retakan pada daerah rumah pasak dimana daerah tersebut merupakan daerah terjadinya gesekan antara *shaft* dengan komponen motor yang lain seperti *gear* dan daerah tersebut juga merupakan daerah pemusatan tegangan
3. Hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan *shaft* tidak terjadi lagi yaitu perlu dilakukan pengecekan secara berkala sehingga bisa langsung ditangani sebelum akhirnya terjadi kegagalan. Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu masalah *maintenance* atau perawatan komponen mesin sehingga bisa meminimalisir terjadinya kegagalan pada *shaft* maupun komponen motor ataupun mesin yang lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. dkk Sugiarto, "Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang AISI 1045 dengan Heat Treatment (Quenching) dengan Menggunakan Alat Rotary Bending," Universitas Lampung, 2013.
- [2] A. Brooks, Charlie and Choudhury, *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [3] W. D. Callister Jr, *Materials Science and Engineering an Introduction, 9th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2014.
- [4] T. Rusianto, "Pengaruh Tegangan Dalam (Internal Stress) terhadap Laju Korosi pada Baut," AKPRIND, 2008.
- [5] C. dkk Sutowo, "Analisa Kegagalan pada Poros Baja Karbon S45C Aplikasi Komponen As Sink Roll," Tangerang, 2014.