



Analisis Kerusakan Refractory pada Cyclone Boiler CFB (Circulating Fluidized Bed) dengan Metode FMEA dan RCFA pada PLTU

Jogi Jeremiah^{1*}, Jusafwar¹, dan Nusiywan²

¹ Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16425

² Power Utilization, LEEDS University UK

Abstrak

Penelitian ini menganalisa kerusakan yang terjadi pada refractory pada cyclone yang hancur dan menyebabkan overheat pada dinding cyclone. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kemungkinan-kemungkinan yang menyebabkan kerusakan pada refractory dan akibatnya. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dan RCFA (Root Cause Failure Analysis) serta pembuktian perhitungan CCS (Cold Crushing Strength). Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) yaitu membuat skala prioritas dari setiap kerusakan yang terdeteksi. Metode RCFA (Root Cause Failure Analysis) yaitu membuat fishbone berdasarkan skala prioritas pada FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Perhitungan CCS (Cold Crushing Strength) akan dilakukan berdasarkan ASTM c-133. Pada akhirnya akan didapatkan skala prioritas tertinggi dan skema fishbone yang menunjukkan penyebab daripada kerusakan refractory berupa abrasi yang menyebabkan timbulnya crack pada casing cyclone dan data yang mendukung seperti kecepatan aliran flue gas masuk cyclone yang melebihi spesifikasi (<35m/s) dan kekuatan CCS refractory aktual yang menunjukkan nilai 43Mpa. Setelah terjadinya crack pada casing cyclone akan diadakan penambalan material yang sesuai dengan ketahanan yang dibutuhkan serta penambalan refractory pada outage.

Kata-kata kunci: Refractory, CCS (Cold Crushing Strength), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), RCFA(Root Cause Failure Analysis)

Abstract

This study analyzes the damage that occurs in fire resistant to damaged cyclones and causes excessive heat on the cyclone wall. The purpose of this study is to determine the issue of excretion which causes damage to the refractories and their consequences. The analysis was carried out using the FMEA method (Effect Failure and Analysis Mode) and RCFA (Root Cause Failure Analysis) and proof of the calculation of CCS (Cold Crushing Strength). The FMEA method (Mode of Effect Failure and Analysis) is to make a priority scale of any damage offered. RCFA Method (Root Cause Failure Analysis) is to make fish bones based on priority scale in FMEA (Effect Failure and Analysis Mode). The calculation of CCS (Cold Crushing Strength) will be carried out based on ASTM c-133. In the end the highest priority scale will be obtained and determine the fish bone which refers to the damage to the refractory which causes abrasion which causes cracks in the cyclone casing and data that supports increased cyclone inlet gas flow velocity specifications (<35m / s) and fire-resistant CCS strength being seen which shows a value of 43Mpa. After finishing the cracks on the cyclone casing, fillings will be held to suit the required resistance and refractory fillings at outages.

* Corresponding author E-mail address: jogijeremiahtobing@gmail.com

Keywords: Refractory ; Refractory, CCS (Cold Crushing Strength), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), RCFA(Root Cause Failure Analysis)

1. PENDAHULUAN

Permasalahan pada PLTU PT. X adalah terjadinya kerusakan pada *refractory* tiap tahunnya dan munculnya *hotspot* pada beberapa titik dalam ruang bakar dan *cyclone*. Kerusakan terindikasi dengan adanya *hotspot* dan peningkatan *temperature* pada *casing* bagian luar *refractory* pada saat pengoperasian, peningkatan *temperature* terjadi pada bagian *cyclone* dan ruang bakar, peningkatan *temperature* pada ruang bakar merupakan indikasi adanya kebocoran pada *refractory* yang menyebabkan fungsi *refractory* sebagai *insulator* hilang sehingga terjadi peningkatan *temperature* pada *water wall* dan dapat menyebabkan perubahan fasa air menjadi uap sehingga terjadinya peningkatan tekanan pada pipa yang akan menyebabkan kebocoran pada *water wall* dan menyebabkan air *downcomer* dari *steam drum* tidak tersirkulasi kembali sehingga dapat menyebabkan *level* air pada *steam drum* dibawah *set point* sehingga PLTU mengalami *trip*, sedangkan pada bagian *cyclone* tumbukan antara *refractory* dan *bed material* menyebabkan sifat abrasif pada *refractory* sehingga ketebalan *refractory* berkurang dan berpotensi adanya kebocoran sehingga *bed material* terbuang dan tidak tersirkulasi yang akan berdampak pada penurunan *temperature* pada ruang bakar.

Menurut ASTM C71 *refractory* adalah bahan non-logam yang memiliki sifat kimia dan fisik yang membuatnya berlaku untuk struktur atau sebagai komponen sistem yang terpapar pada lingkungan di atas 1000 ° F (538 ° C) [1].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Amol S. Kinkar, G. M. Dhote, R. Chokkar terjadinya kerusakan *refractory* boiler cfbc akibat kegagalan operasi yang menyebabkan erosi pada bagian dinding *refractory*. Flue gas dengan kecepatan tinggi dan dengan *temperature* 800°C hingga 900°C menyebabkan terkikisnya *refractory* sehingga tebal *refractory* berkurang dan kekuatan isolasinya pun menurun [2]. Penelitian oleh C. Soupramanien dan J. Swaminathan terjadinya kerusakan *refractory* pada bagian *cyclone* yang dikarenakan adanya kegagalan tahap pemasangan *refractory* saat pengelasan. *Flue gas* yang masuk ke *cyclone* menyebabkan terjadinya *overheating* sehingga hilangnya penguatan jangkar menyebabkan *refractory* tidak kokoh dan rubuh [3].

Sulitnya melakukan pemeliharaan akan *refractory* yang dikarenakan terletak di dalam ruang bakar menyebabkan pentingnya pemilihan material yang sesuai dengan ketahanan akan *temperature* serta *abrasi* akan *bed material*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi penyebab kegagalan serta pola operasi yang cocok dengan ketahanan material yang digunakan.

NOMENKLATUR

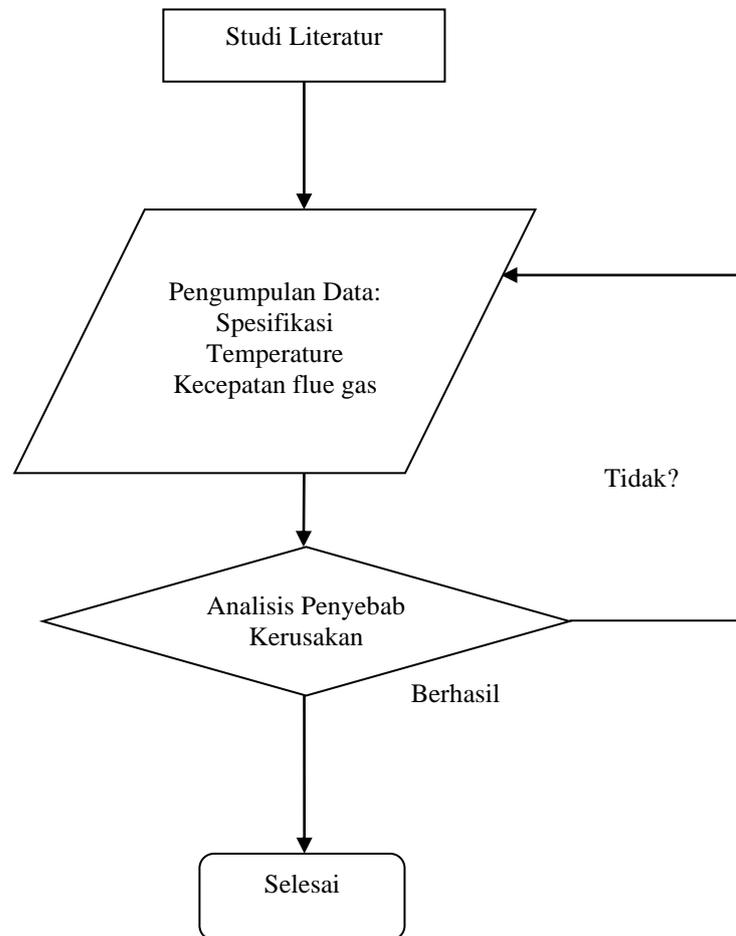
ΔP = Perbedaan tekanan pada ruang bakar (pa)	S = Kekuatan CCS (Mpa)
v = kecepatan flue gas (m/s)	W = Gaya yang menghantam area cyclone (N)
λ = Excess Air (20%)	A = Luas area yang rusak (m ²)
D = Diameter ruang bakar (m)	
L = Panjang ruang bakar (m)	
p_f = tekanan pada fluidizing (pa)	

2. METODE

Berdasarkan Gambar 1, metode yang digunakan sebagai berikut, hal pertama dalam melakukan analisis ialah melakukan studi literatur. Berdasarkan sumber masalah dan kajian pustaka, maka identifikasi masalah pada kerusakan *refractory* di *cyclone* dapat diperkirakan dalam beberapa aspek yaitu man, material dan method. Setelah memperkirakan aspek kegagalan maka selanjutnya dilakukan pengambilan data berupa kuisioner nilai resiko pada bagian *cyclone*, *temperature* pada *cyclone* dan juga data kerusakan pada saat outage. Setelahnya akan dilakukan analisa dengan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dan RCFA (Root Cause Failure Analysis) serta perhitungan CCS (Cold Crushing Strength).

Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan terjadi dalam sebuah sistem, desain, proses, atau pelayanan (service). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor masing – masing moda kegagalan

berdasarkan atas tingkat kejadian (occurrence), tingkat keparahan (severity), dan tingkat deteksi (detection) [4]. Selanjutnya pada metode RCFA (Root Cause Failure Analysis) akan menentukan hasil berdasarkan nilai prioritas dari metode FMEA, pada metode ini akan menentukan penyebab masalah menggunakan *fishbone*. Perhitungan kecepatan *flue gas* menuju *cyclone* menggunakan persamaan [5] :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} p_f \quad (1)$$

Sehingga didapatkan perhitungan kecepatan sebagai berikut :

$$v = \sqrt{\frac{\Delta P \cdot D \cdot 2}{L \cdot \lambda \cdot p_f}} \quad (2)$$

Perhitungan CCS (*Cold Crushing Strength*) berdasarkan ASTM c-133 akan menggunakan persamaan [6] :

$$S = W / A \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

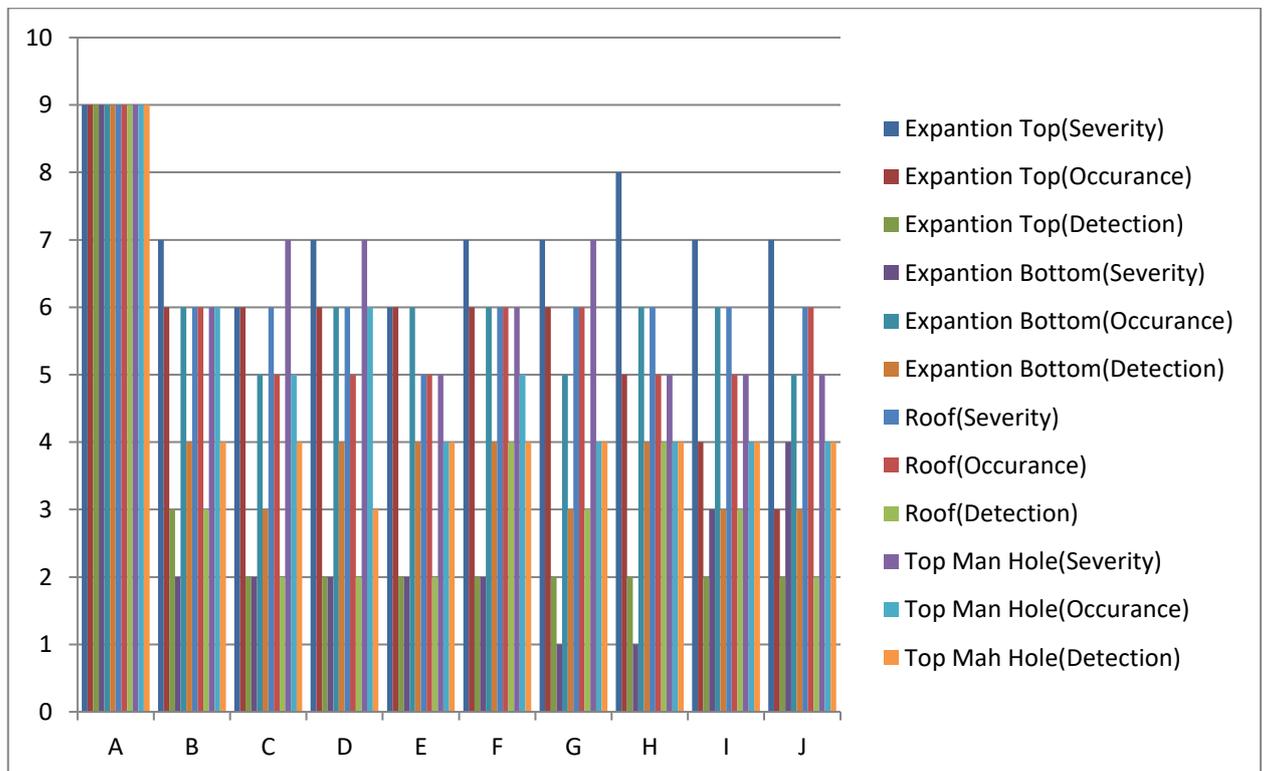
Analisa kerusakan pada *refractory cyclone* adalah perhitungan nilai prioritas serta pengelompokan penyebab masalah dan ditunjang dengan perhitungan kecepatan aliran *flue gas* menuju *cyclone* serta perhitungan CCS.

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Tabel 1. Hasil Inspeksi(May 2019)

No	Komponen	Inspeksi	Hasil	Status
		Area		
1	Expantion Top	Inner	Tidak terjadi indikasi	All Acceptable
		Outer		
2	Expantion Bottom	Inner	Tidak terjadi indikasi	All Acceptable
		Outer		
3	Roof	Inner	Crack dan Ada Kebocoran	Unacceptable
		Outer		
4	Top Man Hole	Inner	Crack	Unacceptable
		Outer		

Berdasarkan tabel 1. dapat diketahui kerusakan yang terjadi pada bagian-bagian *cyclone*. Komponen diinspeksi melalui *visual test*. *Visual test* dilakukan dengan pengecekan pada bagian casing *cyclone* sehingga apabila terjadi *crack* sudah dapat dipastikan bahwa *refractory* atau bagian dalam *cyclone* mengalami *crack* juga. Kerusakan yang terjadi dianalisis lebih lanjut dengan menentukan rating dan menghitung nilai RPN melalui kuisioner kepada responden Teknisi Sipil dan Operator.



Gambar 2. Grafik rating kerusakan pada cyclone

Berdasarkan gambar 2. diketahui bahwa data yang didapatkan melalui 10 responden (A-J) menghasilkan nilai *severity*, *Occurance* dan *Detection*.

Tabel 2. Nilai rata-rata Severity, Occurance dan Detection

	Severity	Occurance	Detection	RPN
Expantion Top	7.1	5.7	2.8	113.316
Expantion Bottom	2.8	6	4.1	68.88
Roof	6.2	5.8	3.4	122.264
Top Man Hole	6.2	5.1	4.4	139.128

Dari table 2. diketahui bahwa nilai rata-rata dari *severity*, *occurance* dan *detection*. Nilai *Severity* didapatkan berdasarkan efek potensi kerusakan. Nilai *Occurance* didapatkan dari data history kerusakan inspeksi *cyclone*. Nilai *Detection* didapatkan dari pengalaman serta pengetahuan koresponden selama bekerja.

Tabel 3. History inspeksi cyclone

Bagian Cyclone	Masalah	Tahun Inspeksi					
		2013	2014	2015	2016	2017	2018
Expantion Top	Crack	✓	-	-	✓	✓	✓
Expantion Bottom	Crack	✓	✓	✓	-	✓	-
Roof	Crack	✓	-	✓	-	✓	✓
Top Man Hole	Crack	✓	✓	-	✓	✓	-

Berdasarkan tabel 3 *cyclone* memiliki kerusakan di tiap bagian secara acak, hal ini terjadi dikarenakan penggantian material yang berbeda hampir tiap tahunnya.

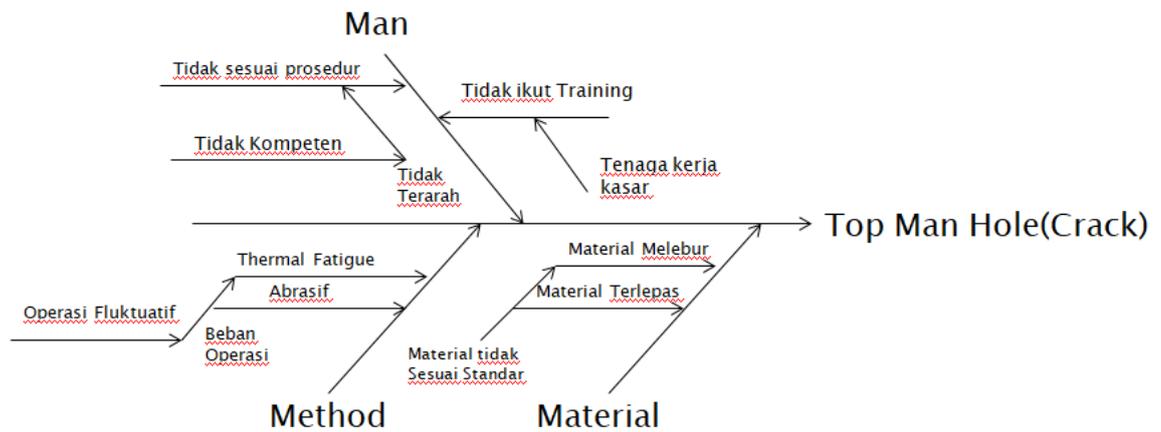
RCFA (Root Cause Failure Analysis)

Berdasarkan hasil worksheet FMEA , kerusakan komponen pada bagian *Top Man Hole* memiliki nilai RPN tertinggi sehingga bagian tersebut harus diketahui penyebab kerusakannya. Penyebab kerusakan diaplikasikan dengan diagram *fishbone* dengan 3 faktor yang meliputi. Hasil kerusakannya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Refractory bagian Top Man Hole

Metode *fishbone* merupakan mengidentifikasi dan mengorganisasikan penyebab-penyebab yang timbul dari suatu efek dan kemudian memisahkan akar penyebabnya.



Gambar 4. Fishbone diagram

Berdasarkan gambar 4 diketahui terdapat beberapa kemungkinan potensi yang menyebabkan rusaknya *cyclone*. Potensi tersebut didapatkan hasil diskusi dengan operator dan teknisi sipil PT. X yang disesuaikan dengan referensi jurnal-jurnal internasional. *Factor Man* merupakan pengaruh pada saat pemasangan, hal ini terjadi karena kurangnya arahan untuk para pekerja ataupun kurangnya kemampuan para pekerja dalam bidang pemasangan *refractory* yang menyebabkan kesalahan pemasangan ataupun tidak sesuai cara pemasangan yang ada. *Factor Method* merupakan penyebab pola operasi yang tidak sesuai standar menyebabkan kecepatan *flue gas* masuk *cyclone* melebihi spesifikasi dan melebihi daya tahan CCS *refractory* itu sendiri. *Factor material* merupakan adanya perbedaan material yang digunakan pada saat perbaikan yang tidak sesuai dengan standar, hal ini dapat berakibat cepatnya kerusakan pada *cyclone* yang akan menimbulkan *hotspot* pada beberapa bagian. *Hotspot* yang bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama akan menyebabkan *crack* dan kebocoran.

Perhitungan kecepatan flue gas masuk Cyclone

Dari data pengamatan dengan asumsi PLTU beban penuh maka didapat perhitungan kecepatan *flue gas* aktual sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta P &= 9400 \text{ pa} \\ \lambda &= 20\% \\ L &= 10\text{m} \\ D &= 7.3 \text{ m} \\ p_f &= 1.2 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$v = \sqrt{\frac{9400 \times 7.3 \times 2}{10 \times 0.2 \times 1.2}} = 117.1495 \text{ m/s}$$

Data operasi tersebut menunjukkan aliran *flue gas* masuk ke *refractory* yang sangat besar dan melewati data spesifikasi yaitu <35m/s. Hal ini sangat memungkinkan menjadi penyebab utama pengikisan serta kerusakan pada *refractory* di *cyclone*.

Perhitungan Cold Crushing Strength

Cold Crushing Strength merupakan indikasi kesesuaian konstruksi *refractory* sendiri. Perhitungan melingkupi area yang rusak akibat ditumbuk oleh *flue gas*.

$$\begin{aligned}W &= 80.85 \text{ N} \\ A &= 1.880232558 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$s = 80.85 / 1.880232558 = 43 \text{ Mpa}$$

Data perhitungan *Cold Crushing Strength* tersebut berada diantara rekomendasi yang diberikan oleh balai besar keramik(32-70 Mpa).

4. KESIMPULAN

1. Hasil analisa kerusakan ini disebabkan oleh pola operasi akibat penambahan aliran udara dari Primary Air Fan dan Secondary Air Fan yang meningkatkan aliran flue gas yang masuk ke dalam cyclone. Sehingga ketahanan material refractory lebih cepat menurun yang kemudian hancur.
2. Kerusakan refractory menunjukan kegagalan pemasangan yang terlihat dari kerusakan anchor.
3. Apabila refractory hancur lebih dahulu dari perencanaan hal ini dapat menyebabkan derating pada boiler dan menurunkan produksi PLTU dan mempercepat outage.
4. Perubahan pada pola operasi dengan menurunkan tekanan didalam ruang bakar, agar kecepatan flue gas dengan cara penyesuaian udara pembakaran primary air fan dan secondary air fan sesuai dengan spesifikasi dan peningkatan kualitas refractory diperlukan agar nilainya berada di tengah(51 Mpa) rekomendasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Makmur Sejahtera Wisesa atas dukungan fasilitas pada penelitian ini.

REFERENSI

1. Dr. Husein Alaa, Refractories (2017)
2. Amol S. Kinkar, Refractory Failure Investigation in Boiler CFBC (2015)
3. C. Soupramanien, Failure Analysis of Refractory Anchors of a Power Boiler (2014)
4. Stamatis, Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from theory to execution, second edition. (1995)
5. Simeon N. Oka, Fluidized Bed Combustion. (2004)
6. American Society for Testing and Material/ASTM C-133 (Reapproved 2015)