

ANALISIS KEGAGALAN *BOTTOM CONE-HYDROCYCLONE* PADA ALAT DAN MESIN PEMISAH ANTARA INTI DAN CANGKANG SAWIT

Bagus G. Yudanto dan Darnoko

ABSTRAK

Proses fabrikasi elemen mesin melalui teknik pengecoran rentan mengalami cacat yang dapat meningkatkan kegagalan produk sebelum umur pakai tercapai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab kegagalan yang sering terjadi pada salah satu komponen alat pemisah antara cangkang dan inti sawit, yaitu bottom cone-hydrocyclone. Pengamatan dilakukan menggunakan metode analisis kegagalan (failure analysis) dengan pendekatan secara makro dan mikro. Analisis kegagalan merupakan suatu metode investigasi secara sistematis yang dilakukan untuk mengungkap kegagalan yang terjadi pada sebuah obyek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menurunnya umur pakai bottom cone-hydrocyclone disebabkan karena struktur mikronya yang berbentuk serpihan tajam (flake), cacat volume berupa inklusi, dan permukaan kasar akibat pengerjaan mesin menjadi pemicu utama terdegradasinya permukaan bottom cone secara sporadik. Degradasi permukaan secara sporadik di bawah pengaruh kecepatan aliran fluida, partikel dan gelembung udara yang menghantam permukaan dinding bottom cone hingga menyebabkan pitting dan cenderung membentuk alur menuju satu arah ini, diidentifikasi sebagai serangan korosi erosi.

Kata Kunci: Analisa Kegagalan, Korosi Erosi, Hydrocyclone.

ABSTRACT

Manufacturing process of machine element through moulding technique is susceptible to defect which in turn will increase the failure of the product before lifetime ends. The present study aims to detect the causes of the failure which often happens in bottom cone-hydrocyclone, one of the separator components, used to remove the oil palm kernel from the shell. The study employed failure analysis method with macro and micro analysis. Failure analysis is a systematic investigation method to unfold the failure that happens in an object. The results show that the shortened lifetime of the bottom cone-hydrocyclone was caused by its flake microstructure, volume defect like inclusion, and the coarse surface (as the outcome of scraping of machine) which contributed to the major random degradation on the surfaces bottom cone. The degradation was influenced by the rate of fluid flow, particles and air bubbles which hit hardly the wall surface of the bottom cone up. This caused pitting and bending directed to one way which was then identified as erosion corrosion.

Keywords: Failure analysis, Erosion Corrosion, Hydrocyclone.

1. PENDAHULUAN

Bottom cone pada *hydrocyclone* yang berfungsi untuk menimbulkan gaya sentrifugal pada fluida air agar menghasilkan pusaran untuk proses pemisahan secara fisik antara cangkang dan inti sawit, sering mengalami kerusakan. Kerusakan yang banyak ditemui pada *bottom cone* ialah cacat penggerusan permukaan dan lubang sumuran dalam hingga tembus ke bagian luar. Kerusakan pada permukaan dinding mulai terlihat setelah *bottom cone* dioperasikan pada sekitar 500-1500 jam. Kegagalan pada material *bottom cone* tersebut dapat menyebabkan stagnasi produksi dan penurunan rendemen inti yang berarti penurunan kapasitas produksi inti.

Kombinasi gaya statik dan dinamik yang bekerja pada dinding *bottom cone* berupa tekanan fluida air yang diikuti oleh hantaman partikel (cangkang dan inti sawit) akan menghasilkan suatu tegangan kerja yang agresif, di mana kondisi ini dapat menyebabkan kelelahan pada logam. Biasanya kelelahan di bawah pengaruh kecepatan aliran fluida air tersebut dapat mengakibatkan terdegradasinya permukaan material dan kondisi ini diidentifikasi sebagai bentuk dari serangan korosi erosi (14). Secara spesifik kerusakan logam seperti ini disebabkan oleh proses kavitasi dan benturan partikel yang ditandai oleh *pitting* dan penggerusan yang sifatnya lokal atau setempat saja.

Dalam tulisan berikut akan diuraikan penyebab kerusakan atau kegagalan yang terjadi pada *bottom cone hydrocyclone* yang bekerja pada kondisi lingkungan ekstrim. Indikasi kegagalan tersebut

mulai terlihat ketika *bottom cone* dioperasikan pada 500 jam, yang ditandai oleh terdegradasinya material *bottom cone* di beberapa bagian permukaan. Kerusakan tersebut secara signifikan dapat menurunkan unjuk kerja *hydrocyclone* pada saat proses pemisahan antara inti dan cangkang, di mana hal ini ditandai oleh makin meningkatnya angka kehilangan inti.

Untuk mengetahui penyebab kegagalan terhadap *bottom cone hydrocyclone*, telah dilakukan analisis secara makro dan mikro, meliputi uji komposisi kimia, analisis tegangan kerja teoritis, pengujian bahan, struktur mikro, dan pengamatan pola penyayatan serta kekasaran permukaan melalui SEM.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan

Dalam penelitian ini *bottom cone* yang dijadikan sebagai obyek penelitian diperoleh dari PMT Dolok Ilir dan PKS Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV. Bahan tersebut kemudian dipotong-potong beberapa bagian untuk keperluan pengamatan yang meliputi; i) pengujian mekanik, ii) karakterisasi unsur paduan, iii) pengamatan mikrostruktur, dan iv) pengamatan struktur permukaan melalui SEM. Untuk menghindari perubahan struktur mikro pada saat pemotongan spesimen, maka pemotongan dilakukan dengan gergaji besi dan pahat potong.

2.1. Perhitungan tekanan kerja teoritis

Gaya fisik berupa tekanan laju aliran fluida air yang bekerja pada permukaan

bottom cone yang dibangkitkan oleh gaya mekanik dari impeler pompa sentrifugal dapat ditentukan besarnya dengan mempertimbangkan faktor daya motor yang bekerja pada pompa dan jumlah debit air yang dihasilkan (4).

$$P_v = \rho \cdot g \cdot H \cdot v \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

P_v = Daya Pompa (Watt)

v = Kapasitas fluida yang dipompa (m^3/dt)

$$P = \rho \cdot g \cdot H \dots\dots\dots (2)$$

dimana

P = Tinggi Tekanan (N/m^2)

ρ = Kerapatan fluida air (1000 kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/dt}^2$)

H = Tinggi kenaikan (m)

2.2. Pengujian mekanik

Kekerasan material identik dengan kemampuan suatu logam dalam menahan penggerusan akibat pengaruh penetrasi gaya atau tegangan kerja pada permukaan suatu bidang logam. Selain alasan tersebut, dipilihnya pengujian kekerasan *vickers (vickers hardness testing)* pada pengujian mekanik ini mengingat tingkat kesulitan yang cukup tinggi untuk membuat *spesimen* uji tarik sesuai standar pengujian dengan kondisi *bottom cone* yang memiliki dimensi kerucut ter-pancung. Nilai hasil dari pengukuran kekerasan yang diperoleh tersebut, kemudian dikonversi ke dalam

kekuatan tarik bahan menggunakan metode interpolasi linier berdasarkan ketentuan empirik. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan indentor intan yang berbentuk piramid 136° dan massa pembebanan 100 kg, di mana pengujian dilakukan 5 kali ulangan. Angka kekerasan Vickers diperoleh dari gaya pembebanan (F) dibagi dengan luas indentasi piramid (d) yaitu;

$$H_v = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots (3)$$

$$\bar{H}_v = \frac{H_{v_1} + H_{v_2} + H_{v_3} + H_{v_4} + H_{v_5}}{5} \dots\dots (4)$$

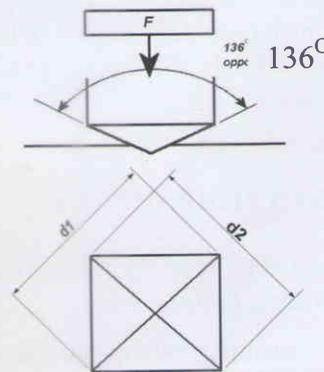
dimana :

H_v = Angka kekerasan Vickers

\bar{H}_v = Angka kekerasan Vickers rata-rata

F = Pembebanan (kg)

d = diagonal rata-rata = $\frac{d_1 + d_2}{2}$ (mm)



Gambar 1. Skema pengukuran kekerasan vickers

2.3. Karakterisasi unsur paduan

Karakterisasi dilakukan menggunakan *Emission Spectrofotometer* dengan pengambilan data dilakukan 3 kali ulangan. Beberapa unsur paduan penting yang berpengaruh terhadap pembentuk matriks dan grafit mikrostruktur besi cor kelabu yang diukur antara lain; C, Mn, P, S, Si, Al, Cr, Cu, Ni, dan Mo.

2.4. Pengamatan mikrostruktur

Spesimen dibungkus dengan resin epoksi, kemudian diampelas dengan kertas gosok dari ukuran 320, 400, 1000 hingga 1200. Setelah itu, dipoles dengan menggunakan larutan *chrome oxide* 7 micron kemudian dibersihkan dengan metanol dan dietsa dengan larutan *nital* 2%.

2.5. Pengamatan bentuk kekasaran permukaan

Pengamatan bentuk kekasaran permukaan spesimen dilakukan secara visual dengan bantuan alat SEM, sehingga diperoleh dengan jelas deskripsi bentuk permukaan dinding bagian dalam *bottom cone* setelah dilakukan proses pengerjaan mesin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tekanan kerja teoritis fluida air pada dinding *bottom cone*

Dengan mempertimbangkan daya pompa yang dipakai untuk menggerakkan pompa sentrifugal (P_v) dan debit aliran fluida yang dipompakan (v) maka gaya yang bekerja pada dinding *bottom*

cone secara teoritis dapat diketahui menggunakan persamaan 1 dan 2, sebagai berikut:

$$P_v = \rho \cdot g \cdot H \cdot v \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- P_v = Daya Pompa (Watt)
- v = Kapasitas fluida yang dipompa (m^3/dt)

Jika daya pompa sentrifugal (P_v) yang dipakai untuk memompakan air sebesar 22 kW dan kapasitas pompa (v) 30 ton/jam atau $0,0083 m^3/dt$. Dengan demikian diketahui tinggi *head* pompa (H) adalah:

$$H = \frac{P_v}{\rho \cdot g \cdot v}$$

$$= \frac{2000 \text{ kgm} / dt \cdot m / dt}{1000 \text{ kg} / m^3 \times 9,81 \text{ m} / dt^2 \times 0,0083 \text{ m}^3 / dt}$$

$$= 270,193 \text{ m}$$

Dengan memasukkan tinggi *head* pompa pada persamaan 2 maka tekanan fluida air teoritis yang bekerja pada dinding *bottom cone* dapat dicari sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- P = Tinggi Tekanan (N/m^2)
- ρ = Kerapatan fluida air ($1000 \text{ kg}/m^3$)
- g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m}/dt^2$)
- H = Tinggi *head* (m)

Dengan demikian diperoleh besarnya harga P adalah:

$$P = \rho \cdot g \cdot H$$

$$= 1000 \text{ kg}/m^3 \times 9,81 \text{ m}/dt^2 \times 270,193 \text{ m}$$

$$= 2.650.602,159 \frac{\text{kgm}}{\text{dt}^2} \times \frac{1}{m^2} = N / m^2$$

$$= 27,03 \text{ kg}/cm^2$$

Dari hasil perhitungan di atas diketahui bahwa tekanan teoritis yang bekerja pada permukaan bidang *bottom cone* sebesar $27,03 \text{ kg/cm}^2$ atau $2,65 \text{ MPa}$.

3.2. Pengujian mekanik

Tabel 1, menunjukkan data hasil pengamatan terhadap kekerasan material *bottom cone* pada pembebanan 100 kg. Dengan menggunakan persamaan 3 dan

4 maka akan diperoleh kekerasan Vickers (H_V) rata-rata *bottom cone* sebesar 243,83629.

Untuk mendapatkan kekuatan tarik ekuivalen dari *spesimen* melalui konversi angka kekerasan vickers dapat dilakukan melalui interpolasi beberapa nilai antara kekuatan tarik dan angka kekerasan Vickers seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Kekerasan *bottom cone*

Pengukuran Ke	Diagonal 1 (d_1)	Diagonal 2 (d_2)	Diagonal rata-rata $d=(d_1+d_2)/2$	d^2	Kekerasan (H_V)
1	30	20	25	625	296,64
2	27	26	26,5	702,25	264,008544
3	29	29	29	841	220,451843
4	28	27	27,5	756,25	245,157025
5	31	31	31	961	192,924037
Kekerasan Rata-rata					243,83629

Tabel 2. Konversi angka kekerasan ke kekuatan tarik

Kekuatan Tarik (N/mm^2)	Kekerasan Vickers (H_V)
640	200
675	210
705	220
740	230
770	240
800	250
820	255

Sumber: <http://www.engineershandbook.com>

$$\sigma_t = 770 + \frac{243,83629 - 240}{800 - 770} \times (800 - 770)$$

$$\sigma_t = 770 + 3,83629$$

$$\sigma_t = 773,83629 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa) atau } 7890,934111 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan demikian diketahui bahwa kekuatan tarik bahan (σ_t) *bottom cone* sebesar 7890,934111 kg/cm²

3.3. Karakterisasi unsur paduan

Hasil karakterisasi yang diperoleh dari material *bottom cone* menggunakan *emission spectrofotometer* seperti ditunjukkan pada Tabel 3, di mana komposisi yang paling menonjol adalah C 3,76%; Si 1,66%; dan Mn 0,47%. Dengan komposisi paduan logam seperti itu, maka *bottom cone* yang dibuat merupakan besi cor paduan C-Mn-Si.

Tabel 3. Komposisi unsur paduan logam *bottom cone*

Nama Unsur Paduan	Lambang Kimia	Jumlah (%)
Karbon	C	3.760
Mangan	Mn	0.470
Phosphor	P	0.033
Sulfur	S	0.033
Silisium	Si	1.660
Aluminium	Al	0.003
Kromium	Cr	0.100
Tembaga	Cu	0.130
Nikel	Ni	0.048
Molibdenum	Mo	0.009

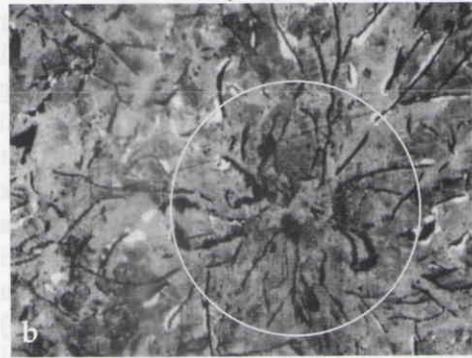
3.4. Pengamatan mikrostruktur

Dari hasil pengamatan *metallography* diperoleh struktur mikro logam seperti ditunjukkan pada Gambar 2a, di mana grafit yang terbentuk adalah serpihan tajam (*flake*) yang terorientasi menyerupai bunga (di dalam lingkaran besar). Grafit seperti ini dikenal dengan grafit *rosette*. Pada Gambar 2b, tampak jelas bahwa matrik besi cor *bottom cone* tersusun atas perlit. Sementara itu, pada Gambar 2a setelah dietsa menggunakan larutan *nitral* 2% tampak adanya inklusi dan korosi (di dalam lingkaran kecil) pada beberapa tempat.

Secara mikro, ada tiga faktor penting yang berpengaruh terhadap proses kegagalan pada sebuah benda coran, yaitu; bentuk grafit, cacat volume, dan kekasaran permukaan akibat proses permesinan (6). Bentuk grafit besi cor sangat dipengaruhi oleh jumlah persentase unsur paduan logam yang terdapat pada material. Besi cor pada dasarnya merupakan paduan antara besi dan karbon yang memiliki kadar karbon sekitar 2,5 - 4,0% C. Dengan komposisi dasar dan prosedur pengecoran yang standar akan diperoleh struktur mikro logam berbentuk serpihan-serpihan tajam berwarna abu-abu (Gambar 3a). Penambahan sedikit *inoculating agents* seperti magnesium (Mg) atau *Cerium* (Ce) ke dalam besi cair sesaat sebelum penuangan akan diperoleh bentuk grafit yang bulat (Gambar 3b).

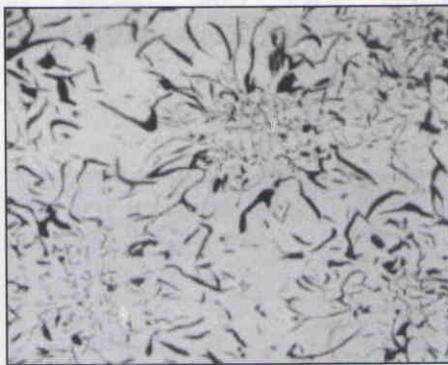


(a) dietsa dengan *nital* 2%

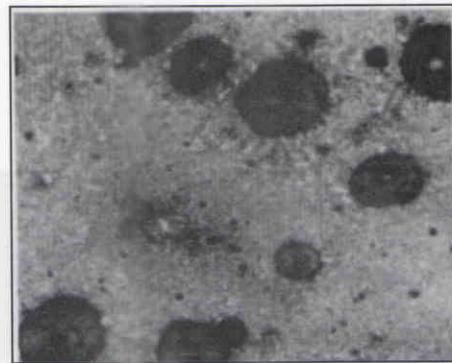


(b) tanpa dietsa hanya dengan larutan *chrom oxide*

Gambar 2. Struktur mikro besi cor *bottom cone*



(a) Besi tuang kelabu bergrafit serpihan tajam (*flake*)



(b) Besi tuang kelabu nodular bergrafit bulat (*spheroidal*)

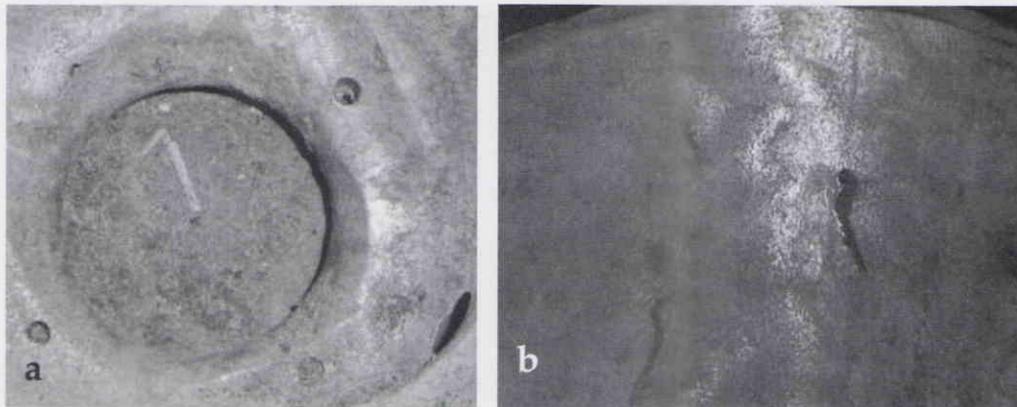
Gambar 3. Bentuk grafit besi tuang kelabu

Secara mekanik, bentuk grafit pada besi tuang kelabu jenis nodular mempunyai kekuatan yang lebih unggul bila dibandingkan dengan besi tuang kelabu bergrafit tajam (*flake*) (9). Ini disebabkan karena besi cor bergrafit bulat mempunyai kemampuan untuk mendistribusikan tegangan ke segala dimensi benda, sehingga kecil sekali kemungkinan terjadinya pemusatan tegangan. Cacat volume (*volume defect*) merupakan cacat yang sering ditemui pada benda coran dan keberadaannya pada skala makroskopik mempunyai peranan penting dalam proses mekanisme korosi (13). Cacat volume yang sering terjadi pada benda coran antara lain; renik (*voids*), retak (*cracks*), dan inklusi.

3.5. Pengamatan bentuk permukaan

3.5.1. Pengamatan kegagalan pada permukaan *bottom cone*

Gambar berikut ini, merupakan kerusakan yang terjadi pada *bottom cone hydrocyclone* setelah dioperasikan selama 1000 jam di PKS Adolina. Kerusakan yang banyak ditemui pada permukaan *bottom cone* ialah penggerusan dan lubang sumuran dalam hingga tembus ke bagian luar (Gambar 4). Kerusakan atau kegagalan pada material logam yang sifatnya lokal ini, terutama pada besi cor kelabu disebabkan oleh konsentrasi tegangan sebagai akibat bentuk mikrostruktur grafit yang tajam (5). Ini berarti bahwa kekuatan logam selain ditentukan oleh batasan gaya yang bekerja juga dipengaruhi oleh kondisi struktur mikro logam.



(a) alur erosi dan lubang di permukaan, (b) pembentukan awal *pitting* permukaan

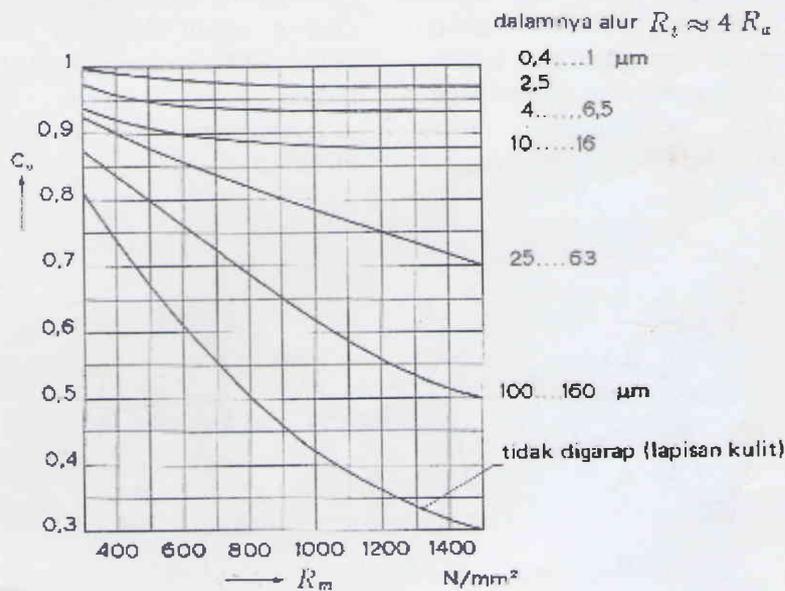
Gambar 4. Degradasi logam pada permukaan bidang *bottom cone*

Secara umum, kekuatan logam sangat dipengaruhi oleh bentuk struktur mikronya. Sementara itu, bentuk atau ukuran butiran logam selain ditentukan oleh komposisi kimia bahan juga dipengaruhi oleh proses pabrikan yang dilakukan selama proses manufaktur berlangsung.

3.5.2. Pengamatan pada permukaan *bottom cone*

Hasil observasi diketahui bahwa proses penyerpihan menggunakan mesin bubut pada permukaan *bottom cone* menghasilkan serpihan kasar dengan pola aluran melingkar. Tingkat kekasaran pada permukaan material logam mempunyai peranan penting dalam

mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi pada bagian permukaan material. Fakta menunjukkan bahwa kegagalan material selalu diawali pada bagian luarnya yang mengalami pemusatan tegangan dan merambat ke bagian yang mengalami cacat. Gambar 5, menunjukkan pengaruh faktor kekasaran (C_o) terhadap kekuatan-lelah pada komponen elemen mesin. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah kekasaran permukaan benda kerja (semakin halus) maka kekuatan leleh material akan semakin besar (8). Sementara itu, pada Tabel 4 ditunjukkan pengaruh proses pengerjaan akhir (*finishing*) terhadap kemampuan suatu produk dalam menahan kelelahan.



Gambar 5. Hubungan Faktor Permukaan Dengan Kekuatan-Lelah (R_m)

Analisis Kegagalan *Bottom Cone-Hydrocyclone* pada Alat dan Mesin Pemisah antara Inti dan Cangkang Sawit

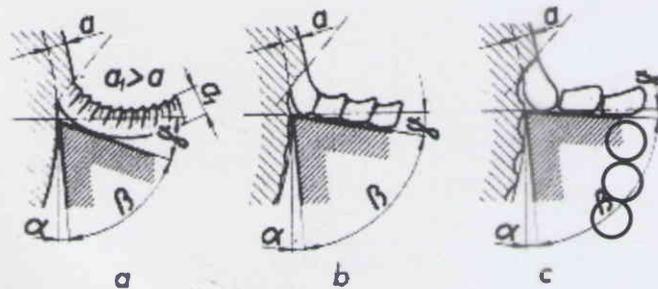
Tabel 4. Hubungan antara angka kekasaran dengan siklus ketahanan lelah

Jenis Pengolahan Akhir	Kekasaran Permukaan (μ in)	Siklus Median Ketahanan Lelah
Dibubut	105	24.000
Dipoles dan sebagian pemolesan dengan tangan	6	91.000
Pemolesan seluruhnya dengan tangan	5	137.000
Digerinda	7	217.000
Digerinda dan dipoles	2	234.000
Pengolahan super (superfinished)	7	212.000

Sumber: Dieter, 1986:31

Kekasaran permukaan yang tinggi biasanya disebabkan oleh proses pengerjaan dengan mesin bubut (7). Seperti diketahui bahwa *bottom cone* di akhir proses fabrikasi mengalami proses *finishing* dengan cara membuang bagian-bagian tertentu yang tidak dikehendaki melalui proses pengupasan bagian-bagian kasar dengan cara pembubutan. Gambar 6c, menunjukkan proses pengurangan bentuk pada produk

tuangan (besi cor dan kuningan cor), di mana proses penyerpihan tersebut menghasilkan bentuk serpihan yang tidak kontinu atau terputus-putus (lingkaran), sehingga hasil bubutannya kasar. Permukaan yang kasar pada bagian elemen mesin dianggap sebagai takik konstruktif, di mana jika ada beban dapat menimbulkan tegangan yang dapat menyebabkan kekuatan-lelahnya menurun (8).



Gambar 6. Hasil serpihan pada permukaan geometri benda kerja



Gambar 7. Permukaan material *Bottom cone* dengan perbesaran 300 kali

Gambar 7 menunjukkan permukaan *bottom cone* yang mengalami proses penghilangan bentuk melalui mesin bubut. Bentuk bekas sayatan pahat menghasilkan suatu guratan atau takikan sepanjang permukaan *bottom cone*.

Ditinjau dari nilai kekerasan yang telah dikonversi ke dalam kekuatan tarik, yaitu sebesar $7890,934111 \text{ kg/cm}^2$ sebenarnya cukup aman bagi *bottom cone* untuk dioperasikan pada tekanan fluida air sebesar $27,03 \text{ kg/cm}^2$ karena masih di bawah kekuatan yang diizinkan. Namun karena ia bekerja di bawah pengaruh tekanan fluida air yang menghasilkan kavitasi, hantaman air (*water hammer*) dan tumbukan partikel padat (cangkang dan inti sawit) maka bisa jadi kondisinya lebih ekstrim dari tekanan teoritis yang dihitung. Kavitasi yang terbentuk akibat fluktuasi kecepatan aliran fluida air di daerah bertekanan tinggi dan rendah secara berulang-ulang pada *bottom cone*, akan menciptakan gelembung-gelembung uap yang mempunyai gaya mekanis sangat kuat.

Gaya mekanis yang dihasilkan dari energi kinetik dan tekanan air dalam jumlah besar ini akan terkonsentrasi menjadi gelembung-gelembung uap pada ukuran yang lebih kecil. Analisis *Rayleigh* tentang pecahnya gelembung-gelembung uap yang *incompressible* ini menunjukkan bahwa tekanan dan kecepatan pada pusat gelembung menjadi nol. Tentunya hal ini akan menyebabkan energi spesifik (energi kinetik dan energi tekan) terkonsentrasi pada titik pusat gelembung uap tersebut. Lebih lanjut tentang analisis *Rayleigh* ini mengungkapkan bahwa potensi pecahnya gelembung-gelembung uap tersebut dapat menimbulkan tekanan sekitar 1000 atm, kondisi ini tentunya dapat menimbulkan kerusakan pada bagian logam (10). Kerusakan logam yang ditandai adanya *pitting* dan penggerusan membentuk alur-alur seperti ini disebabkan oleh gabungan korosi erosi, yaitu korosi kavitasi (*cavitation corrosion*), dan serangan benturan partikel (*impingement attack*) (15).

Selain disebabkan oleh agresifitas lingkungannya, laju degradasi logam pada *bottom cone* makin dipercepat dengan rendahnya kualitas produk. Hal ini ditandai oleh bentuk grafit yang mempunyai serpihan tajam (*flake*), cacat volume berupa inklusi dan bentuk permukaan yang kasar. Dengan komposisi unsur paduan 3,76%C; 0,47%Mn; 0,033%P; 0,033%S; 1,66%Si; 0,130%Cu; 0,048%Ni; 0,009%Mo, dan 0,10%Cr akan menghasilkan besi cor bergrafit *flake* dengan matriks penyusunnya berupa perlit. Berdasarkan warna patahan abu-abu dan sebaran bentuk grafit yang berorientasi sebarang menyerupai bunga maka struktur tersebut termasuk dalam besi cor kelabu bergrafit *Rosette*.

Gambar 2b, menunjukkan bentuk grafit yang runcing dibagian ujungnya. Kondisi ini menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan kerja pada ujung-ujung tertentu sehingga menyebabkan *bottom cone* menjadi lemah dan mudah mengalami keretakan. Apabila dikerjakan dengan mesin dapat mengakibatkan adanya lubang-lubang kecil pada permukaannya (12). Gambar 2a, menunjukkan cacat volume berupa inklusi yang dapat menyebabkan korosi intergranular. Selain menjadi pemicu terjadinya korosi intergranular, inklusi juga merupakan faktor pemicu *pitting erosion* karena pada titik tersebut material penyebab inklusi mudah terlepas karena ia tidak mempunyai ikatan secara polar dengan unsur logam.

Pada Gambar 7, menunjukkan bentuk permukaan *bottom cone* yang kasar. Ini cukup mendukung bukti bahwa dengan komposisi unsur paduan seperti

di atas, maka akan terbentuklah grafit serpihan tajam dan jika dilakukan proses penyelesaian akhir dengan mesin bubut maka akan terbentuk permukaan yang kasar (Gambar 6c). Kekasaran permukaan yang dilalui oleh aliran fluida dapat dianalogkan dengan tahanan yang bekerja pada aliran fluida. Semakin tinggi angka kekasaran permukaan *bottom cone* maka semakin tinggi pula tegangan yang bekerja pada bidang yang kasar tersebut, karena laju aliran air terhambat oleh bidang yang kasar. Dengan demikian kekasaran juga mempunyai peranan cukup signifikan dalam menurunkan siklus ketahanan lelah *bottom cone*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis kegagalan yang dilakukan ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut;

1. Menurunnya umur pakai *bottom cone* disebabkan oleh kegagalan pada produk yang tidak sesuai untuk diaplikasikan pada kondisi di bawah pengaruh tekanan fluida air.
2. Ada tiga faktor yang menjadi pemicu kegagalan pada produk *bottom cone*, yaitu; grafit berbentuk *flake*, cacat volume berupa inklusi, dan bentuk permukaan kasar yang ditemui pada produk *bottom cone*.
3. Kerusakan yang terjadi pada *bottom cone* dapat diidentifikasi sebagai akibat kombinasi serangan korosi erosi, yaitu; *cavitation corrosion* dan *impingement attack* yang ditimbulkan oleh aliran fluida air dan hantaman partikel.

DAFTAR PUSTAKA

1. BAGUS, G. YUDANTO dan DARNOKO. 2005. Kajian Laju Korosi Pada Alat dan Mesin Pengolah di Pabrik Kelapa Sawit. Laporan Penelitian 2005. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
2. DE WAARD, C., U. LOTZ, and A. DUGSTAD. 1995. Influence of Liquid Flow Velocity on CO2 corrosion: A Semi-empirical Model. *Corrosion*/1995, Paper No.128, (Houston, TX: NACE International).
3. DIETER, G. E. 1986. Metalurgi Mekanik. Penerbit Erlangga. Jakarta.
4. DIETZEL, F. 1980. Turbin, Pompa dan Kompresor. Penerbit Erlangga. Jakarta.
5. MARQUARD, R., H. SORGER and M. MC. DONALD. 1998. Crank It up: New Materials Create New Possibilities. *Engine technology international*, v. 2, p. 58-60.
6. MOCELLIN, F., E. MELLERAS, W. L. GUESSER, and L. BOEHS. 2004. Study of The Machinability of Compacted Graphite Iron for Drilling Process. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.* vol.26 no.1 Rio de Janeiro Jan./Mar.
7. SCHONMETZ, A dan K. GRUBER. 1985. Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam. Angkasa. Bandung.
8. STOLK, J. dan C. KROS. 1993. Elemen Mesin. Penerbit Erlangga. Jakarta
9. SUHERMAN, W. 1987. Pengetahuan Bahan. FTI-ITS, Jurusan Teknik Mesin. ITS. Surabaya.
10. SUNARNO. 2005. Mekanikal Elektrikal. Penerbit ANDI. Yogyakarta
11. SURDIA, T dan K. CHIJIWA. 2000. Teknik Pengecoran Logam. PT. Pradnya Paramita. Jakarta
12. SURDIA, T dan S. SAITO. 2000. Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita. Jakarta
13. TRETHERWEY, K. R. dan J. CHAMBERLAIN. 1991. Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
14. UHLIG, H. H., and R. WINSTON REVIEV, 1991. Corrosion and Corrosion Control. Third Edition, John Wiley & Sons.Inc. New York.
15. WIDHARTO, S. 2001. Karat dan Pencegahannya. Pradnya Paramitha. Jakarta.
16. www.engineershandbook.com/Tables/hardness.htm. Conversion tabel of hardness.