

Analisis Fractography dan Kegagalan Fuel Injection Valve Diesel Power Plant PT.XYZ Area Bali

Andi Iriyanto¹, Bambang Priyono²

^{1,2} Teknik Sistem Energi (TSEUI)

¹ andi@gdriveku.com

ABSTRACT

To increase the reliability of the Diesel Engine from the occurrence of interference with the Fuel Injection Valve, it is necessary to calibrate the Fuel Injection Valve. Disturbances that occur with an indication of the absence of atomizing and the condition of the Fuel Injection Valve that is cracked. The results of the Fractography test indicated that there was Fatigue Stress on the Fuel Injection Valve material. The sample injector has failed due to Fatigue Stress with originating cracks on its surface. The initial crack is defined as the origin of the crack, then surrounded by longitudinal microcracks. From the shape of the initial area there is a turbulence of high pressure fuel flow. Fatigue stress and cracks begin at the surface of the F.O hole which is damaged due to cavitation erosion in the fuel injection system. In this section, the phenomenon of cavitation erosion is the cause of surface failure that causes cracks in the Fuel Injection Valve. The cracks are initiated by a rough surface, then the cracks spread rapidly during the loading cycle of the high-pressure fuel flow. In this case, the term cavitation appears which refers to the phenomenon of the formation of gas/vapor bubbles in the flow. When the pressure in the stream drops below the vapor pressure, bubbles are formed. If the bubble is near the solid boundary, it acts as a water hammer against the surface of the fuel injection valve.

Keywords: Diesel, Injector, Cavitation

ABSTRAK

Untuk meningkatkan keandalan Mesin Diesel dari terjadinya gangguan Fuel Injection Valve adalah melakukan Kalibrasi pada Fuel Injection Valve. Gangguan yang terjadi dengan indikasi tidak adanya atomizing serta kondisi Fuel Injection Valve yang mengalami keretakan. Hasil dari pengujian Fractography diindikasikan terjadi adanya Fatigue Stress pada material Fuel Injection Valve. Sampel injektor telah gagal karena Fatigue Stress dengan asal retakan pada permukaannya. Retakan awal (Initial Crack) didefinisikan sebagai asal retakan, kemudian dikelilingi oleh microcracks memanjang. Dari bentuk area awal terdapat turbulensi aliran bahan bakar tekanan tinggi. Fatigue Stress dan retakan dimulai pada permukaan lubang F.O yang rusak karena erosi kavitasi dalam injeksi bahan bakar sistem. Pada bagian ini, fenomena erosi kavitasi merupakan penyebab kegagalan permukaan yang menyebabkan retakan pada Fuel Injection Valve. Retakan dimulai oleh permukaan kasar, kemudian retakan menyebar dengan cepat selama pemuatan siklus dari aliran bahan bakar dengan tekanan tekanan tinggi. Dalam hal ini muncul Istilah kavitasi yang mengacu pada fenomena terbentuknya gelembung gas/uap dalam aliran. Ketika tekanan dalam aliran turun di bawah tekanan uap maka akan muncul gelembung yang terbentuk. Jika gelembung itu dekat batas padat, maka gelembung ini bertindak sebagai palu air (Water Hammer) terhadap permukaan fuel injection valve.

Kata kunci: Diesel, Injektor, Kavitasi

1. PENDAHULUAN

Keandalan pengoperasian mesin Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) harus ditingkatkan agar performa engine dapat terjaga sehingga suplai tenaga listrik tidak terganggu. Gangguan yang berulang baik dari sisi equipment bahan bakar sampai proses di ruang bakar menyebabkan engine mengalami penurunan performa akibat gangguan pada Fuel Injection Valve yang sangat berpengaruh pada suplai bahan bakar. Terdapat dampak loss production daya dan denda akibat menurunnya performa yang disebabkan munculnya gangguan pada sistem pembakaran.

Pada Running Hours 15.505, terdapat gangguan dengan indikasi penurunan tren temperatur cylinder unit 1, setelah dilakukan pemeriksaan terdapat tidak adanya atomizing dan Fuel Injection Valve yang mengalami cracking. Pembuatan laporan ini dilakukan untuk mencari akar masalah sehingga dapat menentukan Failure Defense Task (FDT) yang tepat untuk mencegah gangguan terulang kembali.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Analysis of Domestic Object Damaged (DOD).

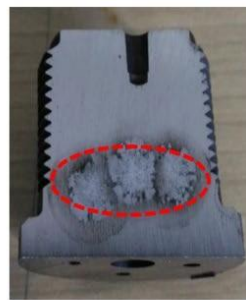
Hasil pengujian Non Destructive Test (NDT) pada komponen sistem fuel injection yaitu pada fuel injection valve dengan menggunakan penetrant tes, ditemukan crack pada body fuel injection valve, untuk memastikan kegagalan tersebut perlu diuji pada material tersebut, untuk menentukan apakah bahan tersebut telah habis (fatigue), keausan, retak atau tidak

2.2. Fuel Injection Valve material analysis

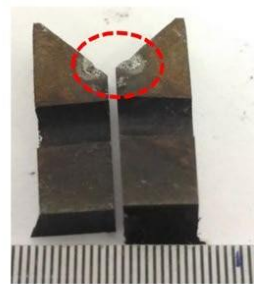
Analisis ini adalah dengan mengambil sampel pada material Fuel Injection Valve, yaitu dengan memotong beberapa bagian. Untuk menguji material ini, metode yang digunakan, antara lain: pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian metalografi. Tes ini dilakukan di Laboratorium AOP-EDC. Spesimen Fuel Injection Valve setelah pemotongan sebagai berikut.



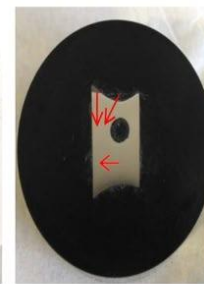
Area uji SEM - EDS



Area Uji chemical composition



Area Micro hardness Test & Microstructure observation



Gambar 1. Sampel Uji



Gambar 2. Crack Fuel Injection Valve

2.3. Chemical Composition.

Komposisi material Dari Hasil tes penetrasi warna, retak memanjang terjadi pada permukaan sampel, mulai dari lubang yang merupakan saluran masuk bahan bakar. Dimensi retak berkisar hingga 50 mm. Hasil tes komposisi kimia menggunakan spektrometer emisi optik, sampel injektor memiliki komposisi kimia yang setara dengan SCM 440

Element	C		Si		Mn		P		S	
SCM 440*	0.38 - 0.43		0.15 - 0.35		0.60 - 0.90		Max 0.030		Max 0.030	
Result	%	sd.	%	sd.	%	sd.	%	sd.	%	sd.
Injector	0.396	0.0060	0.267	0.0109	0.754	0.0199	0.0118	0.0024	0.0228	0.0039

Element	Cr		Cu		Ni		Mo		Fe	
SCM 440*	0.90 - 1.20		Max 0.30		Max 0.25		0.15 - 0.30		Remainder	
Result	%	sd.	%	sd.	%	sd.	%	sd.	%	sd.
Injector	1.09	0.0397	0.119	0.0031	0.0681	0.0008	0.167	0.0133	97.0	0.104

Gambar 3. Komposisi Kimia

*Refer to JIS G 4053 : 2008 'Low-alloyed steels for machine structural use'

% Percentage

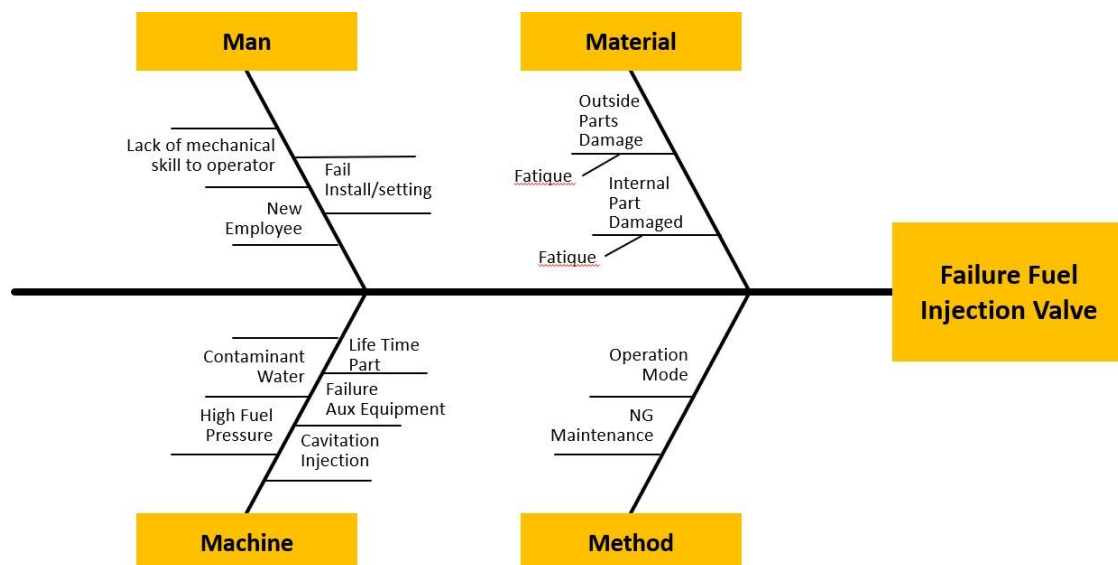
weight sd.

Standard

Deviation

2.4. Method

Metode penelitian ini adalah untuk menemukan penyebab kerusakan dengan menggunakan metode fishbone diagram, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. Fish Bone Analysis

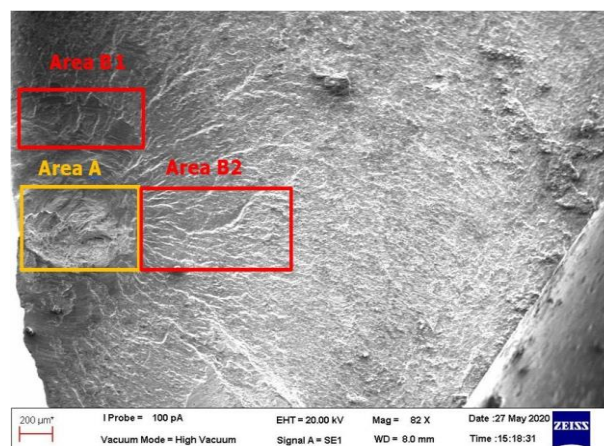
Dengan menggunakan metode Fish Bone Diagram seperti di atas, dapat disimpulkan bahwa beberapa penyebab utama dari kerusakan akibat adalah sebagai berikut:

- Fatigue Stress pada material Fuel Injection Valve. Fatigue Stress dengan asal retakan pada permukaannya. Retakan dimulai oleh permukaan kasar, setelah pengerjaan pada lubang, terkena bagian lain atau aliran bahan bakar tekanan tinggi. Permukaan kasar menjadi konsentrasi tegangan. Bukti Fatigue Stress dapat diamati di daerah perambat.
- Cavitation Erosion pada Fuel Injection Valve yang dilihat dari munculnya Initial crack
- Kontaminasi air pada bahan bakar yang tinggi dari hasil uji lab terhadap bahan bakar.

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1. Composition Testing

Sesuai dengan hasil tes komposisi kimia dengan menggunakan spektrometer emisi optik, sampel injektor memiliki komposisi kimia SCM 440



Gambar 5. Initial Crack Area.

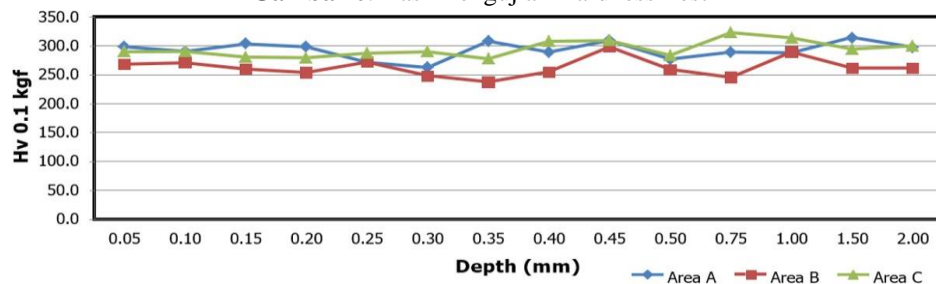
Pada Gambar SEM area retakan awal, sampel injektor telah gagal karena Fatigue Stress dengan asal retakan pada permukaannya. Retakan dimulai oleh permukaan kasar (A), setelah terjadi Initial Crack pada area (A) dan merambat ke bagian lain karena aliran bahan bakar tekanan tinggi. Permukaan kasar menjadi konsentrasi tegangan. Bukti Fatigue Stress dapat diamati di daerah perambatan (B1&B2)

3.2. Hardness test

Hasil tes distribusi kekerasan tidak ada perbedaan yang signifikan dari distribusi. Area retak dan permukaan awal memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada area perambatan, tetapi perbedaannya adalah pada range dan dapat ditoleransi. Pada grafik juga memberikan informasi tentang tidak ada treatment pada permukaan atau overheating lokal di dekat area yang diuji

Depth (mm)	Hardness Distribution					
	Area A		Area B		Area C	
	Hv 0.1 kgf	Hv to HRC	Hv 0.1 kgf	Hv to HRC	Hv 0.1 kgf	Hv to HRC
0.05	298.1	29.5	268.2	25.4	289.9	28.5
0.10	290.1	28.5	270.3	25.7	290.3	28.5
0.15	303.0	30.1	259.2	23.9	280.3	27.2
0.20	298.0	29.5	253.4	22.9	279.1	27.0
0.25	271.8	26.0	271.4	25.9	287.2	28.2
0.30	262.6	24.4	247.8	22.0	289.8	28.5
0.35	307.8	30.7	236.9	19.7	277.4	26.8
0.40	289.0	28.4	254.5	23.1	307.6	30.7
0.45	309.2	30.9	297.9	29.5	309.2	30.9
0.50	276.8	26.7	258.7	23.8	283.5	27.6
0.75	288.9	28.4	245.2	21.4	323.0	32.6
1.00	287.9	28.2	289.1	28.4	313.9	31.5
1.50	314.2	31.5	261.0	24.2	294.3	29.0
2.00	297.2	29.4	261.0	24.2	299.7	29.7

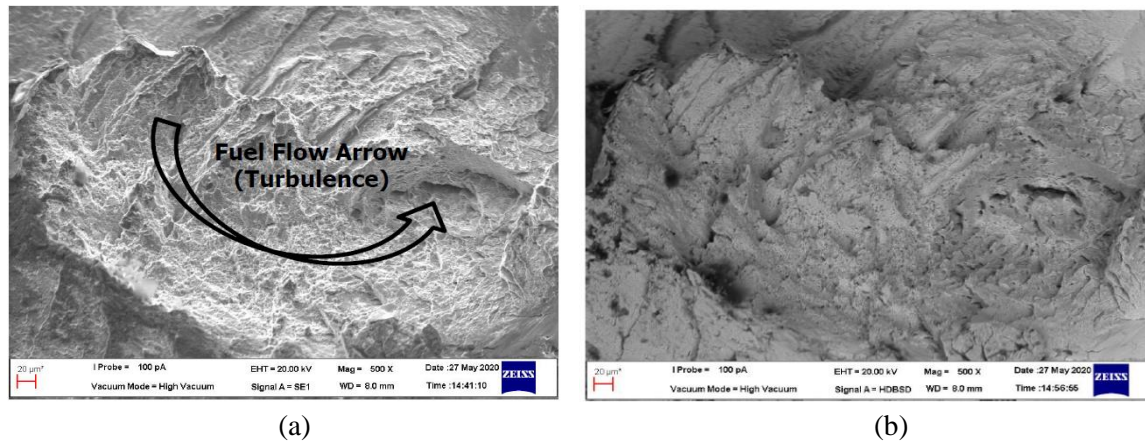
Gambar 6. Hasil Pengujian Hardness Test



Gambar 7. Hasil Distribution Fuel Injection Valve

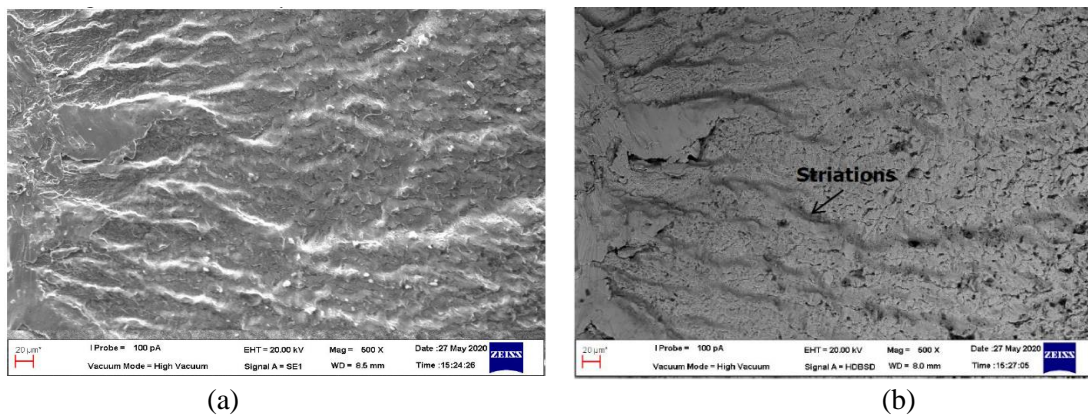
3.3. Scanning Electron Microscope testing

Pengujian SEM dilakukan untuk menentukan mikrostruktur material setelah kerusakan. Sebelum pengujian, bahan dipotong untuk dijadikan spesimen. Berikut adalah hasil mikrostruktur dari material fuel injection valve.



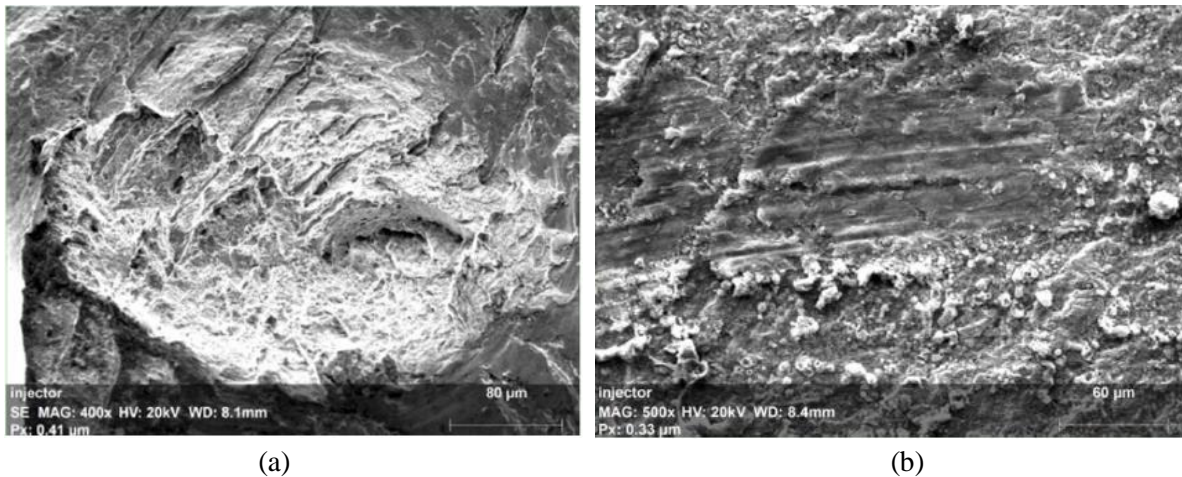
Gambar 8. (a) 500X Magnification. Secondary Electron Detector (b) 500X Magnification HD-Back Scattered Detector (HD-BSD)

Pada citra SEM, terdapat dua detektor. Secondary Electron (SE) Detector menggambarkan topografi permukaan sampel, sedangkan High Definition - Back Scattered Detector (HD-BSD) menunjukkan perbedaan komposisi kimia antar fitur di permukaan. Warna yang berbeda berarti elemen yang berbeda. Menurut gambar, area retak awal bebas dari kotoran.



Gambar 9. (a) 500X Magnification B2 Area. Secondary Electron Detector (b) 500X Magnification B2 Area HD-Back Scattered Detector (HD-BSD)

Menurut gambar SEM di daerah propagasi, tanda pantai dan striasi terungkap. Beachmarks dan striations adalah perambatan retak yang terbentuk karena pembebanan siklik setelah awal retakan dimulai.



Gambar 10. (a) Initial Crack Area (b) Leakage Area

Menurut gambar HD-BSD, di area Leakage, Kotoran diidentifikasi dengan perbedaan warna di antara permukaan. Kotoran diklasifikasikan dengan warna lebih gelap. Dari komposisi kimia mikro – Area mapping, terdapat perbedaan komposisi antara daerah retak awal dan daerah bocor. Perbedaan yang signifikan terletak pada kandungan oksigennya. Dari area retakan awal, area tersebut tidak mengandung kotoran yang menyebabkan retakan karena isinya serupa. Kandungan oksigen ini berasal dari karat besi yang disebabkan oleh oksidasi dengan kebocoran bahan bakar. Struktur mikro di area awal, tidak ada indikasi overheat, treatment atau impurities di dekat area yang diuji. Dispersi tempering martensit dan retensi austenite sangat seragam.

Result	Elements									
	Fe	O	C	Mn	Cr	S	Si	Ca	Al	Mg
Initial Crack Area	77.46	3.49	17.48	-	0.88	0.22	0.25	0.23	-	-
Leakage Area	61.78	21.62	12.76	1.97	0.51	0.49	0.48	0.18	0.11	0.10

Gambar 11. Hasil test komposisi kimia pada Mapping Area

3.4. Failure analysis

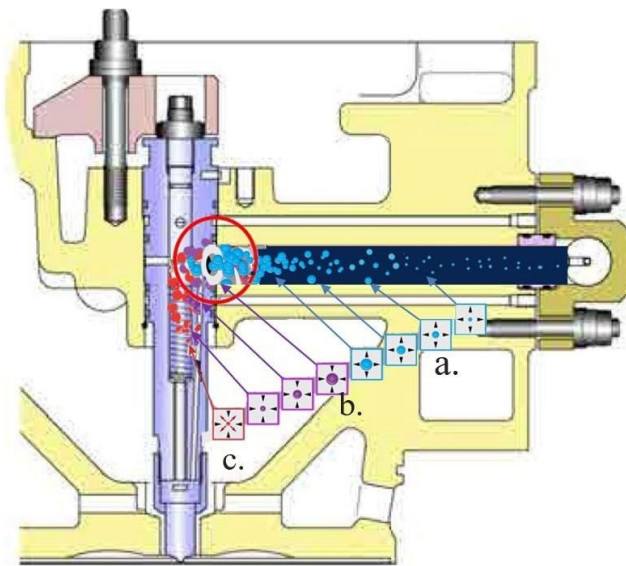
Analisis penyebab utama kerusakan adalah:

- Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor penyebab kegagalan secara keseluruhan, adalah sampel injektor telah gagal karena stres fatigue dengan initial crack pada permukaannya. Hasil pengamatan fraktografi menunjukkan bahwa Initial Crack, merupakan retak awal yang ditandai dengan permukaan yang terlihat terang dan halus. Retakan dimulai oleh permukaan kasar karena aliran bahan bakar tekanan tinggi retakan menyebar dengan cepat selama pemuatan siklus dari aliran bahan bakar dalam tekanan tinggi tersebut. Permukaan kasar 2 dan bukti Fatigue Stress diungkapkan oleh gambar SEM.
- Cavitation Erosion pada Fuel Injection Valve yang dilihat dari munculnya Initial crack
- Kontaminasi air pada bahan bakar yang tinggi dari hasil uji lab terhadap bahan bakar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Fenomena Fatigue Stress material yang melemah disebabkan oleh beban siklik, dan mengakibatkan kerusakan progresif dan terlokalisasi, kemudian tumbuh menjadi retakan menyebar ke bagian dalam. Fatigue Stress bisa lebih parah jika ada area konsentrasi stres. Dalam hal ini, permukaan Fuel Injection Valve yang kasar menyebabkan retakan pada permukaan. Kemudian pemuatan siklik dari aliran bahan bakar tekanan tinggi meningkatkan kerusakan dan menyebabkan retak menyebar dengan cepat ke bagian dalam. Retakan awal (Initial Crack) didefinisikan sebagai asal retakan, kemudian dikelilingi oleh microcracks memanjang. Dari bentuk area awal, sangat diduga dari turbulensi aliran bahan bakar tekanan tinggi.

Selanjutnya, tidak ada bukti kondisi overheat selama proses, Material treatment dan Impurities selama penyelidikan. Menurut Nishida Shinichi [5]. Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam juga menyebabkan konsentrasi tegangan. Crack Propagation, merupakan perambatan retak dengan permukaan yang berwarna lebih gelap dan adanya perbedaan ketinggian yang terlihat secara makro bila dibandingkan dengan daerah initial crack. Final crack merupakan daerah rambatan akhir dengan permukaan yang kasar dengan butir-butir yang kasar (coarse grains).

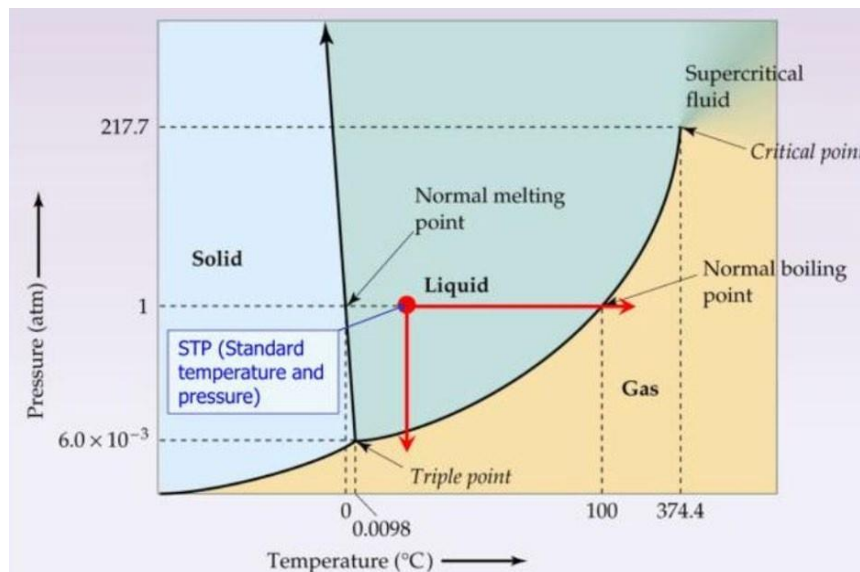


Keterangan:

- a. Gelembung mengembang saat tekanan berkurang
- b. Gelembung mulai runtuh keluar seiring tekanan rendah
- c. Gelembung akhirnya meledak karena meningkatnya tekanan

Gambar 7. Kavitasi Erosi dalam injeksi

Dari hasil yang disebutkan di atas, Fatigue Stress dan retakan dimulai pada permukaan lubang F.O yang rusak karena erosi kavitasi dalam injeksi bahan bakar sistem. Pada bagian ini, fenomena erosi kavitasi merupakan penyebab kegagalan permukaan yang menyebabkan retakan pada Fuel Injection Valve. Retakan dimulai oleh permukaan kasar, kemudian retakan menyebar dengan cepat selama pemuatan siklus dari aliran bahan bakar dengan tekanan tinggi.



Gambar 8. Diagram Fasa [3]

Dalam hal ini muncul Istilah kavitasi yang mengacu pada fenomena terbentuknya gelembung gas / uap dalam aliran. Ketika tekanan dalam aliran turun di bawah tekanan uap maka akan muncul gelembung yang terbentuk. Jika gelembung itu dekat batas padat, maka gelembung ini bertindak sebagai palu air (*Water Hammer*) terhadap permukaan fuel injection valve.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Instansi/perusahaan/lembaga yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM International, "Corrosion", ASM Metals Handbook, Vol. 13, pp. 303
- [2] ASM International, "Surface Engineering", ASM Metals Handbook, Vol. 5, pp. 102
- [3] Atkins, Peter dan Julio De Paula. 2006. Physical Chemistry. New York: W.H Freeman And Company
- [4] Karrassik Igor J., Pump Hand Book, Mc. Graw-Hill, New York, 1976
- [5] Marsudi, Djiteng (2006), "Pembangkitan Energi Listrik". Jakarta: Erlangga
- [6] Nishida Shinichi " Failure Analysis in Engineering Applications 1st Edition
- [7] William D. Callister, Material Science and Engineering (An Introduction), New York : John Wiley & Sons, Inc (2007).
- [8] Shin-Ichi Nishida, Failure Analysis in Engineering Aplication. Jordan Hill: Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd (1992).
- [9] Charles R. Brooks dan Ashok Choudhury, Failure Analysis of Engineering Materials, New York : McGraw-Hill (2001).
- [10] V. J. Colangelo, Analysis of Metallurgical Failures Second Edition. Singapore : John Wiley & Sons, Inc (1989).
- [11] M. J. Donachie dan S. J. Donachie, Superalloys A Technical Guide Second Edition. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2003).
- [12] Geoff Budd, ASM Handbook Vol.2 Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).
- [13] Geoff Budd, ASM Handbook Vol.9 Metallographic and Microstructure. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).

- [14] Geoff Budd, ASM Handbook Vol.11 Failure Analysis and Prevention. Material Park. Ohio. USA. ASM International (2002).
- [15] Geoff Budd, ASM Handbook Vol.12 Fractography. Material Park. Ohio.USA. ASM International (2002).
- [16] Nuur, Raditya Ashwidin. 2016. Analisa Kegagalan Riding Gear pada Rotary Dryer dengan Variasi Pembebanan (Studi 82 Kasus: Pabrik II PT.Petrokimia Gresik). Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Suherman, Wahid. 1999. Metalurgi 1. Departemen Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- [17] Akuan, Abrianto. 2007. Kelelahan Logam. Departemen Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Ahmad Yani, Bandung.
- [18] Chandra, Devi. 2010. Analisis Tegangan Baut Pengunci Girth -Gear Kiln. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang.
- [19] Callister, William. 2007. Material Science and Engineering an introduction . New York: John W iley & Sons, Inc.
- [20] Alang, NA., dkk. 2011. Effect of Surface Roughness on Fatigue Life of Notched Carbon Steel. Pahang Darul Makmur: Faculty of Mechanical Engineering Universiti Malaysia Pahang
- [21] Loekito, Evelyn. 2016. Studi Analisa Kegagalan Impeller dari Brake Cooling Fan Assembly dan Bolt dari Brake Assembly pada Pesawat Airbus A320-200. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember