

ANALISIS KEGAGALAN MATERIAL ST 37 PADA MAIN SHAFT VIBRATOR CONVEYOR MESIN VERTICAL DRYER KAPASITAS 6 TON DI PT. PURA BARUTAMA DIVISI ENGINEERING

Sayyid Fajri Nur Fauzi¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang

Gedung B Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang

E-mail : sayyid.fajri.nur.fauzi@gmail.com¹

Abstrak

Main Shaft merupakan bagian dari komponen Vibrator Conveyor pada mesin Vertical Dryer kapasitas 6 ton yang merupakan salah satu produk dari PT. Pura Barutama Divisi Engineering yang berfungsi sebagai mesin pengering gabah padi yang tidak terpengaruhi oleh cuaca. Vibrator Conveyor berfungsi untuk mengalirkan material (gabah) ke atas dan maju sehingga material akan berjalan sepanjang jalur conveyor untuk diteruskan ke proses berikutnya. Main Shaft bekerja sebagai penerus putaran dari motor penggerak menuju ke pan stand dengan mengubah gerak rotasi menjadi gerak translasi yang disalurkan melalui arm. terdapat poros eksentrik sebagai subkomponen dari main shaft yang berfungsi sebagai pemberi getaran pada pan stand. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan pada main shaft dengan tujuan menganalisa faktor penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan komponen main shaft. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisa kegagalan ini adalah pengamatan makroskopis, uji komposisi kimia, analisa struktur mikro, pengujian kekerasan, dan pengujian keausan. Hasilnya adalah faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen main shaft pada vibrator conveyor yaitu kesalahan pemilihan material dan kesalahan perlakuan panas. Mekanisme kegagalan komponen main shaft pada vibrator conveyor mesin vertical dryer kapasitas 6 ton diawali dengan material main shaft telah terjadi perlakuan panas yang muncul akibat adanya pembebangan dengan jenis siklus tegangan bolak balik (reversed stress cycle) dan gesekan secara terus menerus selama proses berlangsung, yang mengakibatkan terjadinya creep (merangkak) dan turunnya nilai kekuatan material, sehingga material terjadi deformasi plastis berupa keausan akibat kelelahan (fatigue) pada bagian yang terkena tegangan secara terus menerus (cycle stress) yang awalnya hanya berupa retak kecil, kemudian merambat ketika setiap kali ujung retak tersebut menerima tegangan, dan terjadi juga konsentrasi tegangan pada bagian tertentu yang menyebabkan keausan lebih besar dibandingkan bagian yang lainnya.

Kata Kunci: main shaft, vibrator conveyor, vertical dryer, kegagalan, kelelahan

I. PENDAHULUAN

Kemajuan dalam inovasi saat ini telah melahirkan manifestasi yang berbeda dalam segala hal yang dapat membantu semua yang dibutuhkan oleh manusia. Di dalam hal ini PT. Pura Barutama Divisi Engineering tidak mau ketinggalan dalam berpartisipasi menciptakan teknologi yang dapat memudahkan manusia. Salah satu mesin yang diciptakan oleh PT. Pura Barutama Divisi Engineering yaitu sebuah mesin di bidang pertanian yang diberi nama mesin *vertical dryer* dengan kapasitas 6 ton. *Vertical dryer* adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk mengeringkan gabah padi yang tidak terpengaruh oleh cuaca. Ketika dalam keadaan cuaca hujan, gabah padi tetap bisa kering dengan menggunakan mesin *vertical dryer* ini. Pada mesin *vertical dryer* terdapat berbagai bagian dan komponen mesin pendukung untuk menunjang kinerja dari *vertical dryer* itu sendiri, salah satunya adalah bagian *vibrator conveyor*. *Vibrator conveyor* berfungsi untuk mengalirkan gabah padi ke atas dan maju sehingga gabah padi akan berjalan sepanjang jalur *conveyor*. Melihat fungsinya yang sangat vital untuk

menunjang kinerja dari mesin *vertical dryer*, maka diharap komponen *vibrator conveyor* didesain secara efektif dan menggunakan material komponen yang memiliki kualitas tinggi serta tahan lama.

Vibrator conveyor tersusun dari dua bagian yaitu *main frame* dan *pan stand*. Pada bagian *main frame* terdapat beberapa komponen, antara lain motor penggerak, *pulley*, *main shaft*, *balancer*, dan *arm*, sedangkan pada bagian *pan stand* terdapat komponen *shaft stand*, dan *pan hopper*. Antara kedua bagian *main frame* dan *pan stand* dihubungkan oleh pegas yang disebut dengan *vibrating spring* dan *plate vibro* yang berfungsi sebagai penyangga sekaligus pembatas gerakan dari *pan stand* sehingga *pan stand* tidak dapat bergerak bebas. *Main shaft* sendiri terdiri dari tiga subkomponen yaitu poros as, poros eksentrik, dan pasak (pin). Untuk pemasangannya, poros as dimasukkan ke lubang eksentrik pada poros eksentrik dengan metode sambungan sesak, kemudian dimasukkan pasak (pin) pada masing-masing subkomponen dan pada ujung pasak (pin) dikunci dengan las titik. Pada saat *vibrator conveyor* bekerja, *main shaft* akan meneruskan putaran dari motor penggerak (gerak rotasi) menuju ke *pan stand* (gerak translasi) melalui *arm*. *Pan stand* tidak dapat bergerak bebas karena pada *pan stand* terikat oleh pegas, sehingga menimbulkan sebuah getaran. Terdapat gaya tarik dan gaya tekan yang tinggi yang akan diterima oleh *main shaft* akibat gerak translasi dari *pan stand*, dan apabila *main shaft* tidak mampu menahan getaran dan gaya tarik serta gaya tekan ketika proses berlangsung, maka dapat dipastikan bahwa *main shaft* dapat terjadi keausan bahkan hingga patah. Tentunya hal tersebut tidak ingin terjadi, maka perancang (*designer*) harus mengetahui kekuatan dari *main shaft* baik itu bagian poros as, poros eksentrik, dan pasak (pin) dalam meneruskan tenaga dari motor penggerak menuju ke *pan stand* yang terjadi perubahan gerakan dari gerak putar (rotasi) menjadi gerak translasi. *Main shaft* juga harus mampu menahan gaya yang diterima dari berat *pan stand* dan beban muatan ketika *vibrator conveyor* bekerja.

Main shaft terkena beban tarik dan tekan akibat gerak translasi dari *pan stand*. Oleh sebab itu, nilai ketahanan dari *main shaft* dalam menahan semua beban sangat penting. Adanya faktor diatas menyebabkan *main shaft* menjadi sebuah topik penelitian yang dapat dimuat dalam berbagai aspek, seperti teknologi produksi, bahan, kinerja simulasi, kelelahan, dll.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme terjadinya kerusakan atau kegagalan komponen *main shaft* pada *vibrator conveyor* mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton. Material yang digunakan pada *main shaft* ini adalah material yang umum ada di pasaran yaitu baja St 37. Pada kasus ini, terjadi kegagalan komponen berupa keausan pada subkomponen dari *main shaft* yang saling bersinggungan yaitu antara poros as dengan poros eksentrik dan antara poros eksentrik dengan *bearing* yang digunakan sebagai penghubung ke *arm* setelah dilakukan proses *trial and error* selama 2000 jam. Untuk mengetahui penyebab kegagalan dari komponen *main shaft*, maka dilakukan analisa dan beberapa pengujian yang bersifat merusak. pengujian yang akan digunakan antara lain, pengujian komposisi kimia, analisa struktur mikro (asm), pengujian kekerasan, dan pengujian keausan. Dari pengujian tersebut dapat diketahui komposisi (unsur) kimia penyusun material dari komponen *main shaft*, bentuk struktur mikro material dari komponen *main shaft*, nilai kekerasan material dari komponen *main shaft*, dan nilai keausan material dari komponen *main shaft* akibat beban *fatigue* atau lelah yang diterima oleh material. Pengujian ini akan dijadikan acuan untuk mengetahui sifat-sifat dari material, dan dari pengujian ini dapat dipakai untuk mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi pada komponen *main shaft*.

Pada penelitian terdahulu yang diangkat dengan judul “Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk” membahas terkait analisis kegagalan pada komponen *spring rod* yang berfungsi penahan getaran pada *grinding roller* di Coal Mill Tuban I milik PT. Semen Indonesia. Kegagalan pada komponen tersebut mengakibatkan terganggunya sistem operasional pabrik semen, sehingga dilakukan sebuah penelitian untuk mengidentifikasi penyebab dan mekanisme kegagalan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data perusahaan yang berkaitan dengan main shaft vibrator conveyor sebagai data pendukung penelitian. Data yang diambil yaitu desain main shaft, data operasi, spesifikasi material.

B. Preparasi Spesimen

Tahap preparasi ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab terjadinya kegagalan pada main shaft vibrator conveyor di PT. Pura Barutama Divisi Engineering. Persiapan ini berupa menyiapkan spesimen uji yang disesuaikan dengan kebutuhan pengujian yang akan dilakukan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Macam-macam kegunaan spesimen uji

N o	Nama Spesimen	Dimensi (mm)	Kegunaan Spesimen			
			Uji keker asan	Uji komposis i kimia	Uji keau san	A S M
1	Poros eksentrik asli	Sesuai dengan aktual	√	√		√
2	Potongan poros eksentrik	30 x 25 x 8			√	
3	Potongan poros as 1	d31 x 50	√			√
4	Potongan poros as 2	40 x 30 x 10		√	√	

C. Pengamatan Makroskopis

Pengamatan makroskopis dilakukan untuk melihat wujud, tampilan, dan lokasi kerusakan pada komponen yang terjadi suatu kerusakan atau kegagalan secara makro. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan kamera *handphone*. Langkah-langkah dalam melakukan pengamatan mikroskopis adalah dengan cara melakukan pengambilan gambar menggunakan kamera *handphone* pada bagian yang mengalami kerusakan atau kegagalan secara makro, kemudian dilakukan pengamatan pada titik atau posisi yang terjadi kerusakan atau kegagalan tersebut.

D. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan yang menggunakan alat *Optical Emission Spectrometer (OES)*. Pengujian komposisi kimia dilakukan di dua tempat yakni Polman Ceper Klaten untuk spesimen poros eksentrik asli dengan menggunakan mesin Bruker, dan CV. Karya Hidup Sentosa, Yogyakarta untuk spesimen potongan poros as 2 dengan menggunakan alat uji Thermo ARL 3560 OES untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada *main shaft vibrator conveyor*.

E. Analisa Struktur Mikro (ASM)

Analisa struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur material dari benda yang diuji. Secara singkat prosesnya adalah mengamati permukaan benda yang diuji menggunakan

mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Proses Produksi Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan mikroskop optik analisa struktur mikro Controlab.

F. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinell yang mana proses pengujinya menggunakan Indentor bola baja yang dikeraskan dengan diameter 2,5mm dengan faktor yang digunakan adalah 30. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Proses Produksi Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan mesin uji kekerasan Controlab.

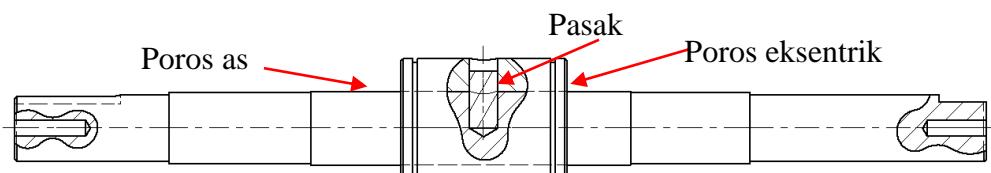
G. Pengujian Keausan

Pengujian Keausan ini menggunakan metode Ogoshi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan *Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U*. Proses pengujian ini yaitu menggesekkan spesimen yang diuji dengan beban sebesar 2,6 kg terhadap bagian *revolving disk* pada mesin uji. Jarak dan waktu yang digunakan adalah 60,6 meter dan 4,12 menit. Nilai dari beban yang digunakan, jarak, dan waktu untuk pengujian keausan bisa berbeda-beda tergantung dari jenis material apa yang diuji. Karena material yang diuji adalah baja St 37 yang merupakan jenis material baja karbon rendah (*low carbon steel*), maka nilai beban yang digunakan, jarak, dan waktu dirasa sudah cukup untuk bisa mendapatkan hasil yang optimal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Record Main Shaft di PT. Pura Barutama Divisi Engineering

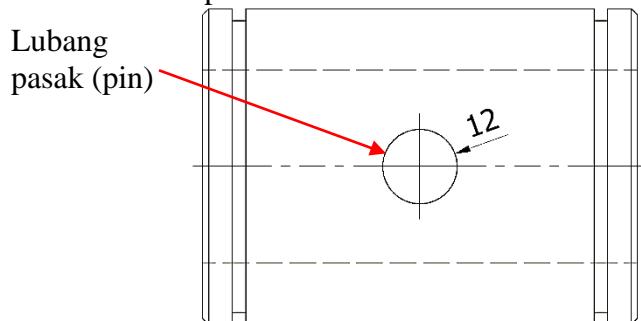
Pada awal tahun 2021, PT. Pura Barutama Divisi *Engineering* melakukan sebuah percobaan (*trial and error*) sebuah produk baru yaitu mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton yang berlangsung selama 2000 jam. Setelah dilakukan *trial and error*, dilakukan pengecekan semua komponen yang ada pada mesin dan ditemukan sebuah kegagalan berupa keausan pada komponen *main shaft* yang merupakan bagian dari unit *vibrator conveyor* pada mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton. Material yang digunakan *main shaft* adalah baja St 37.



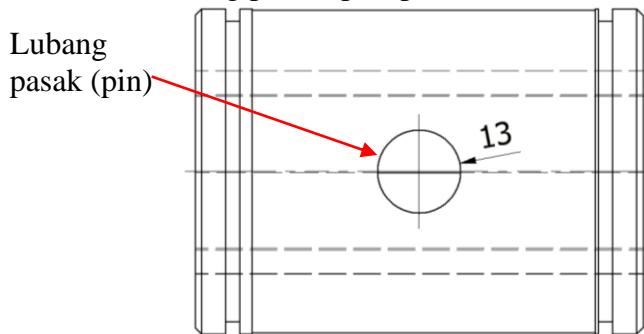
Gambar 1. Desain *main shaft* pada *vibrator conveyor*

Gambar 1. menunjukkan desain *main shaft* pada *vibrator conveyor*. *Main shaft* bekerja sebagai penerus putaran dari motor penggerak menuju ke *pan stand* dengan mengubah gerak rotasi menjadi gerak translasi yang disalurkan melalui *arm*. *Main shaft* tersusun dari 3 subkomponen yaitu poros eksentrik, poros as, dan pasak (pin). Mekanisme pemasangan ketiga komponen tersebut dengan cara memasangkan lubang eksentrik poros eksentrik ke bagian selimut dari poros as yang memiliki diameter terbesar dengan metode sambungan

sesak. Kemudian dimasukkan pasak (pin) ke dalam lubang pasak (pin) yang tersedia pada masing-masing komponen dan pada ujung pasak (pin) dikunci dengan las titik. Pada kasus ini, *main shaft* merupakan komponen yang terjadi kegagalan. Kegagalan tersebut terdapat pada poros eksentrik dan poros as.

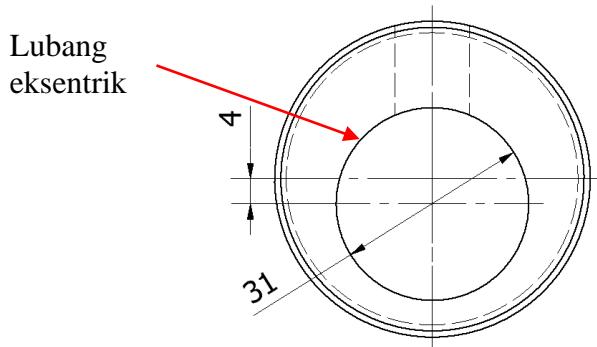


Gambar 2. Dimensi lubang pasak (pin) poros eksentrik sebelum *trial and error*

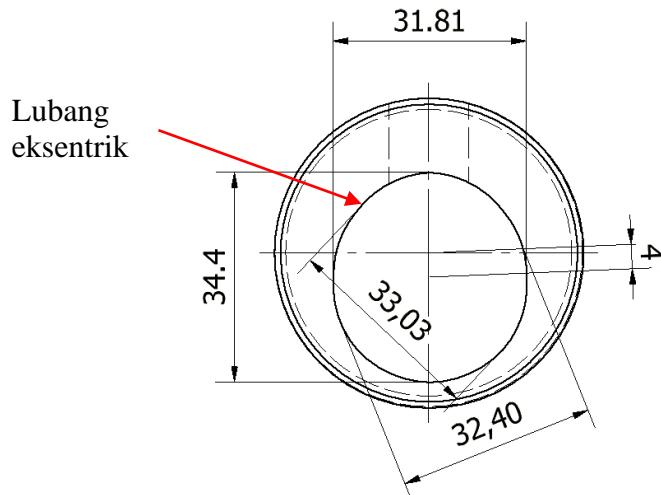


Gambar 3. Dimensi lubang pasak (pin) poros eksentrik setelah *trial and error*

Gambar 2. dan gambar 3. merupakan dimensi lubang pasak (pin) poros eksentrik sebelum dan sesudah dilakukannya *trial and error*. Kerusakan pertama pada poros eksentrik yaitu terjadi keausan pada lubang pasak (pin). Sebelum dilakukan *trial and error*, diameter lubang pasak (pin) sebesar 12 mm, namun setelah dilakukan *trial and error* terjadi pembesaran lubang menjadi 13 mm.

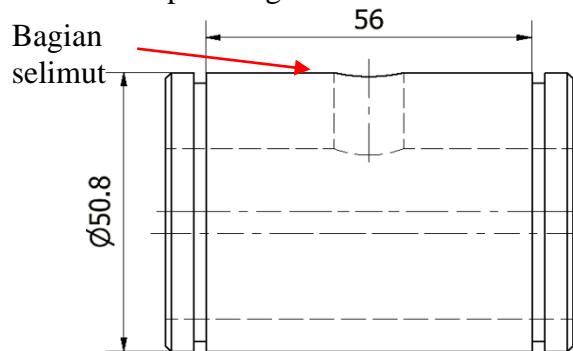


Gambar 4. Dimensi lubang eksentrik poros eksentrik sebelum *trial and error*

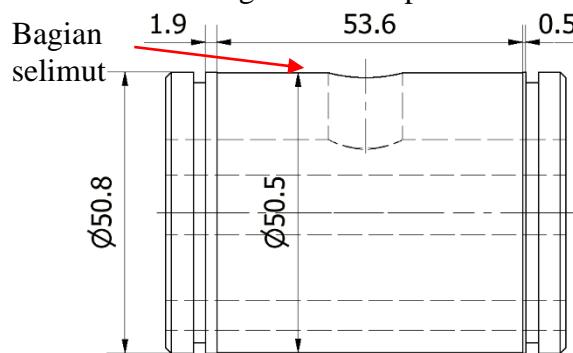


Gambar 5. Dimensi lubang eksentrik poros eksentrik setelah *trial and error*

Kerusakan selanjutnya yang terjadi pada poros eksentrik yaitu pembesaran diameter pada lubang eksentrik secara asimetris atau keausan yang tidak merata pada lubang. Dapat dilihat pada gambar 4. dan 5. yang merupakan dimensi lubang eksentrik poros eksentrik sebelum dan setelah dilakukan *trial and error*. Dimensi lubang eksentrik yang awalnya berukuran 31 mm, kemudian terdapat 4 ukuran yang berbeda yaitu 31,81 mm, 32,40 mm, 33,03 mm, dan 34,40 mm. dari gambar 4.7, dapat dilihat bahwa keausan lubang eksentrik yang paling besar berada pada bagian atas dan bawah lubang.



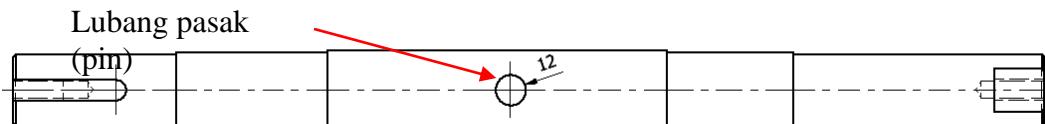
Gambar 6. Dimensi bagian selimut poros eksentrik sebelum *trial and error*



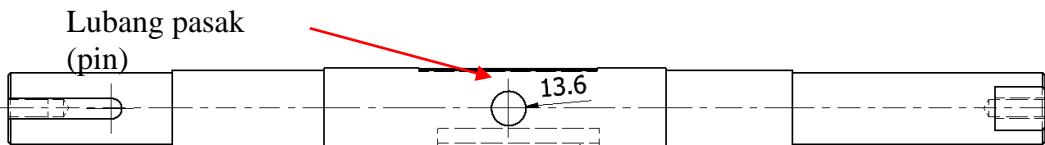
Gambar 7. Dimensi bagian selimut poros eksentrik setelah *trial and error*

Kerusakan terakhir yang terjadi pada poros eksentrik yaitu pengecilan diameter pada bagian selimut dari poros eksentrik. Pada bagian ini, dipasangkan sebuah bearing dengan jenis *UCP pillow block bearing* yang berfungsi untuk menghubungkan antara *main shaft* dan

arm. Gambar 6. dan 7. merupakan dimensi bagian selimut dari poros eksentrik sebelum dan setelah dilakukan *trial and error*. Sebelum dilakukan *trial and error*, bagian selimut dari poros eksentrik memiliki ukuran diameter 50,8 mm sepanjang 56 mm. namun setelah dilakukan *trial and error*, ukuran diameter berubah menjadi 50,5 mm sepanjang 53,6 mm dengan jarak 1,9 mm dari bagian kiri dan 0,5 mm dari bagian kanan.

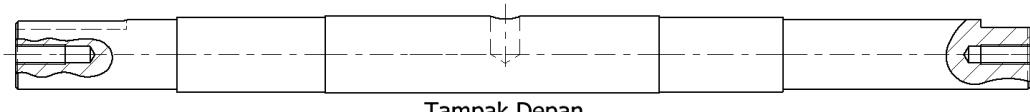


Gambar 8. Dimensi lubang pasak (pin) poros as sebelum *trial and error*

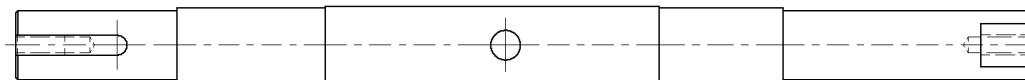


Gambar 9. Dimensi lubang pasak (pin) poros as setelah *trial and error*

Gambar 8. dan 9. merupakan dimensi lubang pasak (pin) poros as sebelum dan setelah dilakukan *trial and error*. Kerusakan pertama yang terjadi pada poros as yakni terjadi pembesaran diameter pada lubang pasak (pin) sebesar 1,6 mm. Sebelum *trial and error*, ukuran diameter lubang pasak (pin) poros as adalah 12 mm. Namun setelah *trial and error*, ukuran diameter lubang pasak (pin) poros as menjadi 13,6 mm.



Tampak Depan

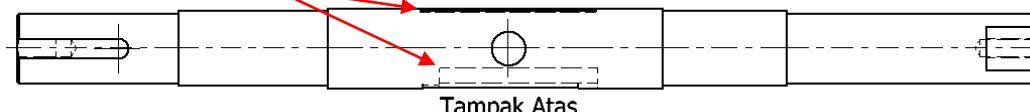


Tampak Atas

Gambar 10. poros as sebelum *trial and error*



Permukaan



Tampak Atas

Gambar 11. Poros as setelah *trial and error*

Kerusakan berikutnya yang terjadi pada poros as yakni berupa keausan pada bagian selimut dari poros as yang bersinggungan dengan lubang eksentrik dari poros eksentrik. Keausan tersebut tidak secara merata, namun hanya pada bagian tertentu dan membentuk sebuah bentuk yang tidak beraturan yang dapat dilihat pada gambar 11.

B. Pengamatan Hasil Makro

Pengamatan visual secara makro dilakukan dengan menggunakan kamera *handphone* pada komponen *main shaft* yang terjadi kerusakan berupa keausan. Gambar 12. menunjukkan

foto makro permukaan selimut poros eksentrik yang mengalami kegagalan. Gambar 13. menunjukkan foto makro lubang eksentrik poros eksentrik yang mengalami kegagalan. Gambar 14. menunjukkan foto makro lubang pasak (pin) pada yang ada pada subkomponen *main shaft* yaitu poros eksentrik dan poros as yang mengalami kegagalan. Gambar 15. menunjukkan foto makro permukaan selimut dari poros as yang bersinggungan langsung dengan lubang eksentrik pada poros eksentrik yang mengalami kegagalan.



Gambar 12. Foto makro permukaan selimut poros eksentrik



Gambar 13. Foto makro lubang eksentrik poros eksentrik

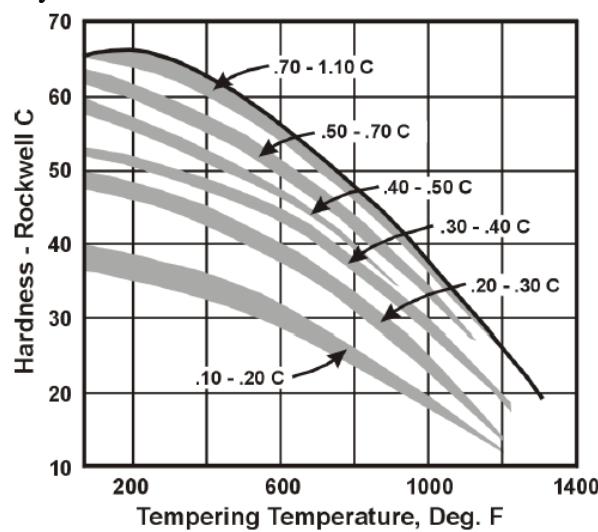


Gambar 14. Foto makro lubang pasak (pin) pada poros eksentrik dan poros as



Gambar 15. Foto makro permukaan selimut poros as

Berdasarkan pengamatan yang sudah dilakukan, kerusakan ini berawal karena antara poros eksentrik dan poros as terjadi pembebahan dengan jenis siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycle*), sehingga terjadi gesekan antar kedua subkomponen tersebut yang menimbulkan kenaikan temperatur yang berakibat kedua subkomponen tersebut mengalami penurunan kekuatan material. Dalam simulasi yang sudah dilakukan oleh Widiyarta (2011), bahwa temperatur permukaan kontak oleh beban gesekan antara dua permukaan baja yang dalam jurnal ini berupa rel dan roda kereta dapat mencapai temperatur yang cukup tinggi bahkan dapat mencapai suhu transformasi dan temperatur yang cukup besar tersebut dapat terdistribusi sampai pada kedalaman 80 μm . Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, besar temperatur diperlukan kontak dapat mencapai kira-kira 470°C. Temperatur dibawah permukaan yang dapat mempengaruhi sifat mekanis material dapat mencapai kedalaman kira-kira 30 μm dengan besar temperatur kira-kira 260°C. Apabila dalam penelitian ini diasumsikan kenaikan temperatur pada permukaan kontak akibat gesekan sama dengan simulasi yang dilakukan oleh Widiyarta (2011), maka dapat dilihat pada gambar 16. kurva hubungan antara nilai kekerasan dengan temperatur, untuk baja karbon rendah yang presentase unsur karbonnya mendekati dengan baja St 37 yaitu sebesar 0,18%, bahwa semakin tinggi temperatur baja, maka semakin rendah nilai kekerasannya yang berarti bahwa semakin turun keuatannya.



Gambar 16. Kurva hubungan antara nilai kekerasan dengan temperatur untuk baja karbon rendah (jurnal.umj.ac.id, 2020)

Hal ini menyebabkan material lama kelamaan akan menjadi rusak karena kelelahan (*fatigue failure*). Akibat terjadi pembebahan dengan siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycle*) antara subkomponen poros eksentrik dan poros as, kedua subkomponen tersebut berusaha bergerak namun terbatas oleh pasak (pin) yang mengakibatkan terjadi gesekan antara poros eksentrik dan poros as terhadap pasak (pin), dan dengan seiring berjalannya waktu menyebabkan keausan pada lubang pasak (pin) yang ada pada kedua subkomponen, serta terjadi juga konsentrasi tegangan pada bagian atas dan bawah lubang eksentrik yang mengakibatkan bagian tersebut menerima tegangan yang lebih besar dari harga rata-rata yang seharusnya terjadi, sehingga terjadi kerusakan paling besar bagian tersebut yang disebabkan karena kelelahan (*fatigue*).

C. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia adalah sebuah pengujian yang digunakan untuk mengetahui kandungan komposisi (unsur) kimia yang terdapat di dalam sebuah logam dari suatu benda yang diuji yang menggunakan alat *Optical Emission Spectrometer (OES)*. Dalam pengujian komposisi kimia ini, menggunakan dua spesimen uji yaitu spesimen poros eksentrik asli yang mewakili poros eksentrik dan spesimen potongan poros as 2 yang mewakili poros as.

Pengujian dilakukan di 1 titik pada masing-masing spesimen. Berikut hasil pengujian komposisi kimia yang dapat dilihat pada tabel 2. untuk spesimen poros eksentrik asli dan tabel 3. untuk spesimen potongan poros as 2.

a. Hasil uji komposisi kimia spesimen poros eksentrik asli

Tabel 2. Hasil uji komposisi kimia spesimen poros eksentrik asli

Unsur	(%)	DIN 17100 : 1980 (%)
Karbon (C)	0,174	Maks 0,20
Silikon (Si)	0,264	Maks 0,55
Mangan (Mn)	0,460	Maks 1,6
Fosfor (P)	0,073	Maks 0,05
Belerang (S)	0,010	Maks 0,05
Krom (Cr)	0,327	-
Molibden (Mo)	<0,0100	-
Nikel (Ni)	<0,0100	-
Tembaga (Cu)	0,058	-
Aluminium (Al)	0,024	-
Kobalt (Co)	0,0099	-
Magnesium (Mg)	<0,0050	-
Niobium (Nb)	0,0090	-
Titanium (Ti)	<0,0030	-
Vanadium (V)	<0,0050	-
Wolfram (W)	<0,100	-
Besi (Fe)	98,56	-

Berdasarkan Tabel 2, komposisi kimia poros eksentrik tidak sesuai dengan standar material DIN 17100 : 1980. Komposisi kimia standar untuk material St 37 DIN 17100 : 1980 memiliki kadar Fosfor (P) tidak lebih dari 0,05%, sedangkan pada poros eksentrik memiliki kadar Fosfor (P) 0,073%. Kadar Fosfor (P) poros eksentrik memiliki selisih lebih banyak dibandingkan DIN 17100 : 1980 yakni 0,023%, sehingga dapat menyebabkan poros eksentrik menjadi lebih getas (*embrittlement*). Kemudian komposisi kimia Nitrogen pada Din 17100 : 1980 tidak lebih dari 0,009%, sedangkan pada poros eksentrik sama sekali tidak memiliki unsur Nitrogen (N). Hal ini menyebabkan kekerasan bahan dan ketahanan lelah poros eksentrik lebih rendah daripada standar karena unsur Nitrogen (N) secara makro dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik dan kimia, sedangkan secara mikro mempengaruhi perubahan struktur mikro dan struktur kristal. Selain itu, didapati beberapa unsur lain yang tidak tercantum pada standar yaitu Krom (Cr) sebesar 0,327%, Molibden (Mo) sebesar <0,0100%, Nikel (Ni) sebesar <0,0100%, Tembaga (Cu) sebesar 0,058%, Aluminium (Al) sebesar 0,024%, Kobalt (Co) sebesar 0,0099%, Magnesium (Mg) sebesar <0,0050%, Niobium (Nb) sebesar 0,0090%, Titanium (Ti) sebesar 0,0030%, Vanadium (V) sebesar <0,0050%, Wolfram (W) sebesar <0,100%, dan Besi (Fe) sebesar 98,56%. Unsur-unsur tersebut dapat meningkatkan nilai kekerasan, kekuatan, ketahanan korosi, serta ketahanan aus material lebih tinggi dibandingkan material DIN 17100 : 1980.

b. Hasil uji komposisi kimia spesimen potongan as 2

Tabel 3. Hasil uji komposisi kimia spesimen potongan poros as 2

Unsur	(%)	DIN 17100 : 1980 (%)
Karbon (C)	0,1372	Maks 0,20
Silikon (Si)	0,2313	Maks 0,55
Belerang (S)	0,0207	Maks 0,05
Fosfor (P)	0,239	Maks 0,05
Mangan (Mn)	0,3620	Maks 1,6
Nikel (Ni)	0,0152	-
Krom (Cr)	0,0254	-
Molibden (Mo)	0,0038	-
Tembaga (Cu)	0,0184	-
Wolfram (W)	0,0000	-
Titanium (Ti)	0,0010	-
Timah (Sn)	0,0014	-
Aluminium (Al)	0,0022	-
Timbal (Pb)	0,0000	-
Kalsium (Ca)	0,0008	-
Seng (Zn)	0,0000	-
Besi (Fe)	99,17	-

Berdasarkan Tabel 3, komposisi kimia poros as tidak sesuai dengan standar dengan standar material DIN 17100 : 1980. Komposisi kimia standar untuk material ST 37 DIN 17100 : 1980 memiliki kadar Fosfor (P) tidak lebih dari 0,05%, sedangkan pada poros as memiliki kadar Fosfor (P) 0,239%. Kadar Fosfor (P) poros as memiliki selisih lebih banyak

dibandingkan DIN 17100 : 1980 yakni 0,189%, sehingga dapat menyebabkan poros as menjadi lebih getas (*embrittlement*). Karena pertambahan Fosfor (P) lebih dari 0,10%, poros as juga memiliki kekuatan, ketahanan korosi dan mampu mesin lebih tinggi dibandingkan material standar DIN 17100 : 1980. Kemudian komposisi kimia Nitrogen (N) pada DIN 17100 : 1980 tidak lebih dari 0,009%, sedangkan pada poros as sama sekali tidak memiliki unsur Nitrogen (N). Hal ini menyebabkan kekerasan bahan dan ketahanan lelah poros as lebih rendah daripada standar karena unsur Nitrogen (N) secara makro dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik, dan kimia, sedangkan secara mikro mempengaruhi perubahan struktur mikro dan struktur kristal.

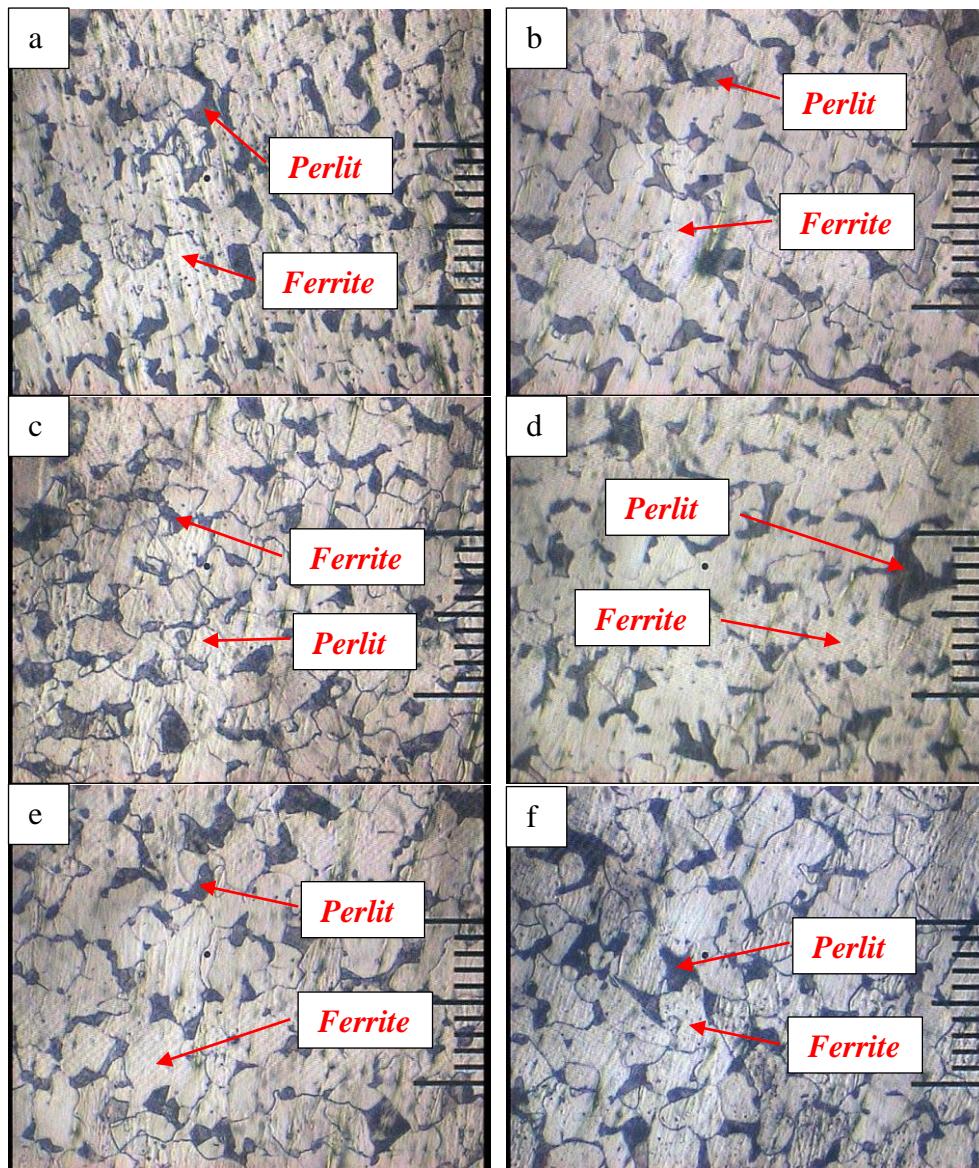
Selain itu, didapati beberapa unsur lain yang tidak tercantum pada standart yaitu Nikel (Ni) sebesar 0,0152%, Krom (Cr) sebesar 0,0254%, Molibden (Mo) sebesar 0,0038%, Tembaga (Cu) sebesar 0,0184%, Titanium (Ti) sebesar 0,0010%, Timah (Sn) sebesar 0,0014%, Aluminium (Al) sebesar 0,0022%, Kalsium (Ca) sebesar 0,0008%, dan Besi (Fe) sebesar 99,17%. Unsur-unsur tersebut dapat meningkatkan nilai kekerasan, kekuatan, ketahanan korosi, serta ketahanan aus material lebih tinggi dibandingkan material DIN 17100 : 1980.

D. Analisa Struktur Mikro

Setelah dilakukannya pengambilan foto struktur mikro pada dua spesimen yaitu spesimen poros eksentrik asli yang mewakili poros eksentrik dan potongan poros as 1 yang mewakili poros as, maka diketahui struktur mikro pada masing-masing titik. Foto uji metalografi dilakukan dengan perbesaran lensa 100x yang artinya setiap garis skala bernilai 10 mikron. Berikut hasil dari foto struktur mikro pada masing-masing spesimen.

a. Hasil struktur mikro spesimen poros eksentrik asli

Pada spesimen poros eksentrik asli, diambil sebanyak 6 titik foto struktur mikro. Berikut merupakan letak posisi titik foto struktur mikro dan hasil pada masing-masing titik.



Gambar 17. Foto struktur mikro poros eksentrik perbesaran 100x: (a) titik 1; (b) titik 2; (c) titik 3; (d) titik 4; (e) titik 5; (f) titik 6

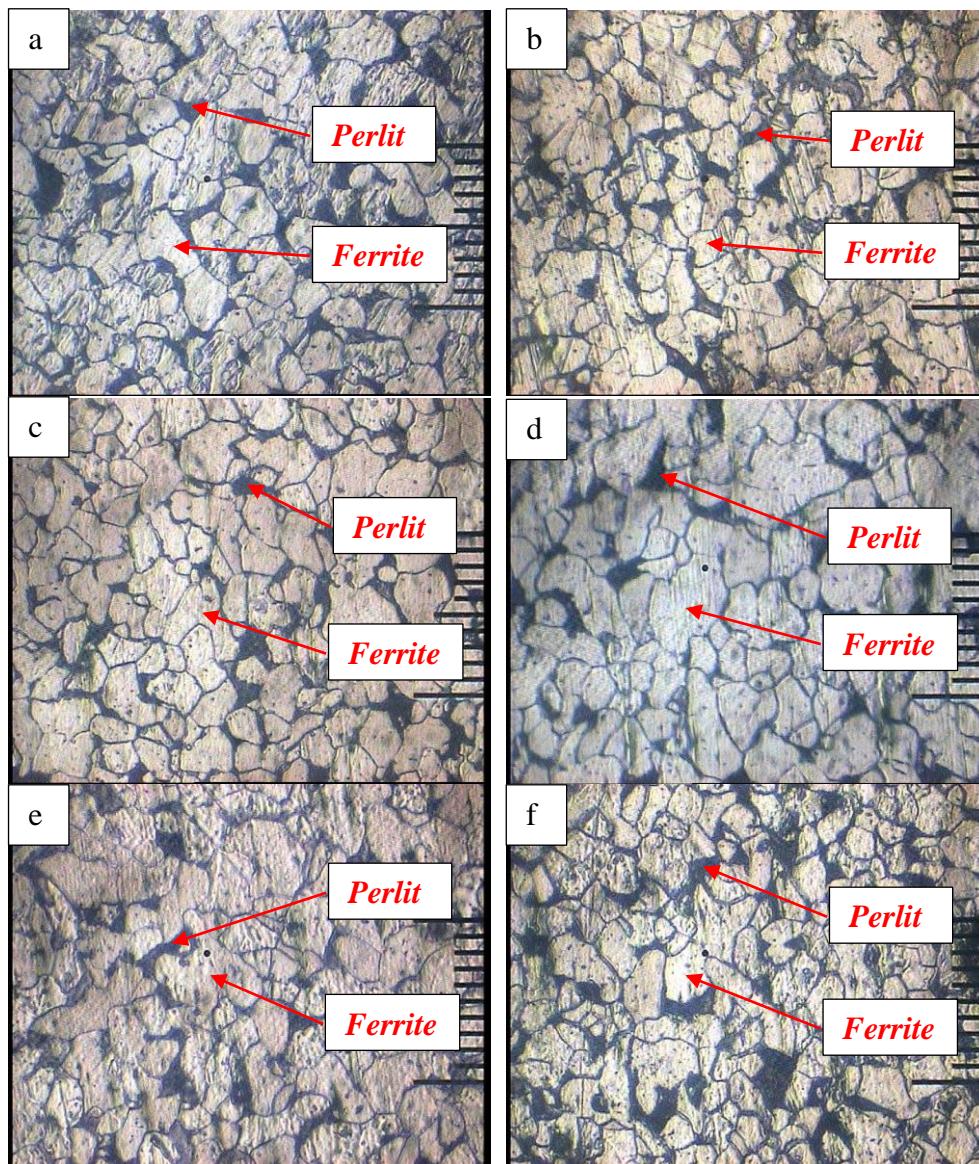
Berdasarkan analisa struktur mikro yang sudah dilakukan di 6 titik berbeda pada poros eksentrik, maka didapat hasil yang bisa dilihat pada gambar 17. Pada semua hasil struktur mikro yang dilakukan pada masing-masing titik menunjukkan bahwa semua daerah tersebut mengandung butir *ferrite* (berwarna putih) yang memiliki sifat lunak dan ulet, dan *perlite* (berwarna hitam) yang memiliki sifat keras dan ulet, namun antara titik satu dengan yang lainnya memiliki persentase kandungan *ferrite* dan *perlite* serta ukuran butir yang berbeda sehingga nilai kekerasan antar titik dengan yang lainnya juga berbeda.

Berdasarkan hasil analisa struktur mikro pada keenam titik, titik 3 memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan titik yang lainnya. Hal ini disebabkan karena ukuran butir lebih kecil atau lebih halus, serta persentase kandungan *perlite* yang ada lebih tinggi dibandingkan yang lainnya. Kemudian nilai kekerasan tertinggi setelah titik 3 diikuti oleh titik 2, titik 6, titik 1, dan titik 5. Berkebalikan dengan titik 3, titik 4 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah diantara titik-titik lainnya. Hal ini disebabkan karena pada titik

4 memiliki bentuk butir yang lumayan besar atau kasar, serta persentase kandungan perlite yang lebih rendah dibandingkan titik yang lainnya.

b. Hasil struktur mikro spesimen potongan poros as 1

Pada spesimen potongan poros as 1, diambil sebanyak 6 titik foto struktur mikro. Berikut merupakan letak posisi titik foto struktur mikro dan hasil pada masing-masing titik.



Gambar 18. Foto struktur mikro poros as perbesaran 100x: (a) titik 1; (b) titik 2; (c) titik 3; (d) titik 4; (e) titik 5; (f) titik 6

Berdasarkan analisa struktur mikro yang sudah dilakukan di 6 titik berbeda pada poros as, maka didapat hasil yang bisa dilihat pada gambar 18. Pada semua hasil struktur mikro yang dilakukan pada masing-masing titik menunjukkan bahwa semua daerah tersebut mengandung butir ferrite (berwarna putih) yang memiliki sifat lunak dan ulet, dan perlite (berwarna hitam) yang memiliki sifat keras dan ulet, namun antara titik satu dengan yang

lainnya memiliki persentase kandungan *ferrite* dan *perlite* serta ukuran butir yang berbeda sehingga nilai kekerasan antar satu titik dengan yang lainnya juga berbeda.

Berdasarkan hasil analisa struktur mikro pada keenam titik, titik 2 memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan titik yang lain. Hal ini disebabkan karena ukuran butir lebih kecil atau lebih halus, serta persentase kandungan *perlite* yang ada lebih tinggi dibandingkan titik yang lainnya. Kemudian nilai kekerasan tertinggi setelah titik 2 diikuti oleh titik 6, titik 1, titik 3, dan titik 5. Berkebalikan dengan titik 2, titik 4 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah diantara titik-titik lainnya. Hal ini disebabkan karena pada titik 4 memiliki bentuk butir yang lumayan besar atau kasar, serta persentase kandungan *perlite* yang lebih rendah dibandingkan titik yang lainnya.

E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan metode Brinell dengan menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan (*hardness steel ball*). Dalam pengujian kekerasan ini, menggunakan dua spesimen uji yaitu satu spesimen poros eksentrik asli untuk mewakili poros eksentrik dan satu spesimen potongan poros as 1 untuk mewakili poros as.

Pengujian dilakukan di 12 titik yang dilakukan secara acak pada masing masing spesimen uji yang terbagi lagi yaitu 6 titik di posisi atas dan 6 titik di posisi bawah pada spesimen. Berikut merupakan hasil pengujian kekerasan dengan metode Brinell yang dapat dilihat pada tabel 4. untuk hasil pengujian kekerasan spesimen poros eksentrik asli dan tabel 5. untuk hasil pengujian kekerasan spesimen potongan poros as 1.

a. Nilai kekerasan spesimen poros eksentrik asli

Tabel 4. hasil uji kekerasan spesimen poros eksentrik asli

Titik uji	d (mm)		Nilai Kekerasan (BHN)		Kekerasan rata-rata
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	(BHN)
1	1,26	1,31	140,13	128,89	134,51
2	1,24	1,29	145,04	133,17	139,11
3	1,24	1,27	145,04	137,75	141,40
4	1,44	1,33	104,62	124,62	114,62
5	1,35	1,29	120,62	133,17	126,90
6	1,27	1,31	137,75	133,75	135,75

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen poros eksentrik asli dengan jumlah keseluruhan ada 12 titik yakni 6 titik di posisi atas dan 6 titik di posisi bawah, didapat hasil yang berbeda pada masing-masing titik. Tabel 4. menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada titik 3 dengan nilai rata-rata 141,40 BHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada titik 4 dengan nilai rata-rata 114,62 BHN.

Jika dilihat pada tabel 4, nilai kekerasan masing-masing titik kurang lebih hampir sama, kecuali pada titik 4 dan 5 yang menunjukkan nilai kekerasan dengan selisih lumayan jauh dibawah dibandingkan dengan titik yang lainnya. Hal ini bisa terjadi karena pada bagian tersebut menerima siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycle*) dan pada bagian itu pula terdapat gesekan yang cukup besar yang terjadi secara berulang ulang ketika proses *trial*

and error berlangsung yang akhirnya menimbulkan panas yang tinggi. Menurut Asfarizal (2008), energi panas akan cenderung untuk berpindah dari daerah dengan temperatur tinggi ke daerah dengan temperatur yang lebih rendah. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan logam karena energi panas dapat mempengaruhi ikatan logam dan paduan yang sejenis, bahkan energi panas yang tinggi mampu mencairkan logam. Karena keadaan itulah, terjadi perenggangan antar ikatan unsur yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan logam. Dapat dilihat juga pada gambar sebelum dan setelah dilakukan *trial and error*, bahwa bagian tersebut juga yang mengalami keausan paling besar dibanding titik-titik yang lain.

b. Nilai kekerasan spesimen potongan poros as 1

Tabel 5. Hasil uji kekerasan spesimen potongan poros as 1

Titik uji	d (mm)		Nilai Kekerasan (BHN)		Kekerasan rata-rata (BHN)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	
1	1,14	1,18	173,52	161,24	167,38
2	1,16	1,14	167,22	173,52	170,37
3	1,18	1,16	161,24	167,22	164,23
4	1,22	1,20	150,14	155,55	152,85
5	1,19	1,18	158,36	161,24	159,80
6	1,15	1,15	170,33	170,33	170,33

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen potongan poros as 1, dengan jumlah keseluruhan ada 12 titik yakni 6 titik di posisi atas dan 6 titik di posisi bawah, didapat hasil yang berbeda pada masing-masing titik. Tabel 5 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada titik 2 dengan nilai rata-rata 170,37 BHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada titik 4 dengan nilai rata-rata 152,85 BHN.

Jika dilihat pada tabel 5, nilai kekerasan masing-masing titik kurang lebih hampir sama, kecuali pada titik 4 dan 5 yang menunjukkan nilai kekerasan lumayan jauh dibawah dibandingkan titik yang lainnya. Hal ini bisa terjadi karena pada bagian tersebut menerima tegangan secara terus menerus (*cycle stress*) dan pada bagian itu pula terdapat gesekan yang cukup besar yang terjadi secara berulang ulang ketika proses *trial and error* berlangsung, yang akhirnya menimbulkan panas yang tinggi. Menurut Asfarizal (2008), energi panas akan cenderung untuk berpindah dari daerah dengan temperatur tinggi ke daerah dengan temperatur yang lebih rendah. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan logam karena energi panas dapat mempengaruhi ikatan logam dan paduan yang sejenis, bahkan energi panas yang tinggi mampu mencairkan logam. Karena keadaan itulah, terjadi perenggangan antar ikatan unsur yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan logam. Dapat dilihat juga nilai kekerasan pada daerah yang bersinggungan langsung dengan titik 4 dan 5 selama proses *trial and error* berlangsung, yakni titik 4 dan 5 spesimen poros eksentrik asli yang mewakili poros eksentrik. Pada kedua titik itu pula, terdapat nilai kekerasan dibawah rata-rata dibandingkan dengan titik yang lainnya.

F. Pengujian Keausan

Pengujian keausan yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode Ogoshi. Pada pengujian keausan ini, menggunakan dua spesimen yaitu spesimen potongan poros eksentrik yang mewakili poros eksentrik dan spesimen potongan poros as 2 yang mewakili poros as.

Pengujian dilakukan di 1 titik pada masing-masing spesimen. Berikut hasil pengujian keausan metode Ogoshi yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji keausan metode Ogoshi

Kode Spesimen	Bo (mm)	Waktu (menit)	B (mm)	r (mm)	Po (mm)	Lo (m)	Ws (mm ² /kg)
1	1,358	4,12	3	13,3	2,12	66,6	$5,00114 \times 10^{-7}$
2	1,134	4,12	3	13,3	2,12	66,6	$2,91212 \times 10^{-7}$

Keterangan:

Kode spesimen: kode spesimen 1 untuk spesimen potongan poros eksentrik dan 2 untuk potongan poros as 2

Berdasarkan tabel 6, dapat diketahui bahwa poros eksentrik memiliki harga keausan spesifik sebesar $5,00114 \times 10^{-7}$ mm²/kg, sedangkan poros as memiliki harga keausan spesifik sebesar $2,91212 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Dari kedua nilai tersebut, semakin besar nilai dari harga keausan spesifik maka material tersebut mudah aus. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa poros as memiliki ketahanan aus yang lebih bagus dibandingkan poros eksentrik. Hal ini juga dapat dilihat berdasarkan hasil pengujian kekerasan kedua benda tersebut. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, nilai rata-rata poros as lebih tinggi dibandingkan nilai rata-rata poros eksentrik, yang artinya semakin tinggi nilai kekerasan material maka semakin bagus kekuatannya, sehingga material tidak mudah terjadi deformasi plastis seperti keausan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan tentang kegagalan material St 37 pada *main shaft vibrator conveyor* mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton di PT. Pura Barutama Divisi *Engineering* setelah dilakukan *trial and error* selama 2000 jam antara lain sebagai berikut:

Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *main shaft* pada *vibrator conveyor* mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton yaitu kesalahan dalam pemilihan material dan adanya panas akibat gesekan. Material *main shaft* tidak sesuai dengan standarnya yaitu DIN 17100 : 1980 dengan tidak adanya unsur nitrogen (N) dan berlebihnya kadar fosfor (P) serta bertambahnya unsur lainnya, walaupun nilai kekuatan material jauh lebih tinggi dari material standar DIN 17100 : 1980, namun hal tersebut belum bisa membuat material tahan terhadap kelelahan (*fatigue*) dan material *main shaft* terkena panas akibat gesekan yang muncul akibat adanya pembebangan dengan jenis siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycle*) dan gesekan secara terus menerus selama proses berlangsung, yang seharusnya tidak terkena panas akibat gesekan karena dapat mempengaruhi nilai kekuatan material dari *main shaft*.

Mekanisme kegagalan komponen *main shaft* pada *vibrator conveyor* mesin *vertical dryer* kapasitas 6 ton diawali dengan material *main shaft* telah terkena panas akibat gesekan yang muncul akibat adanya pembebangan dengan jenis siklus tegangan bolak balik (*reversed stress cycle*) dan gesekan secara terus menerus selama proses berlangsung, yang mengakibatkan turunnya nilai tegangan luluh dan turunnya nilai kekuatan material, sehingga material terjadi deformasi plastis berupa keausan akibat kelelahan (*fatigue*) pada bagian yang terkena tegangan secara terus menerus (*cycle stress*) yang awalnya hanya berupa retak kecil, kemudian

merambat ketika setiap kali ujung retak tersebut menerima tegangan, dan terjadi juga konsentrasi tegangan pada bagian tertentu yang menyebabkan keausan lebih besar dibandingkan bagian yang lainnya.

V. REFERENSI

- ASM Handbook, 1996. *Fatigue and Fracture*. United State of America: ASM International.
- Groover, Mikell F. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems, Fourth Edition*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Kurniawan, R. T., Wibisono, A. T., Noerochim, L. 2017. *Analisis Kegagalan komponen Spring Rod Dalam Spring Suspension Assembly Pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk*. Jurnal Teknik ITS, 6(2), 12-28.
- Suarsana. 2017. *Ilmu Material Teknik*. Diktat Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana Denpasar.
- Wardoyo, J. T. 2005. *Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda*, TEKNOIN, 10(3), 237-248.
- Nugroho, E. dkk. 2019. *Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju korosi*. TURBO. 8(1). 99-110.
- Asfarizal. 2008. *Pengaruh Temperatur yang Ditinggikan terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah*. TeknikA, 2(29), 53-59.
- Widagdo, J., Yulianto, A. 2016. *Studi Sifat Fisis dan Mekanis Solidifikasi Besi Cor Kelabu pada Cetakan Permanen untuk Tapping Awal*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta. 1-12.
- Laboratorium Uji Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. 2020. *Laporan Hasil Pengujian Vertical Dryer Padi Kapasitas 6 Ton*. Yogyakarta: Laboratorium Uji Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Yuwono, Akhmad Herman. 2009. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Universitas Indonesia.
- Widiyarta, I Made. 2011. *Simulasi Perubahan Prilaku Regangan Geser Material Rel Pada Perubahan Suhu Permukaan Kontak Akibat Beban Gelinding/Gesek*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Udayana. 5(1), 1-6.