



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

# **ANALISA KEGAGALAN MATERIAL PADA AIR CAP NOZZLE CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB) BOILER**

MUHAMMAD YUSUF BACHTIAR  
NRP. 0211164000082

Dosen Pembimbing  
Suwarno., ST., MSc., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020





**TUGAS AKHIR - TM 184835**

**ANALISA KEGAGALAN MATERIAL PADA *AIR CAP  
NOZZLE CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB)*  
BOILER**

**Muhammad Yusuf Bachtiar**

02111640000982

Dosen Pembimbing

**Suwarno., ST., MSc., PhD**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI REKAYASA INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA - 2020**





**FINAL PROJECT - TM 184835**

**FAILURE ANALYSIS OF *CIRCULATING FLUIDIZED  
BED (CFB) BOILER AIR CAP NOZZLE***

**Muhammad Yusuf Bachtiar**

02111640000982

Advisor

**Suwarno., ST., MSc., PhD**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

**Faculty of Industrial Technology And Industrial Engineering**

**INSTITUTE OF TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISA KEGAGALAN MATERIAL PADA AIR CAP NOZZLE  
CIURCULATING FLUIDIZED BED (CFB) BOILER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muhammad Yusuf Bachtiar**  
NRP. 0211164000082

Disetujui oleh:

1. SUWARNO, ST, M.Sc, PhD. (Pembimbing)  
NIP. 198005202005011003
2. PUTU SUWARTA, S.T., M.Sc., PhD. (Penguji I)  
NIP. 198203032009121007
3. Prof. Dr. Ir. WAJAN BERATA, DEA. (Penguji II)  
NIP. 195012111985021001
4. FAHMI MUBAROK, ST, M.Sc., PhD. (Penguji III)  
NIP. 197801152003120002









**ANALISA KEGAGALAN MATERIAL PADA AIR CAP  
NOZZLE CIURCULATING FLUIDIZED BED (CFB)  
BOILER**

Nama Mahasiswa : Muhammad Yusuf Bachtiar  
NRP : 0211164000082  
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc., PhD

**ABSTRAK**

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik dimana generator listrik digerakkan uap. Air dipanaskan lalu berubah menjadi uap dan memutar turbin uap yang menggerakkan generator listrik. Setelah melewati turbin, uap dikondensasikan dalam kondensor. Nozzle merupakan salah satu komponen penting pada pembangkit listrik tenaga uap. Nozzle terletak dibagian bawah furnace yang berfungsi untuk mengarahkan aliran dimana sering terjadi kegagalan. Kegagalan umumnya terjadi karena adanya penyumbatan pada bagian *air cap nozzle* dan pengikisan pada permukaan *air cap nozzle*.

*Air cap nozzle* menggunakan material stainless steel type 316L dimana dengan kandungan campuran 16-18% krom, 10-14% nikel, serta mangan dan nitrogen. Pada penelitian dilakukan tahap simulasi, pengujian, dan analisis. Pada tahap simulasi, dilakukan simulasi pada komponen air cap nozzle menggunakan ANSYS untuk mengetahui pengaruh kecepatan fluida dengan tekanan yang terjadi pada *air cap nozzle* ketika boiler diaplikasikan. Kemudian terdapat tahap pengujian berupa pengamatan makro dan mikro dari *air cap nozzle*. Adapun pengujian dilakukan dengan pengamatan spectrometer, uji metalografi, uji micro-hardness, dan *scanning electron*

*microscopy* (SEM). Terakhir ialah dilakukan analisa kegagalan nozzle ini berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan.

Dari hasil simulasi dan pengujian, *failure* yang terjadi pada *air cap nozzle* berupa erosi dan retak. Erosi disebabkan aliran fluida membawa zat pengotor (batubara & *limestone*) yang mengalir pada *air cap nozzle* dan *skin friction* mengakibatkan penipisan pada permukaan. Keretakan terjadi karena adanya tumbukan bahan bakar dengan ukuran besar yang mengenai permukaan *air cap nozzle*. Dari pengujian spectrometer dan SEM didapatkan komposisi kimia yang berbeda pada material *stainless steel 316L* dengan komposisi kimia standar untuk *Stainless steel 316L*. Pada pengamatan metalografi terdapat fasa austenite, fasa ferritic dan karbida. Pada pengujian hardness didapatkan nilai kekerasan lebih tinggi daripada kekerasan material standar dikarenakan adanya karbida pada material benda uji.

***Kata Kunci: nozzle, CFB, struktur mikro, stainless steel type 316L***

**FAILURE ANALYSIS OF *CIURCULATING FLUIDIZED*  
*BED (CFB) BOILER AIR CAP NOZZLE***

Nama Mahasiswa : Muhammad Yusuf Bachtiar  
NRP : 0211164000082  
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc., PhD

**ABSTRACT**

A steam power plant is a the electric generator driven by steam. The heated water turns into steam and spins a steam turbine that drives an electric generator. After passing through the turbine, the steam is condensed in the condenser. The nozzle is one of the important components in a steam power plant. The nozzle is located at the bottom of the furnace which functions to direct the flow where failure often occurs. Failure generally occurs because of a blockage in the part water nozzle cap and scrape on the water cap nozzle surface.

Air cap nozzle using the material of stainless steel type 316L where a mixture contents of 16-18% chromium, 10-14 % nickel, manganese, and nitrogen. In this study there are three stages; simulation, testing, and analysis. At the stage of the simulation, simulations on components water nozzle cap using ANSYS was generated to find the effect of the speed of the fluid with the pressure which occurs in water cap nozzle when the boiler is operated. Then there is a testing phase in the form of macro and micro observations of the nozzle cap water was performed. The testing is done by observation spectrometer, test metallography, test micro-hardness, and scanning electron microscopy (SEM). Finally,

the nozzle failure analysis is carried out based on the observations that have been made.

From the results of the study, the failure was occurred in the form of erosion and cracks. Erosion caused by the fluid flow carrying the substance impurities (coal and limestone) that flows in the water nozzle cap and the skin friction, causing the surface depletion. Cracks occurred due to the impact between the fuel with size large and the surface water nozzle cap. From spectrometer and SEM testing, the composition of chemicals that different the material of stainless steel 316L with Stainless steel 316L. In metallographic observations, there are austenite, ferritic, and carbide phases. From the hardness testing, the value of hardness is higher than the hardness of material standard because of the carbide occurred in the material object test.

**Said Key : nozzle , CFB , microstructure, stainless steel type 316L**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus di penuhi sebelum untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Keberhasilan penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini tidak lepas juga dari berbagai pihak yang telah memberikan bantuan baik moral maupun material. Untuk itu penulis ingin menyampaikn ucapan terimakasih kepada:

- Ayah dan Mama tercinta, **Muslih** dan **Betty Hendrawati**, sebagai motivator, mentor segala hal, dan sponsor utama selama perkuliahan. Terimakasih telah mengajari dan membimbing dalam sisi duniawi dan rohani. Mohon maaf atas semua kesalahan yang pernah Yusuf buat.
- Kak Annisa dan Dek Nadila, sebagai pengingat penulis jika penulis melakukan kesalahan
- Bapak **Suwarno S.T., M.Sc, Ph.D**, selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih atas segala saran dan bimbingan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dan memberikan arahan untuk melanjutkan kehidupan pasca perkuliahan.
- Bapak **Putu Suwarta S.T, MSC**. Bapak **Indra Sidharta.,ST.,MSC**, dan Bapak **Fahmi Mubarok, S.T, M.Sc, Ph.D** selaku dosen penguji tugas akhir yang telah

banyak memberikan saran untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.

- Kepada yang terbaik dan terpintar **Putri Nabila Auliya**, terimakasih dukungan dan motivasinya selama pengerjaan tugas akhir ini.
- Kepada seluruh anggota keluarga **M59**, terimakasih atas segala dukungan, lelucon, dan hiburan. Semoga kita semua selalu berbahagia.
- Taman bermain bersama **Laboratorium Metalurgi** dengan segala fasilitasnya untuk mengerjakan tugas akhir ini.
- Kepada seluruh staff dan karyawan **Departemen Teknik Mesin** terimakasih atas jasanya di kampus tercinta. Semoga sukses

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pengertian Boiler dan Nozzle .....	7
2.3 Circulating Fluidized Bed (CFB) .....	10
2.3.1 Pembakaran Pada CFB Boiler .....	12
2.3.2 Perpindahan Panas .....	14
2.4 Desain Nozzle CFB .....	16
2.5 Gaya Yang Terdapat Pada Nozzle (CFB) Boiler.....	19
2.6 Stainless Steel.....	20



2.7 Austenitic Stainless Steel 316L.....	21
2.8 Erosi .....	23
2.9 Fatigue.....	24
2.10 Failure Analisis.....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Spesifikasi dan Gambar Teknik <i>Air cap Nozzle</i> .....	27
3.2 Flowchart Grinding Material.....	32
3.3 Fishbone Diagram .....	34
3.4 Peralatan Penelitian .....	35
3.4.1 Kamera .....	35
3.4.2 Penggaris dan Jangka Sorong.....	35
3.4.3 Mesin Pemotong Material .....	35
3.4.4 Mesin Grinding dan Polishing.....	35
3.4.5 Perangkat Etching.....	36
3.4.6 Mikroskop .....	36
3.4.7 Mesin Scanning Electron Microscope.....	37
3.5 Langkah-Langkah Penelitian.....	37
3.5.1 Studi Literatur.....	37
3.5.2 Identifikasi Masalah .....	37
3.5.3 Observasi .....	38
3.5.4 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	38
3.5.5 Pengamatan Visual Oleh Peneliti .....	38

3.5.7 Pembuatan 3D Modeling dan Melakukan Simulasi Ansys Fluent.....	38
3.5.8 Pemotongan Material.....	39
3.5.9 Penghalusan Material .....	39
3.5.10 Etsa .....	39
3.5.11 Pengujian Spectrometer .....	40
3.5.12 Pengujian Metalografi .....	40
3.5.13 Pengujian Kekerasan .....	40
3.5.14 Pengujian Scanning Electron Microscopy .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1 <i>Cause and Effect Diagram (Fishbone Diagram)</i> .....	43
4.2 Analisa Visual dan Pengukuran Dimensi Benda Uji.....	44
4.3 Pengamatan Makroskopis.....	46
4.4 Pengamatan Komposisi Kimia (Spektrometer) .....	48
4.4.1 Hasil Pengamatan Spektrometer.....	48
4.4.2 Pembahasan Spektrometer.....	50
4.5 Pengujian Metalografi .....	51
4.5.1 Hasil Pengujian Metalografi .....	51
4.5.2 Pembahasan Metalografi .....	54
4.6 Pengujian <i>Micro Hardness</i> .....	56
4.6.1 Hasil Pengujian Hardness .....	57
4.6.2 Analisa pengujian Hardness.....	58
4.7 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	59

4.7.1 Hasil Scanning Electron Microscopy.....	60
4.7.2 Analisa Scanning Electron Microscopy .....	63
4.8 Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	63
4.8.1 Simulasi dan Analisa Faktor Kecepatan .....	65
4.8.2 Simulasi dan Analisa Faktor Tekanan .....	67
4.8.3 Simulasi dan Analisa Kontur <i>Skin Friction Coefficient</i> .....	69
4.8.4 Analisa dan Pembahasan <i>Computational Fluid Dynamic</i> .....	70
4.9 Analisa dan Pembahasan .....	72
4.9.1 Analisa kegagalan Erosi .....	72
4.9.2 Analisa Kegagalan Retak ( <i>Crack</i> ).....	76
4.9.3 Analisa Material .....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
LAMPIRAN .....	85
APENDIX A .....	85
DAFTAR PUSTAKA .....	87
BIODATA PENULIS .....	89

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1 Air cap Nozzle yang mengalami failure di furnace .....</b>	<b>1</b>
<b>Gambar 2. 1 Kegagalan pada aircap .....</b>	<b>5</b>
<b>Gambar 2. 2 Hasil pengujian SEM .....</b>	<b>6</b>
<b>Gambar 2. 3 Skema CFB Boilers .....</b>	<b>8</b>
<b>Gambar 2. 4 Air Cap Nozzle .....</b>	<b>9</b>
<b>Gambar 2. 5 Desain Nozzle Tipe Bell .....</b>	<b>9</b>
<b>Gambar 2. 6 Circulating Fluidized Bed Boilers.....</b>	<b>11</b>
<b>Gambar 2. 7 Skema Circulation Fluidized Bed Combustion</b>	<b>12</b>
<b>Gambar 2. 8 Komponen perpindahan panas dan profil konsentrasi bed material.....</b>	<b>14</b>
<b>Gambar 2. 9 Material Nozzle (CFB) Boiler tererosi .....</b>	<b>23</b>
<b>Gambar 2. 10 Contoh benda yang mengalami Fatigue.....</b>	<b>24</b>
<b>Gambar 2. 11 Fishbone Diagrams.....</b>	<b>26</b>
<b>Gambar 3. 1 Desain Air Cap Nozzle .....</b>	<b>27</b>
<b>Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian .....</b>	<b>30</b>
<b>Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> simulasi.....</b>	<b>31</b>
<b>Gambar 3. 4 Rencana Pemotongan Material.....</b>	<b>32</b>
<b>Gambar 3. 5 Flowchart Cara Grinding.....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 3. 6 Fishbones Diagram .....</b>	<b>34</b>
<b>Gambar 3. 7 Mesin Metkon Gripo 300-1V Grinder &amp; Polisher .....</b>	<b>36</b>
<b>Gambar 3. 8 Mesin Olympus Stereo Microscope .....</b>	<b>37</b>
<b>Gambar 4. 1 Fishbone Diagrams.....</b>	<b>43</b>
<b>Gambar 4. 2 Material Air cap nozzle sebelum dipotong .....</b>	<b>44</b>
<b>Gambar 4. 3 Semua Potongan spesimen Air Cap Nozzle .....</b>	<b>46</b>
<b>Gambar 4. 4 Gambar erosi dan retakan benda uji .....</b>	<b>47</b>

<b>Gambar 4. 5 Potongan specimen yang digunakan untuk pengamatan komposisi kimia .....</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 4. 6 Spesimen yang digunakan untuk pengujian Metalografi.....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 4. 7 Hasil pengamatan metalografi dari masing-masing titik tinjauan .....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 4. 8 Gambar Microstructure standard stainless steel 316L .....</b>	<b>52</b>
<b>Gambar 4. 9 Hasil Metalografi dengan perbesaran 200x.....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar 4. 10 Hasil Metalografi dengan perbesaran 50x.....</b>	<b>54</b>
<b>Gambar 4. 11 Hasil Metalografi dengan perbesaran 100x....</b>	<b>54</b>
<b>Gambar 4. 12 Presipitasi Karbida-krom.....</b>	<b>55</b>
<b>Gambar 4. 13 Potongan specimen untuk pengujian kekerasan .....</b>	<b>57</b>
<b>Gambar 4. 14 Hasil Struktur mikro dengan SEM.....</b>	<b>60</b>
<b>Gambar 4. 15 Area pengujian pada struktur mikro (SEM)..</b>	<b>61</b>
<b>Gambar 4. 16 Grafik nilai unsur-unsur menggunakan SEM61</b>	
<b>Gambar 4. 17 Permodelan dari Air Cap Nozzle.....</b>	<b>64</b>
<b>Gambar 4. 18 hasil simulasi dengan faktor kecepatan .....</b>	<b>66</b>
<b>Gambar 4. 19 Hasil simulasi dengan faktor tekanan.....</b>	<b>67</b>
<b>Gambar 4. 20 Hasil simulasi parameter tekanan dengan permodelan 3D.....</b>	<b>68</b>
<b>Gambar 4. 21 Hasil simulasi meninjau Skin Friction Coefficient dengan permodelan 3D.....</b>	<b>69</b>
<b>Gambar 4. 22 Erosi pada Air cap nozzle.....</b>	<b>72</b>
<b>Gambar 4. 23 Erosi pada bagian luar Air cap nozzle .....</b>	<b>73</b>
<b>Gambar 4. 24 Pengikisan pada sisi dalam Air cap nozzle .....</b>	<b>74</b>
<b>Gambar 4. 25 Penempatan Air cap nozzle yang tidak seluruhnya simetris .....</b>	<b>75</b>
<b>Gambar 4. 26 Fracture Surface .....</b>	<b>76</b>
<b>Gambar 4. 27 Crack initiation &amp; beach mark.....</b>	<b>77</b>

<b>Gambar 4. 28 Crack initiation .....</b>	<b>77</b>
<b>Gambar 4. 29 Foto inspeksi air cap nozzle.....</b>	<b>78</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	<b>Persentase Kandungan Mineral Pada Stainless Steel type 310 .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabel 4. 1</b>	<b>Tabel dimensi material Air Cap Nozzle.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabel 4. 2</b>	<b>Tabel hasil pengamatan komposisi kimia material Air Cap Nozzle.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabel 4. 3</b>	<b>Tabel hasil pengujian kekerasan .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabel 4. 4</b>	<b>Tabel unsur penyusun Area 1.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabel 4. 5</b>	<b>Tabel unsur penyusun Area 2.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabel 4. 6</b>	<b>Tabel unsur penyusun Area 3.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabel 4. 7</b>	<b>Paramater simulasi dari Air Cap Nozzle.....</b>	<b>65</b>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang seporos dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO untuk start up awal. Dalam pengoperasiannya terdapat beberapa komponen yang tidak beroperasi secara tidak maksimal yaitu terjadinya kegagalan, salah satunya pada komponen Nozzle pada boiler di primary air.

Nozzle adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat keluar (atau memasuki) sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah nozzle sering berbentuk pipa atau tabung. Dalam pengoperasiannya, sebuah nozzle dialiri oleh fluida panas. Hal ini dapat memungkinkan nozzle mengalami *failure* pada air cap. Failure yang mungkin terjadi bisa diakibatkan oleh beberapa faktor seperti Erosi, Abrasi, Kesalahan desain, dan tata letak serta temperatur yang ekstrim.



**Gambar 1. 1** Air cap Nozzle yang mengalami failure di *furnace*

Pada kasus ini fokus tertuju pada penelitian menganalisa kegagalan material pada *circulating fluidized bed* (CFB) pada komponen *air cap nozzle*. Pada gambar 1.1 adalah contoh komponen dari *air cap nozzle* mengalami failure, pada umumnya kegagalan yang terjadi pada *air cap* adalah Penyumbatan, pengikisan permukaan dan retak. Tujuan dari analisa ini untuk mengetahui mekanisme kegagalan pada *air cap nozzle* dan menghasilkan rekomendasi agar failure dapat di minimalisir untuk meningkatkan efisiensi pada PLTU.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penyebab terjadinya kegagalan pada *Nozzle Circulating Fluidized Bed Boiler*?
2. Bagaimana proses mekanisme terjadinya kegagalan pada *Nozzle Circulating Fluidized Bed Boiler*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui penyebab terjadinya kegagalan yang terjadi pada *Nozzle Circulating Fluidized Bed Boiler*.
2. Mengetahui proses mekanisme kegagalan yang terjadi pada *Nozzle Circulating Fluidized Bed Boiler*.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang muncul dalam penelitian ini dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Desain awal yang digunakan sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
2. Fluida kerja menggunakan fluida udara.
3. Pemilihan material dianggap sama menggunakan ss type 316L.

4. Fluida merupakan incompressible flow.
5. Aliran steady flow.
6. Kondisi fluida uniform pada aliran sisi free stream inlet.
7. Memiliki mach number 0,174927 dengan membagi kecepatan fluida dengan kecepatan udara .

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik untuk berbagai kalangan. Adapun manfaat yang bisa diberikan yaitu sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui kegagalan apa saja yang dapat terjadi apabila menggunakan nozzle cfb boiler.
2. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan masukan kepada engineer yang menggunakan nozzle cfb boiler mengenai desain yang dibuat dan pertimbangan menggunakan *stainless steel* type 316L.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi peneliti.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi pada tugas akhir ini ialah:

- Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhong Huang, Lei Deng , dan Defu Che yang berjudul *Experimental and CFD Simulation Studies on Bell-Type Air Nozzles of CFB Boilers*, digunakan *air cap nozzle type bell* untuk dianalisis keagalannya. Pada *air cap nozzle* didapatkan kerusakan structural berupa abrasi , *blockage*, patahan pada pipa dalam dan perubahan ketahanan yang tidak menentu pada nozzle CFB. Seperti yang dapat terlihat pada gambar berikut :



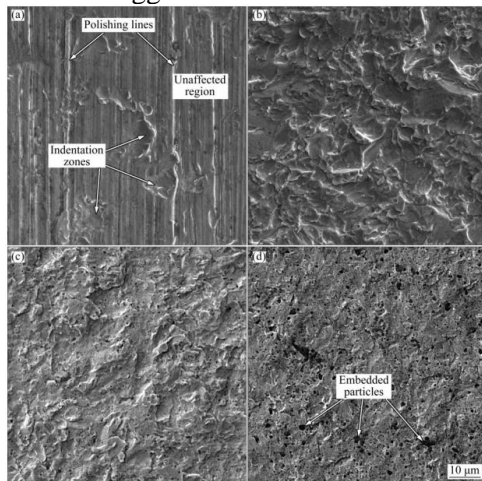
**Gambar 2. 1 Kegagalan pada *aircap***

Sumber : (Huang, Deng, & Che, 2019)

Pada gambar tersebut terlihat kerusakan pada nozzle. Pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan CFD sehingga diketahui besar tekanan yang didapat komponen nozzle di setiap titikny. Setelah dilakukan analisis terhadap komponen, didapatkan bahwa kegagalan berasal dari perbedaan tekanan dalam nozzle sehingga

membuat terjadinya abrasi pada lubang cover (orifice) dan dinding dalam cover.

- Pada penelitian yang dilakukan oleh Morteza Abedini dan Hamid M. Ghasem dengan judul “*Erosion and erosion-corrosion of Al-brass alloy: Effects of jet velocity, sand concentration, and impingement angle on surface roughness*” dilakukan pengujian pada material Al-brass alloy. Pada material yang memiliki komposisi Cu-19,2% Zn-2,3% Al-0,1% diuji dengan menyemprotkan aliran dengan kecepatan tinggi (jet) dengan variasi kecepatan, konsentrasi fluida jet, dan sudut impingement tertentu. Setelahnya dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dimana electron ditembakkan ke permukaan benda uji untuk mengetahui kekerasan dan untuk mengetahui kandungan material menggunakan SEM-EDX.

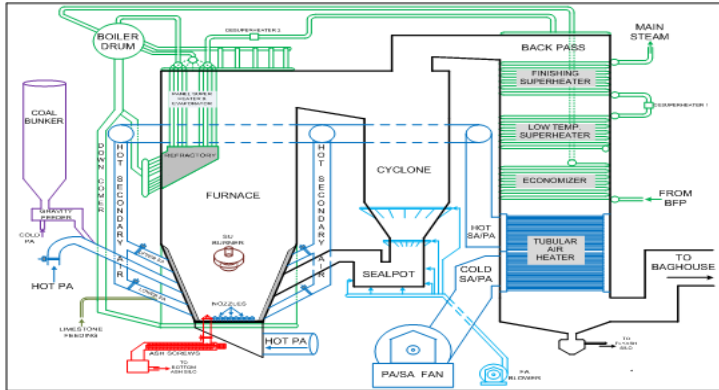


**Gambar 2. 2 Hasil pengujian SEM**  
(Abedini, 2017)

Gambar di atas merupakan hasil pengujian SEM yang dilakukan. Setelah dilakukan pengujian diketahui bahwa material mengalami erosi di permukaan yang dikenai aliran jet dengan kekasaran yang berbeda sesuai dengan kecepatan dan konsentrasi fluida jet yang dialirkan. Diketahui bahwa rata-rata kekasaran sampel meningkat dengan meningkatnya kecepatan jet dan meningkatnya konsentrasi fluida jet, serta sudut impingement. Juga diketahui komposisi Cu, Zn, Al, O, dan Si pada setiap test pengujian dimana semakin besar sudut impingemen dan konsentrasi fluida maka kandungan Cu semakin berkurang. Namun Kandungan Si semakin bertambah, sedangkan Zn, Al, dan O mengalami kenaikan dan penurunan kandungan.

## **2.2 Pengertian Boiler dan Nozzle**

Boiler merupakan mesin kalor (thermal engineering) yang menransfer energi –energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988:28). Boiler atau ketel steam adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin 200:13). Boiler mengubah energi –energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu Furnace (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas dan Steam Drum yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam(energi panas).



**Gambar 2. 3 Skema CFB Boilers**

Sumber: (etsusim)

Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklasifikasikan ketel steam tergantung kepada sudut pandang masing – masing (Muin 1998 :8).

*Boiler* atau biasa disebut ketel uap merupakan salah satu komponen utama dalam proses pembangkitan listrik. Khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *boiler* merupakan alat penukar kalor yang dapat menghasilkan uap pada kondisi *temperature* dan tekanan tinggi (*superheated steam*). Proses perubahan fase dari cair menjadi uap ini memanfaatkan energi panas hasil pembakaran bahan bakar pada *furnace boiler*. Terdapat beberapa tipe dari boiler yang digunakan pada PLTU, salah satunya yaitu *boiler* jenis *Circulating Fluidized Bed (CFB)*.

Nozzle adalah perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat keluar (atau memasuki) sebuah ruang tertutup atau pipa. nozzle sering disebut pipa atau tabung dari berbagai luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran



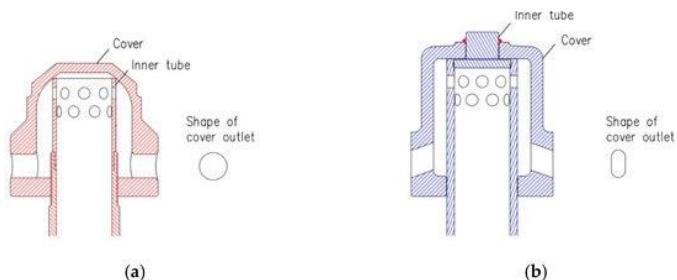
fluida (cairan atau gas). Nozel sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan tekanan dari aliran yang muncul.



**Gambar 2. 4 Air Cap Nozzle**

Sumber: (casting, 2017)

Komponen dari nozzle contohnya nozzle tipe *bell* memiliki *cover* dan *inner tube* dimana pada *cover* dan *inner tube* masing-masing memiliki outlet berupa *orifice*. Material yang dapat digunakan sebagai nozzle dapat berupa stainless steel. Adapun struktur dari nozzle dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut:



**Gambar 2. 5 Desain Nozzle Tipe Bell**

Sumber: (Huang, Deng, & Che, 2019)

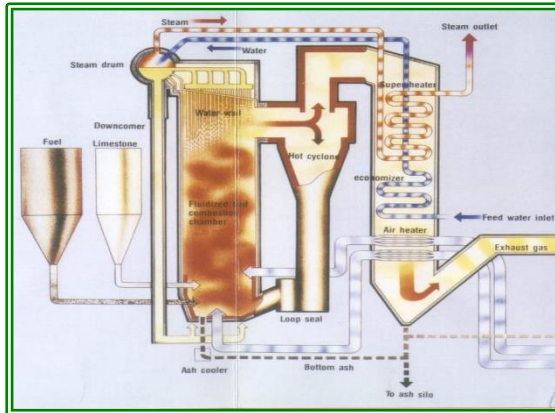
Pada gambar diatas terlihat ada 2 tipe dari *bell Air Nozzle* yaitu gambar 2.2(a) merupakan tipe desain tradisional, dan gambar 2.2(b) tipe desain yang terbaru. Nozzle dibentuk dengan struktur sedemikian rupa guna untuk mengendalikan karakteristik *pressure drop* yang terjadi pada nozzle tersebut. Ketika *primary air* dialirkan pada pipa nozzle dengan kecepatan tertentu, udara tersebut akan keluar melalui orifice. Pada orifice tersebut terjadi perubahan karakteristik pada tekanan dan kecepatan udara dimana, *primary air* yang keluar dari pipa memiliki tekanan yang lebih rendah dari pada udara yang masuk pada pipa nozzle, akibat efek dari *pressure drop*, sehingga udara memiliki karakter tekanan yang sesuai. Dikarenakan outlet dari cover berukuran relative lebih besar daripada outlet pipa, sehingga kecepatan pada outlet cover relative lebih lambat dan menyebabkan pengurangan abrasi pada air nozzle.

Dalam pengoperasiannya, *primary air nozzle* memungkinkan terjadinya *failure* yang akan merugikan karena dapat mempengaruhi kondisi pembakaran yang terjadi pada boiler. Untuk itu perlu dianalisa kemungkinan penyebab terjadinya *failure* pada nozzle. Penyebab terjadinya *failure* bisa diakibatkan oleh sisi eksternal dari nozzle (sekeliling nozzle) dan sisi internal dari nozzle (aliran fluida didalam nozzle).

### **2.3 Circulating Fluidized Bed (CFB)**

Pengertian dari CFB (*circulating fluidized boiler*), Diartikan dari perkata *Circulating* adalah Terjadinya sirkulasi batu bara yang belum habis terbakar dari *Furnace* ke *Cyclone* kemudian masuk ke *Sealpot* dan kembali ke *Furnace*. *Fluidized* adalah Penghambusan udara primer untuk menjaga material bed dan batu bara tetap melayang didalam *furnace*. Dan *BED* adalah Material material berupa partikel partikel kecil ( pasir kuarsa, bottom ash ) yang biasa digunakan sebagai media awal transfer panas dari pembakarn HSB ke

pembakaran batu bara Udara primer yang digunakan pada proses fluidized dihasilkan dari primary air dan yang dihembuskan kedalam windbox melalui nozzle. Hal ini akan membantu pencampuran udara dan bahan bakar agar dihasilkan pembakaran yang sempurna.



**Gambar 2. 6 Circulating Fluidized Bed Boilers**

Konsep dasar dari boiler CFB adalah boiler stoker ( unggun fluidisasi ) dimana batu bara dibakar diatas rantai berjalan dan diberi hembusan udara dari sisi bawah sehingga batu bara membara diatas rantai berjalan tersebut. setelah dilakukan repowering dan redesigning maka didapatkan lah boiler dengan type CFB.

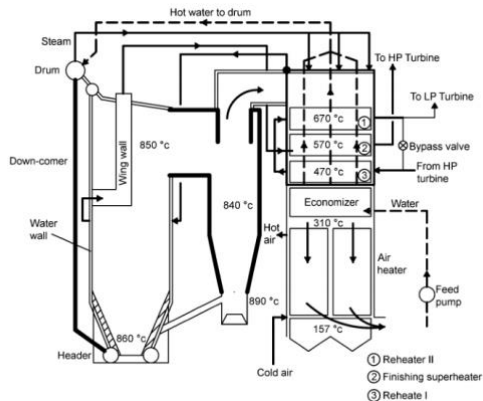
Circulating Fluidized Bed Combustion(CFBC), sebagai alternatif dari Pulverised Coal Combustion (PCC), merupakan proses pembakaran dimana batubara dan udara dicampur dengan batu kapur untuk mendapatkan reaksi kimia dan perpindahan panas yang lebih optimal. Pada fluidized-bed combustor, proses pembakaran berlangsung pada saat campuran bahan bakar, sorbent, dan partikel fuel ash bergabung dengan primary air membentuk aliran turbulen. Gas yang melingkupi material padat pada ruang

bakar tersebut memungkinkan karakteristik melayang pada ruang bakar.

Circulating Fluid Bed (CFB) menggunakan kecepatan yang lebih tinggi dan ukuran partikel yang relatif lebih kecil (halus) dengan konsentrasi solid kurang seragam dan terdifusi bervariasi terhadap ketinggian ruang bakar sehingga banyak partikel yang terbawa flue gas.

### 2.3.1 Pembakaran Pada CFB Boiler

Pembakaran di circulating fluidized bed boiler biasanya menggunakan SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> yang rendah. Dalam proses pembakaran, bahan bakar dibakar pada furnace (tungku) yang berisi bed material (material pembentuk bed yang bersifat inert). Udara pembakaran membuat proses fluidisasi. Dengan kondisi panas fluidisasi campuran bahan bakar dan bed material akan lebih mudah terbakar. Bahan bakar yang biasa digunakan seperti coal dan limestone



**Gambar 2. 7 Skema Circulation Fluidized Bed Combustion**

Sumber: (Tarmazi, 2017)

Pada gambar diatas dapat dilihat skema dari pembangkit listrik CFBC dimana dapat terlihat bagian-bagian dan juga temperature rata-rata dari boiler CFB. Proses pembakaran pada CFBC boiler memiliki temperatur yang berkisar  $800^{\circ}\text{C}$ –  $900^{\circ}\text{C}$ , jauh dimana temperatur kerja PCC boiler yang berkisar  $1300^{\circ}\text{C}$  –  $1700^{\circ}\text{C}$ . Hal ini membuat emisi  $\text{NO}_x$  dapat berkurang. Sulfur pada batubara sebagian besar

diperangkap oleh batu kapur, yaitu sekitar 90% sampai 95%  $\text{SO}_2$  dapat direduksi pada proses pembakaran. Dengan rendahnya temperatur pembakaran ini, ash fouling dan korosi pada permukaan membuat pembakaran pada CFBC boiler akan lebih kompleks dan lebih sulit dilakukan dibandingkan PCC boiler. Walaupun pembakaran pada CFBC boiler memiliki temperatur operasi yang tergolong rendah, partikel panas yang terus bersikulasi membuat perpindahan panas lebih efisien serta waktu tunggu dari pembakaran dan reaksi kimia dari batubara dapat berkurang.

Bed material yang digunakan adalah jenis material yang inert (tidak bereaksi terhadap pembakaran dan mampu mempertahankan kandungan panas) biasanya dipilih pasir, alumina, atau juga bottom ash (abu berat) hasil dari pembakaran batubara. Limestone (batu kapur) berfungsi sebagai pembentuk bed material dan juga sebagai sorbent (pengikat sulfur). Temperatur pembakaran dijaga sekitar  $850^{\circ}\text{C}$  untuk mengurangi emisi  $\text{NO}_x$ . Dengan temperatur tersebut efisiensi pembakaran akan tercapai dengan residence time (waktu tinggal) bahan bakar di ruang bakar lebih lama.

### 2.3.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang pada Boiler Fluidized Bed terdiri dari tiga mekanisme yang terjadi bersamaan yaitu konveksi gas, radiasi, dan partikel konveksi. Koefisien perpindahan panas menjadi.

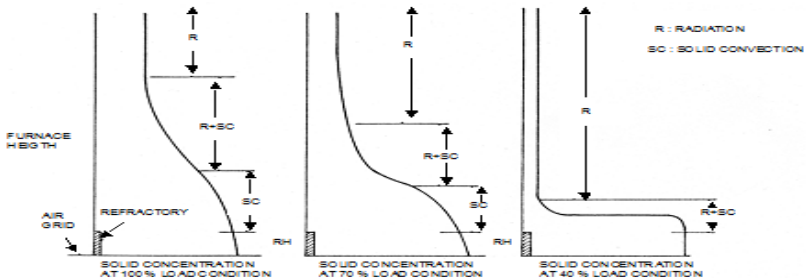
$$H_o = H_{gc} + H_{rad} + H_{pc} \quad (2.1)$$

$H_o$  = total koefisien perpindahan panas

$H_{gc}$  = koefisien konveksi gas (0 – 2 Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F)

$H_{rad}$  = koefisien radiasi partikel dan gas (8 – 12 Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F)

$H_{pc}$  = koefisien konveksi partikel (30 – 50 Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F)



**Gambar 2. 8 Komponen perpindahan panas dan profil konsentrasi bed material**

Pada sistem CFB boiler, bahan bakar batu bara (coal) yang telah dihancurkan dan limestone diumpankan secara mekanik atau pneumatik ke bagian bawah ruang bakar melalui coal feeder (berfungsi untuk mengatur jumlah aliran bahan bakar) ke saluran yang terdapat pada dinding depan. Udara primer (primary air PA) dialirkan ke bagian bawah melewati nozzle-nozzle sebagai distributor udara untuk

membentuk proses fluidisasi. Udara sekunder (secondary air SA) diumpangkan melalui saluran udara yang biasanya terdiri dari dua atau tiga level elevasi pada bagian bawah ruang bakar. Udara primer juga dialirkan melewati saluran batu bara untuk membantu pemasukan bahan bakar. Limestone diinjeksi melalui saluran udara sekunder pada elevasi yang lebih rendah. Udara yang memasuki ruang bakar sudah dipanaskan di air heater. Berikut merupakan skema dari sistem CFB boiler:

Pembakaran terjadi pada ruang bakar yang diisi dengan bed material. Flue gas an solid meninggalkan ruang bakar dan memasuki satu atau lebih cyclone dimana solid akan dipisahkan dan jatuh menuju sealpot. Dari sealpot solid akan dikembalikan ke ruang bakar sebagai bed material dengan bantuan udara dari FA blower yang melewati nozzle-nozzle di sealpot

Temperatur solid bed diusahakan seragam dan dijaga pada level yang optimum untuk proses pengikatan sulfur dan efisiensi pembakaran. Flue gas yang meninggalkan cyclone akan melewati convective backpass yang terdiri dari superheater, economizer, dan air heater. Burner berfungsi memanaskan solid bed material pada waktu start-up. Setelah temperatur untuk pembakaran batubara tercapai maka coal feeder dioperasikan dan burner mulai dikurangi perlahan sampai burner distop sesuai dengan prosedur operasi.

Ash screw berfungsi untuk mengeluarkan solid bed material. Peralatan ini dilengkapi dengan air pendingin untuk menjaga temperatur material. Pengeluaran solid bed ini dilakukan untuk mengendalikan kuantitas dan kualitas solid bed material. Flue gas dialirkan melewati baghouse yang

berfungsi untuk memisahkan fly ash. Fly ash tersebut dipisahkan di dua lokasi. Yang pertama di air heater dan yang kedua di baghouse. Pada CFB boiler biasanya dilengkapi dengan wingwall tube (superheater dan evaporator) untuk meningkatkan efisiensi transfer panas. Daerah kritis dimana tingkat abrasi yang tinggi dilapisi dengan refraktori untuk mencegah percepatan kerusakan material tube.

## 2.4 Desain Nozzle CFB

Dalam mendesain CFB Boiler khususnya pada bagian nozzle, perlu diketahui besarnya *grid pressure drop* yang terjadi pada ruang bakar boiler. Pada bagian bawah *furnace* dimana partikel *solid* yang berasal dari *Sealpot* memasuki ruang *furnace* menghasilkan kondisi aliran fluida yang *turbulent*. Perhitungan *pressure drop* yang melewati *furnace* dengan ketinggian  $H$  dapat ditunjukkan dalam persamaan:

$$\Delta P_{tb} = \rho_p(1 - \varepsilon)H_t g \quad (2.2)$$

dimana:

$\Delta P_{tb}$  : perbedaan tekanan pada sepanjang turbulen bed (N/m<sup>2</sup>)

$\rho_p$  : massa jenis gas pada bed

$\varepsilon$  : pecahan void (0,8)

$H_t$  : tinggi turbulen bed diatas pada keluaran pipa *loop seal* (m)

Sedangkan menggunakan persamaan lain untuk menghitung besar *pressure drop* pada *packed bed* terhadap partikel berukuran uniform dapat dihubungkan dengan persamaan Ergun mengenai :

$$\Delta P = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu U}{(\phi d_p)^2} L \quad (2.3)$$

$$+ 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) \rho_g U^2}{\varepsilon^3 \phi d_p} L$$



dimana :

- $\Delta P$  : *pressure drop packed beds*
- $\varepsilon$  : pecahan *void*
- $\mu$  : viskositas dinamis
- $\phi d_p$  : diameter bola yang setara dengan *pack*
- $U$  : kecepatan gas superficial
- $\rho_g$  : massa jenis fluida
- $L$  : panjang *bed* (bukan kolom)

Setelah diketahui *pressure drop* dari *bubbling bed*, kemudian dicari nilai *grid pressure drop*, dimana nilai tersebut merupakan *pressure drop* yang terdistribusi 0.2-0.4 kali lebih kecil daripada  $\Delta P_b$ . Hal ini dikarenakan *grid plate* pada CFB beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi. Persamaan berikut dapat bekerja baik pada seluruh desain *bubbling fluidized bed* dan juga bisa diaplikasikan pada *Circulating Fluidized Bed Boilers*:

$$\Delta P_{dist} \approx (0.15 - 0.4)\Delta P_b \quad (2.4)$$

Dimana  $\Delta P_{dist}$  merupakan *pressure drop* sepanjang distribusi *fast bed* yang tergantung terhadap kecepatan gas, dimana untuk plate berpori  $\Delta P_{dist} \sim U$  dan untuk nozzle tipe grid berpori  $\Delta P_{dist} \sim U^2$ .

Setelah diketahui *grid pressure drop*, kita dapat mendesain bagian nozzle. Kecepatan gas yang melalui orifice berhubungan dengan *pressure drop* sepanjang *grid* yang dapat dirumuskan sebagai :

$$U_o = C_D \left[ \frac{2\Delta P_{dist}}{\rho_{gor}} \right]^{0,5} \quad (2.5)$$

Dimana :

- $U_o$  : kecepatan gas yang melewati orifice
- $C_D$  : koefisien drag orifice
- $\Delta P_{dist}$  : *pressure drop* sepanjang pelat distribusi

(N/m<sup>2</sup>)

$\rho_{gor}$  : massa jenis gas (kg/m<sup>3</sup>)

Menurut Zenk (1981) menentukan bahwa nilai  $C_D$  yang tepat adalah 0.8 untuk koefisien orifice. Sedangkan untuk plate yang tipis ( $t/d_{or} > 0.09$ ), dapat digunakan relasi  $C_D = 0.82(1/d_{or})^{0.13}$ .

Setelah diketahui nilai kecepatan gas yang melewati orifice, maka didapat jumlah orifice yang digunakan dengan diameter  $d_o$  pada nilai pitch tertentu dapat dirumuskan sebagai:

$$N = \frac{2}{\sqrt{3}P^2}, \text{ untuk triangular pitch}$$

$$N = \frac{2}{P^2}, \text{ untuk pitch persegi}$$

Untuk multi-orifice nozzle seperti pada tipe nozzle bubble cap, sejumlah orifice,  $n$ , yang memiliki diameter  $d_o$  dan drill mengelilingi nozzle yang berdiameter  $d_n$ . Diameter nozzle dipilih berdasarkan nilai yang lebih besar daripada area perpotongan orifice untuk meyakinkan hambatan fluida yang melalui orifice lebih mendominasi daripada melewati nozzle:

$$n \frac{\pi}{4} d_o^2 < \frac{\pi}{4} d_n^2 \quad (2.6)$$

Pada desain yang lebih modern, digunakan ukuran diameter nozzle bagian dalam  $d_n$  lebih kecil daripada diameter  $d_o$ . Sehingga kecepatan fluida yang masuk pada nozzle lebih tinggi daripada yang keluar nozzle. Hal ini membantu mengurangi erosi pada keluaran nozzle.

Jumlah nozzle  $N_n$  berdasarkan jumlah orifice ada bed  $n_t$  ialah:

$$N_n = \frac{n_t}{n} \quad (2.7)$$

Sedangkan jumlah nozzle berdasarkan bentuk geometris dengan nilai pitch tetap  $P_n$ , adalah:

$$N_n = \frac{2}{\sqrt{3}P_n^2} \text{ untuk triangular pitch}$$

$$N_n = \frac{2}{P_n^2} \text{ untuk pitch persegi.}$$

Sehingga menggunakan persamaan tersebut, dapat diatur jumlah orifice, diameter orifice, bahkan rasio nilai orifice terhadap nozzle. Kemudian nilai pich nozzle  $P_n$  harus cukup besar untuk mengakomodasi dimensi fisik dari nozzle.

## 2.5 Gaya Yang Terdapat Pada Nozzle (CFB) Boiler

Dalam pengoperasian boiler khususnya pada nozzle boiler digunakan hukum *Bernoulli*. Hukum *Bernoulli* mencakup pada konsep dasar fluida bahwa kecepatan aliran zat atau gas akan berpengaruh pada tekanan zat cair atau gas tersebut. Hal tersebut ada dikarenakan adanya perubahan pada nilai energy yang terdapat pada sistem tersebut. Adapun rumus dasar Bernoulli yang dinyatakan dalam satuan energy per volume (tekanan) dan digunakan pada nozzle adalah:

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.8)$$

Dimana :

$p_1$  : tekanan (Pa)

$\rho$  : massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$z_1, z_2$  : ketinggian titik ukur pada

ketinggian 1,2 (m)

$V$  : kecepatan fluida

Ketika persamaan diatas dibagi dengan berat jenis fluidanya, maka didapat nilai energy per berat fluida dalam satuan jarak seperti yang dapat dilihat persamaan dibawah:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{1}{2g} V_1^2 = h_{total} \text{ (m)} \quad (2.9)$$

Dimana  $\gamma = \rho g$  merupakan berat jenis (N/m<sup>3</sup>),  $\frac{p}{\gamma}$  merupakan *pressure head* ( $z$ ) merupakan *elevation head*,  $\frac{v}{2g}$  merupakan *velocity head*.

Fluida yang mengalir pada *furnace* boiler merupakan fluida yang disebut *primary air* dimana fluida tersebut masuk

kedalam nozzle dan dialirkan ke *furnace* melewati *orifice* dan menghembuskan *bed material*. Hal ini menyebabkan adanya energi kinetik yang terjadi pada nozzle. Adanya aliran fluida menyebabkan terjadinya gaya drag aerodinamis yang dapat dilihat melalui persamaan:

$$F_a = C_d E_k A_r = 0.125 C_d \rho_{gw} U_w^2 \pi d_{32}^2 \quad (2.10)$$

Dimana             $F_a$ = gaya aerodinamis  
                       $C_d$ = koefisien drag  
                       $A_r$ = luas inlet  
                       $\rho$  = massa jenis  
                       $U$  = kecepatan fluida

## 2.6 Stainless Steel

*Stainless steel* merupakan baja yang membutuhkan ketahanan korosi dan panas yang tinggi. Paduan utama dalam *stainless steel* untuk meningkatkan ketahanan baja terhadap korosi adalah kromium (Cr) dan nikel (Ni). Pada nozzle di CFB Boiler pada umumnya menggunakan stainless steel type 300. Alloy 316L adalah stainless steel non-magnetik, yang austenitiknya tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

*Stainless Steel* merupakan salah satu material yang mempunyai ketahanan terhadap korosi dengan membentuk lapisan oksida yang stabil dan melekat pada permukaan. Stainless steel dapat dimanipulasi dan dibuat menggunakan berbagai teknik rekayasa umum tersedia dan sepenuhnya “didaur ulang” diakhir masa pakainya.

Pada pemakaian stainless steel mempunyai banyak keunggulan dan manfaatnya diantaranya :

1. Mudah dibersihkan sehingga banyak digunakan pada alat yang berhubungan dengan kesehatan.
2. Ketahanan korosi tinggi, *stainless steel* memiliki ketahanan korosi tinggi di atmosfer maupun didalam lingkungan air.

3. Kemampuan yang tinggi untuk diproses pengerjaan dingin (*cold working*).
4. Mudah fabrikasi, dengan pembuatan modern pada baja *stainless steel* dapat mudah di las, dipotong maupun dibentuk.

### **2.7 Austenitic Stainless Steel 316L**

*Austenitic Stainless Steel* Adalah baja stainless yang biasa disebut seri 300, dan paling sering digunakan. Ini adalah baja yang mengandung campuran 18% krom dan 8% nikel, terkadang juga mangan dan nitrogen. Stainless jenis ini sangat tahan terhadap korosi, dan mudah di bentuk menjadi lembaran tipis. Austenetic stainless sangat tahan asam, dan mampu bertahan di suhu rendah dan tinggi. Biasanya, digunakan sebagai peralatan makanan, wastafel dapur, dan peralatan kimia.

Adanya kandungan nikel bertujuan agar fasa *austenite* dapat stabil sampai temperatur ruang. Sedangkan kandungan kromium berpengaruh pada ketahanan korosi *stainless steel*, dimana kromium berfungsi untuk meningkatkan kestabilan oksida pada permukaan. Semakin tinggi kromium, maka ketahanan korosi semakin baik. Hal ini membuat *austenitic stainless steel* memiliki sifat tahan korosi yang paling baik dibandingkan dengan baja tahan karat *martensitic* dan *ferritic*.

**Tabel 2. 1 Persentase Kandungan Mineral Pada *Stainless Steel type 316L***  
 Sumber: (Metal U. P.)

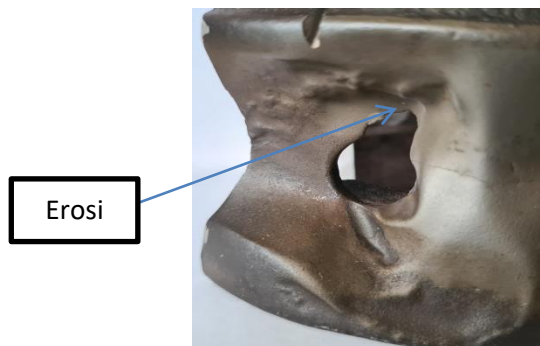
	<b>316</b>	<b>316L</b>	<b>317</b>	<b>317L</b>
Carbon	0.08	0.03	0.08	0.03
Manganese	2.00	2.00	2.00	2.00
Silicon	0.75	0.75	0.75	0.75
Chromium	16.00	16.00	18.00	18.00
	18.00	18.00	20.00	20.00
Nickel	10.00	10.00	11.00	11.00
	14.00	14.00	15.00	15.00
Molybdenum	2.00	2.00	3.00	3.00
	3.00	3.00	4.00	4.00
Phosphorus	0.045	0.045	0.045	0.045
Sulfur	0.030	0.030	0.030	0.030
Nitrogen	0.10	0.10	0.10	0.10
Iron	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

*Austenitic stainless steel* merupakan alloy yang berperan sebagai nonmagnetik dalam kondisi annealed namun dapat menjadi magnetik saat diberi perlakuan coldworking dan banyak digunakan sebagai material pada pembangkit dikarenakan memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Jenis *austenitic stainless steel* salah satu yang digunakan adalah *stainless steel 316L*.

Penambahan sulfur pada stainless steel tipe ini bertujuan untuk membantu mengurangi drag pada proses machining dan *Stainless steel 316L* dibuat dengan kadar karbon rendah untuk menaikkan ketahanan korosi. pada umumnya tipe ini sering digunakan pada industri aerospace parts, Fittings, Pump and Valve Components Screw Machine Products, dan beberapa pembangkit.

## 2.8 Erosi

Erosi adalah peristiwa pengikisan padatan (sedimen, tanah, batuan, dan partikel lainnya), Erosi merupakan salah satu masalah penyebab kegagalan material, baik pada equipment maupun sistem pembangkit yang ada di dunia industri. Erosi merupakan proses alami yang mudah dikenali, namun di kebanyakan titik kejadian ini diperparah oleh aktivitas manusia.



**Gambar 2. 9 Material Nozzle (CFB) Boiler tererosi**

Erosi tidak hanya terjadi pada peristiwa alam saja seperti abarasi, gletser, korasi, dan peristiwa alam lainya namun peristiwa erosi sendiri dapat terjadi pada perindustrian, khususnya benda benda yang sering bergesekan atau bersentuhan yang secara terus menerus dengan fluida dan menyebabkan elektrolisis pada material. Seperti yang dapat terlihat pada gambar 2.6 dimana erosi terjadi pada material nozzle. Banyak factor yang dapat mempengaruhi terjadinya erosi salah satunya seperti tumbukan antara permukaan dengan material solid atau fluida pada kecepatan tertentu.

## 2.9 Fatigue

Definisi Kelelahan (Fatigue), merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang (cyclic stress) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastiknya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan ini. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya



**Gambar 2. 10 Contoh benda yang mengalami Fatigue**

Sumber: (ARRCA, 2016)



Faktor faktor itu ialah pertama disebabkan oleh adanya retakan pada material yang biasanya disebut dengan crack initiation , lalu dilanjutkan dengan adanya penjalaran retakan atau crack propagation dan terakhir patah akhir atau patah statis dari akibat penampang yang tersisa tidak mampu untuk menerima beban lagi

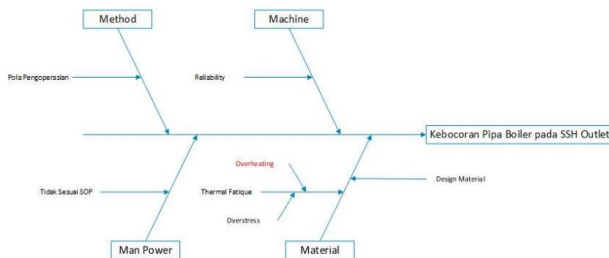
Umur lelah biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus tegangan yang dicapai sampai spesimen atau komponen patah. Dengan demikian umur total tersebut telah mencakup pula tahap awal retakan dan penjalaran retakan yang bila telah cukup jauh penjalarnya akan menyebabkan patah menjadi dua. Selain itu data kelelahan lain yang penting adalah laju penjalaran retakan (crack growth rate). Laju penjalaran retakan inilah yang datanya dapat dipakai untuk memperkirakan umur lelah.

## **2.10 Failure Analisis**

*Failure Analysis* (Analisa Kegagalan) adalah suatu kegiatan yang ditujukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang bersifat spesifik dari peralatan utama, peralatan pendukung, dan perlengkapan instalasi pabrik. Jenis Failure Analysis pada material dapat berupa patahan, retakan, atau korosi. Kegagalan tersebut bisa berasal dari tahap manufaktur, pembuatan, perakitan, atau pengoperasian yang tidak sesuai dengan desain. Dengan demikian diperlukan analisa kerusakan yang komprehensif yang bisa dimanfaatkan sebagai umpan balik dalam perbaikan desain, material, perlakuan panas, dan sebagainya terhadap sistem atau komponen.

Analisa kerusakan merupakan salah satu teknik analisa yang saat ini berkembang. Tujuan analisa ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik dari peralatan, perlengkapan, proses dan material baku yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan tidak terulang. Untuk jangka

pendek diharapkan dapat memperbaiki design dan memperbaiki proses serta metoda fabrikasi, sedangkan untuk jangka panjangnya dapat dipakai pengembangan material dan sebagai metoda mutakhir untuk evaluasi dan memprediksi performance material serta untuk memperbaiki sistem pemeliharaan. Kegagalan bisa disebabkan oleh beberapa faktor yaitu seleksi material, desain, proses manufaktur dan kondisi pemakaian dan servis peralatan. Salah satu metoda analisis kegagalan pada material dapat menggunakan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) dimana analisis menggunakan *fishbone diagram* untuk menentukan faktor penyebab terjadinya kegagalan pada suatu sistem atau komponen. Diagram *fishbone* dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2. 11 Fishbone Diagrams**

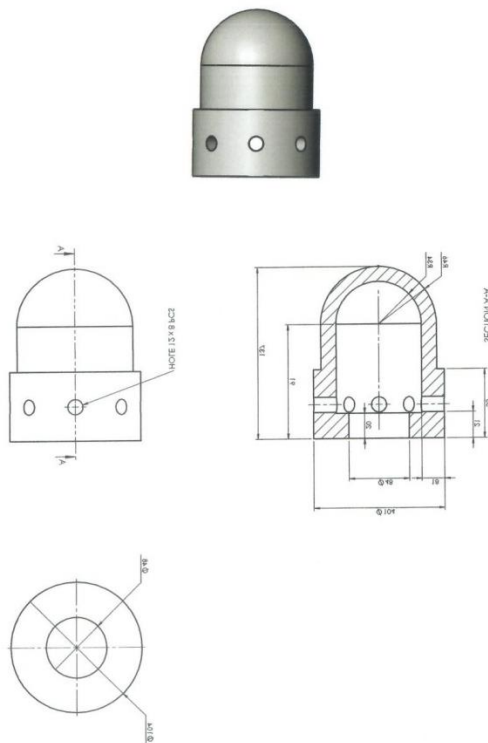
Sumber: (Aini, Widiawaty, & Nusyirwan, 2017)

Gambar 2.11 merupakan contoh *fishbone diagrams*. Pada penelitian terdahulu membahas kegagalan yang terjadi pada CFB Boiler dimana *air cap nozzle* mengalami kegagalan dan diuji menggunakan *Computational fluid dynamic*. Pada tugas akhir saya juga mengamati dengan adanya perubahan pada komposisi kimia dan mikrostruktur pada spesimen yang diuji, dimana juga mempengaruhi dari pertumbuhan failure.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Spesifikasi dan Gambar Teknik *Air cap Nozzle*

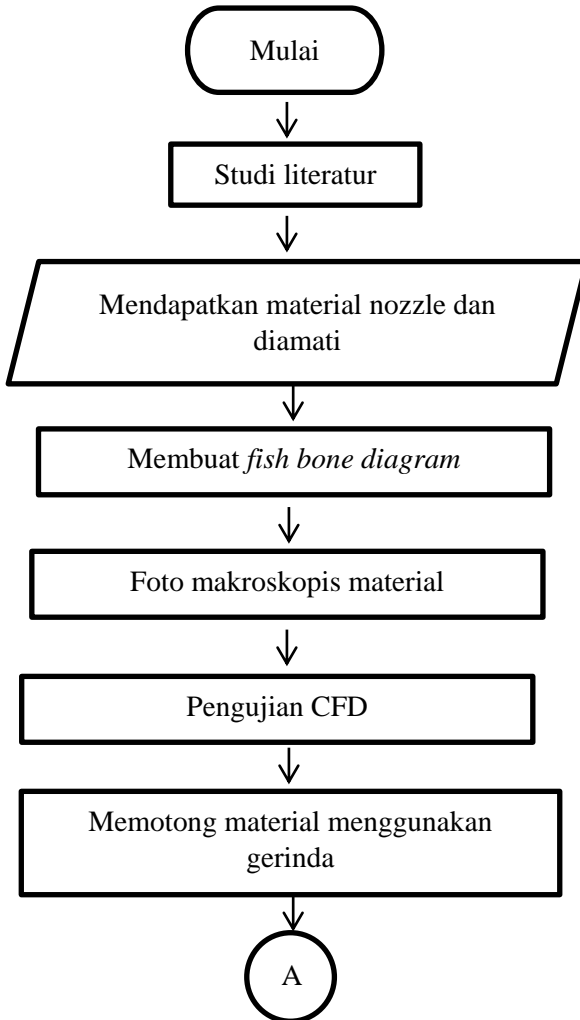
Pada penelitian ini, digunakan benda uji berupa *air cap nozzle* CFB Boiler. Pada komponen ini digunakan material *stainless steel* Tipe 316L. Adapun desain dari *aircap nozzle* dapat dilihat pada gambar berikut.

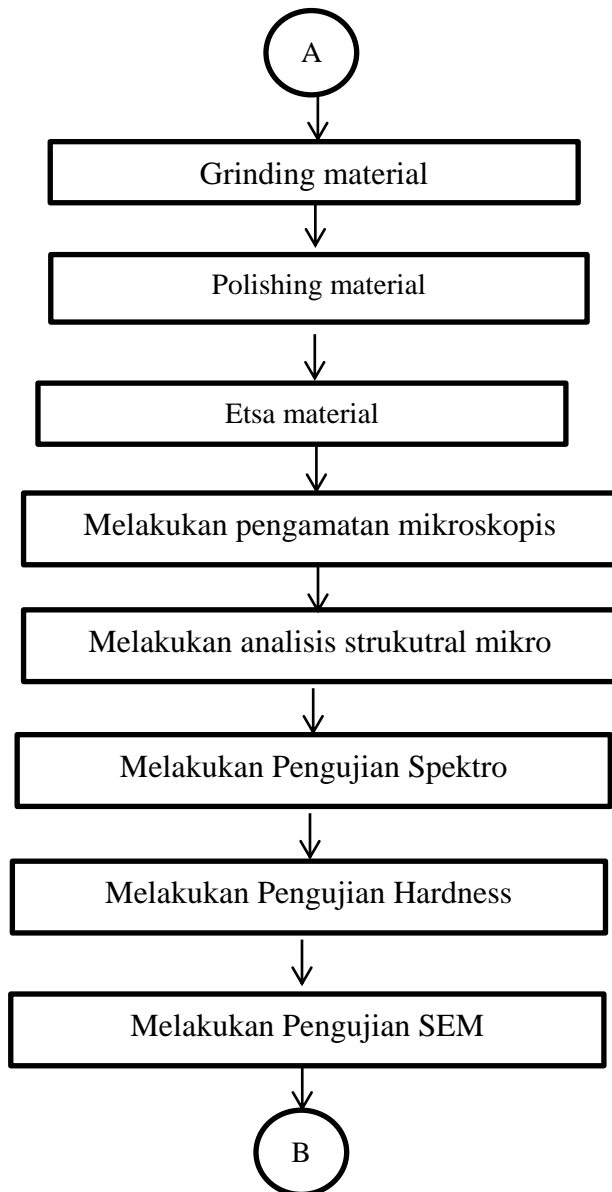


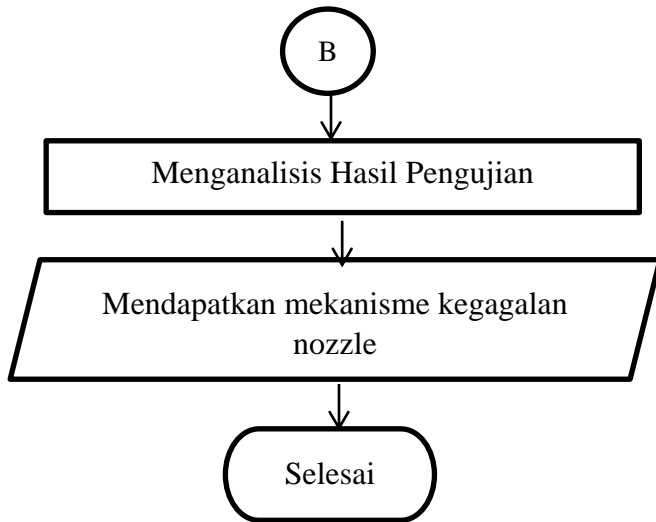
**Gambar 3. 1 Desain *Air Cap Nozzle***

### 3.2 Flowchart Penelitian dan Simulasi

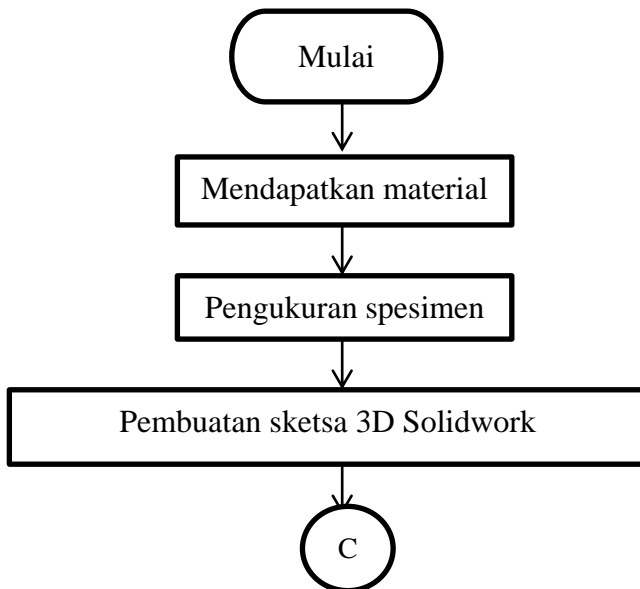
Berikut merupakan langkah-langkah penelitian tugas akhir berdasarkan metode analitik yang disajikan dalam bentuk *flowchart*.

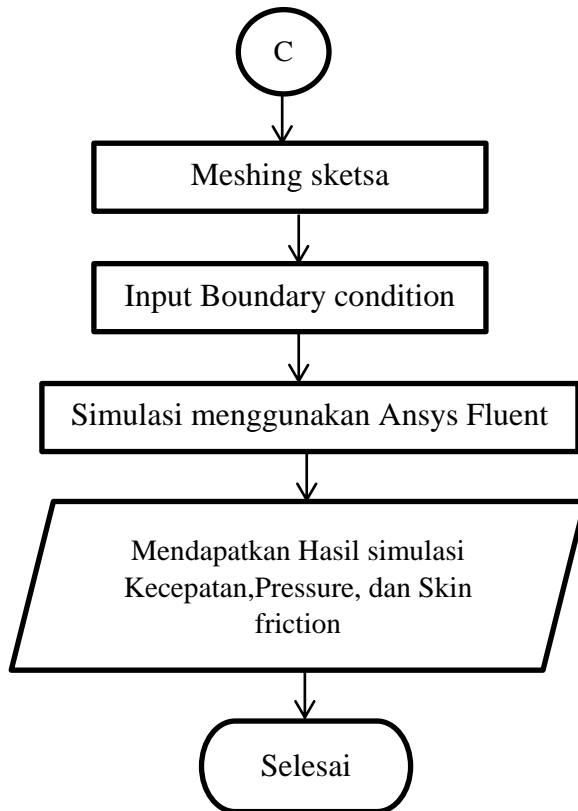






**Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian**





**Gambar 3. 3** *Flowchart* simulasi

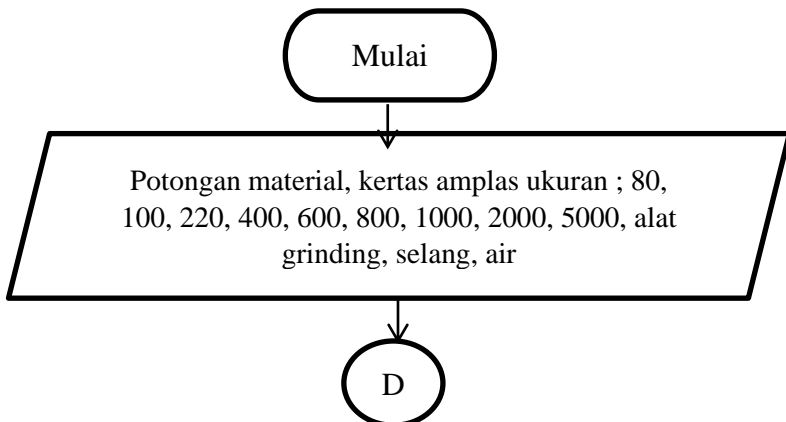


**Gambar 3. 4 Rencana Pemotongan Material**

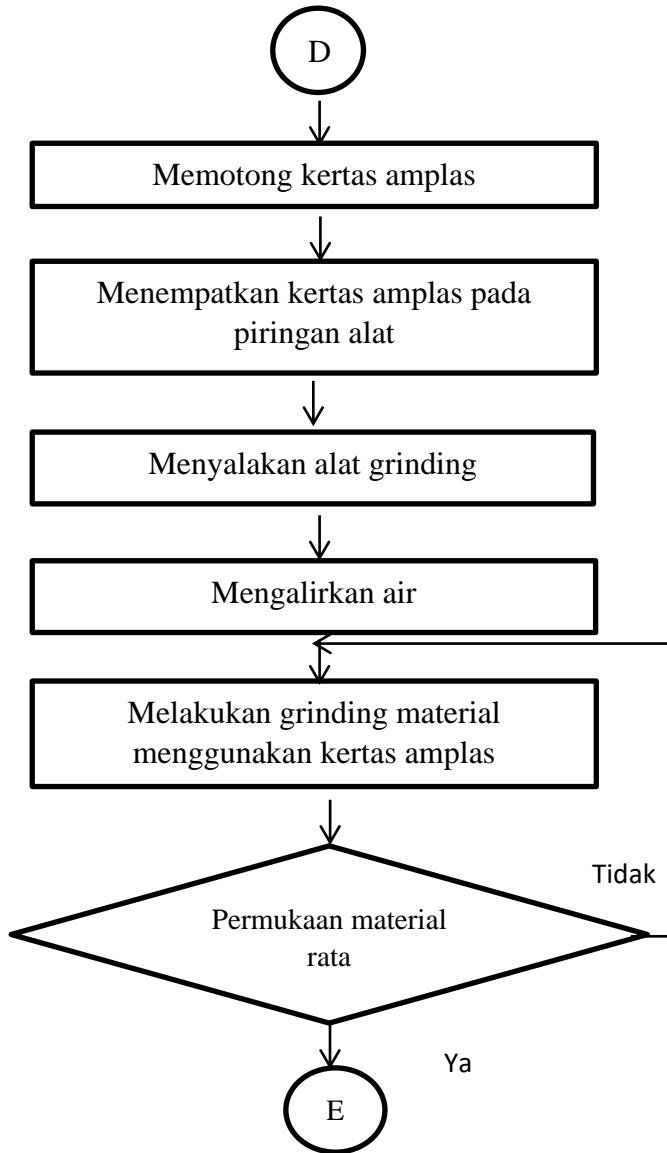
Pada gambar di atas terlihat empat daerah yang menjadi rencana pemotongan material. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan alat potong gerinda. Sehingga didapatkan potongan untuk masing-masing pengujian.

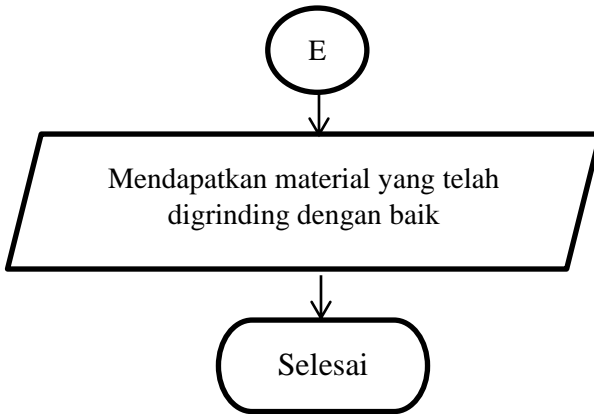
### 3.2 Flowchart Grinding Material

Berikut merupakan langkah-langkah untuk grinding material:





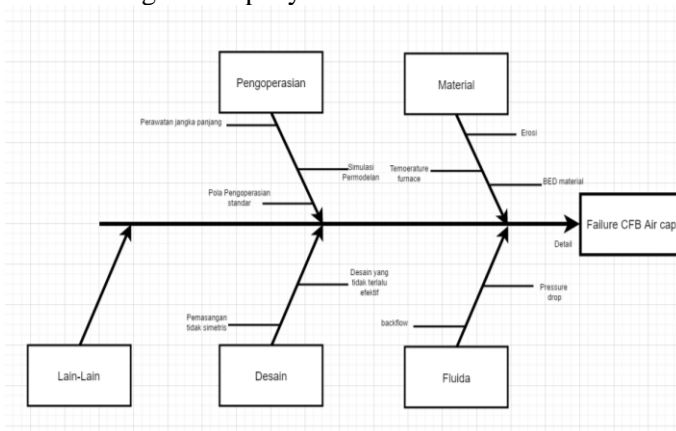




**Gambar 3. 5 Flowchart Cara Grinding**

**3.3 Fishbone Diagram**

Diagram tulang ikan atau fishbone diagram adalah salah satu metode untuk menganalisa penyebab dari sebuah masalah



**Gambar 3. 6 Fishbones Diagram**

### **3.4 Peralatan Penelitian**

Peralatan penelitian digunakan untuk mendukung peneliti mengumpulkan dan mengolah data. Berikut adalah peralatan–peralatan yang digunakan untuk penelitian ini:

#### **3.4.1 Kamera**

alat yang membantu untuk melakukan pengamatan visual yang dilakukan pada benda kerja dan juga untuk mendokumentasikan benda kerja.

#### **3.4.2 Penggaris dan Jangka Sorong**

Penggaris digunakan pada penelitian ini memiliki ketelitian 0,1 mm, sedangkan jangka sorong yang digunakan memiliki ketelitian 0,01 mm. Penggaris dan jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi panjang dan diameter dari material yang akan menjadi benda kerja serta mengukur dimensi lain yang dianggap perlu.

#### **3.4.3 Mesin Pemotong Material**

Spesimen uji dipotong dalam ukuran yang lebih kecil dengan menggunakan mesin *metal cut off saw*, tujuannya untuk mempermudah proses *grinding* dan *polishing* sebelum dilakukannya pengujian *metallography*.

#### **3.4.4 Mesin Grinding dan Polishing**

Mesin *grinding* dan *polishing* digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen dan membuat permukaan spesimen menjadi datar dengan menggunakan kertas gosok. Penelitian ini menggunakan mesin *grinding* dan *polishing* Metkon Gripo 300-1V *Grinder & Polisher* seperti pada gambar 3.6. Hasil dari mesin *grinding* dan *polishing*

adalah permukaan spesimen mengkilap dan tidak ada goresan bekas *grinding*.



**Gambar 3. 7 Mesin Metkon GriPO 300-1V *Grinder & Polisher***

### **3.4.5 Perangkat Etching**

Proses ini menggunakan larutan vilella secukupnya. Diperlukan gelas ukur, pipet, wadah kaca, pengering, dan aquades untuk menunjang proses etsa spesimen benda kerja.

### **3.4.6 Mikroskop**

Mikroskop merupakan salah satu instrumen optik yang digunakan untuk mendeteksi benda sangat kecil dan tidak terlihat langsung oleh mata. Mesin mikroskop yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Olympus Stereo Microscope* seperti pada gambar 3.3.



**Gambar 3. 8** Mesin *Olympus Stereo Microscope*

### **3.4.7 Mesin Scanning Electron Microscope**

Merupakan alat yang digunakan untuk melihat lapisan yang terdapat pada permukaan spesimen

## **3.5 Langkah-Langkah Penelitian**

Dalam melakukan penelitian ini, ada beberapa tahap pengerjaan :

### **3.5.1 Studi Literatur**

studi literatur bertujuan untuk memahami dan mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan boiler , nozzle , pembangkit , analisa material , dan yang bersangkutan dengan analisa kegagalan material pada nozzle (CFB) Boiler.

### **3.5.2 Identifikasi Masalah**

Setelah mendapatkan material (nozzle) dan telah melakukan studi literatur, peneliti memeriksa dan mengidentifikasi apa sajakah masalah yang ada dan mengidentifikasi penyebab masalah. Setelah teridentifikasi masalah yang ada, masalah tersebut dicatat dan diteliti lebih lanjut.

### **3.5.3 Observasi**

Observasi merupakan langkah langkah pengambilan dan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk penelitian analisa kegagalan material ini. Data data ini bertujuan untuk membantu perumusan masalah dan membuat tujuan analisa kegagalan pada penelitian terhadap nozzle (CFB) Boiler.

### **3.5.4 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian**

Perumusan masalah ini disertai dengan batasan masalah untuk memperjelas lingkup penelitian yang akan dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme kegagalan pada Nozzle (CFB) Boiler dan Mengetahui sifat material yang digunakan dari analisa mikrostrukturnya.

### **3.5.5 Pengamatan Visual Oleh Peneliti**

Pengamatan langsung oleh peneliti pada Nozzle (CFB) Boiler untuk menemukan kegagalan dan kerusakan pada Nozzle (CFB) Boiler dan titik kerusakan untuk diteliti lebih lanjut.

### **3.5.7 Pembuatan 3D Modeling dan Melakukan Simulasi Ansys Fluent**

Pembuatan Sketsa material dengan 3D menggunakan aplikasi solidwork untuk Memudahkan melakukan pengujian menggunakan Ansys fluent untuk mengetahui pengaruh pada material yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dan temperature disetiap titiknya.

### **3.5.8 Pemotongan Material**

Pemotongan spesimen nozzle (CFB) Boiler menjadi bagian bagian lebih kecil untuk mempermudah penelitian. Pemotongan pada material nozzle (CFB) Boiler menjadi 5 potongan dengan menggunakan mesin gerinda. Setelah dipotong akan diukur kembali semua dimensi pada potongan nozzle (CFB) Boiler.

### **3.5.9 Penghalusan Material**

Material nozzle (CFB) Boiler setelah dipotong belum mempunyai permukaan yang halus dan belum rata, penghalusan ini bertujuan untuk mempermudah penelitian dengan mengamati struktur mikro dan metalografi. Penghalusan dengan metode grinding dengan kertas amplas 80, 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 2000, dan 5000 dan di polishing untuk bertujuan mengkilatkan material.

### **3.5.10 Etsa**

Material nozzle (CFB) Boiler yang sudah di haluskan dan di polishing kemudian diberikan larutan vilella. Dimana larutan vilella memiliki kandungan 5 mL HCl + 1 gr picric acid+ 100 mL ethanol(ASTM E407, 2007).Diberikan nya larutan itu untuk bertujuan mempermudah jalanya penelitian dengan memperjelas struktur mikro agar terlihat pada mikroskop optik agar bisa dilihat struktur mikro pada potongan nozzle (CFB) Boiler.

### **3.5.11 Pengujian Spectrometer**

Pengujian Spectrometer bertujuan untuk mengetahui komposisi kimiawi lalu dibandingkan dengan komposisi kimia pada material aslinya. Dengan cara cahaya putih ditembakkan ke lensa kolimator. Cahaya kemudian diteruskan ke cermin prisma kemudian cahaya terurai menjadi spectrum optic dan bias mengukur panjang gelombang yang tercipta.

### **3.5.12 Pengujian Metalografi**

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material. sampel spesimen akan dilihat dengan mikroskop elektronik dengan perbesaran 100 hingga 500x untuk menganalisa mikro struktur. Hasil dari pengujian digunakan untuk menganalisa membandingkan struktur mikro pada beberapa titik di permukaan spesimen uji yang nantinya dapat diketahui pada titik mana yang paling besar perubahan struktur mikronya.

### **3.5.13 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekerasan yang berada pada titik yang kita inginkan. Dan juga bias unutk mendapatkan nilai-nilai kekerasan yang dirata rata kan di beberapa titik.



### **3.5.14 Pengujian Scanning Electron Microscopy**

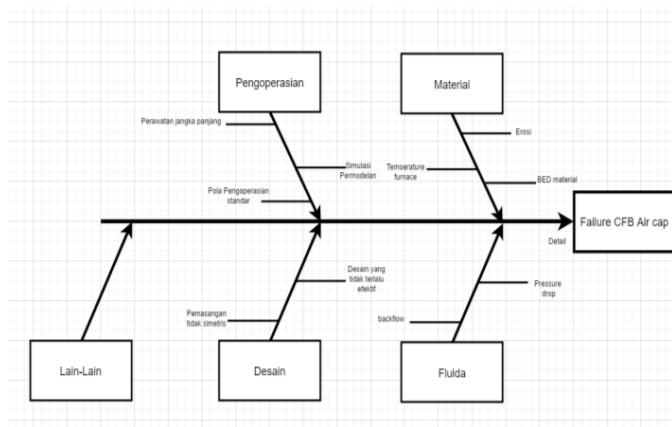
Pengujian Scanning Electron Microscopy adalah sebuah mikroskop electron yang didesain memiliki perbesaran yang jauh lebih besar dibandingkan mikroskop optik biasa. Fungsi utama SEM untuk mengetahui topografi, morfologi, dan komposisi pada material yang diuji.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Cause and Effect Diagram (Fishbone Diagram)

Cause and Effect Diagram atau Fishbone Diagram merupakan salah satu metode dari root cause failure analysis dengan membuat diagram yang seperti tulang ikan. Fishbone atau cause & effect diagram memiliki fungsi untuk mengelompokkan masalah-masalah yang terjadi dengan menambahkan beberapa sub factor pendukung untuk membuat sebuah fishbones diagrams, fishbone diagrams memiliki tujuan untuk mempermudah pengamatan agar failure dapat diminimalisir semaksimal mungkin.



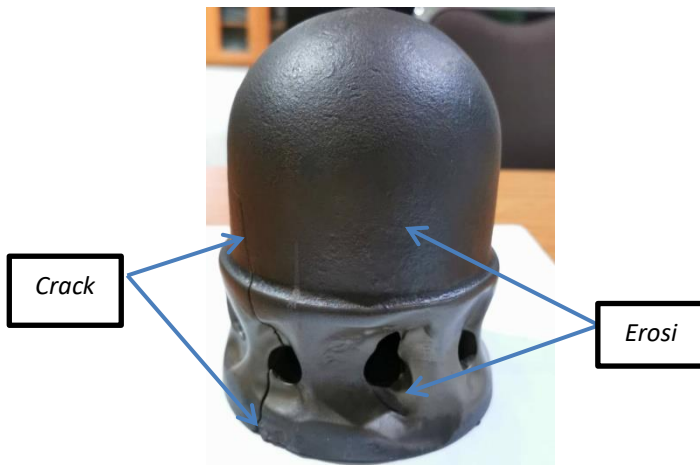
Gambar 4. 1 Fishbone Diagrams

Dari gambar 4.1 didapatkan bahwa terdapat masalah-masalah kedalam lima kelompok, yaitu dari segi material dengan dugaan diakibatkan erosi, pengaruh temperature terhadap material dan dari bed material sendiri. Dari segi pengoperasian diduga

dengan masalah akibat *maintenance*, tidak dilakukannya simulasi permodelan terlebih dahulu dan pola pengoperasiannya. Dari segi fluida diduga terjadi *backflow* dan *pressure drop*. Dari segi desain, kegagalan diduga terjadi karena adanya desain *air cap nozzle* yang tidak terlalu efektif dan dapat pemasangan yang tidak simetris yang berdampak pada kegagalan fluida. Pada segi lainnya, diduga adanya faktor yang mengakibatkan failure dari faktor lainya yang tidak diketahui oleh pengamat.

#### 4.2 Analisa Visual dan Pengukuran Dimensi Benda Uji

Pengamatan dilakukan pada material Air cap nozzle, material akan dipotong menjadi bagian-bagian untuk dilakukanya pengujian yang diperlukan. Potongan spesimen yang diambil merupakan potongan dekat dengan failure dan ada potongan yang cukup jauh dari titik failure.



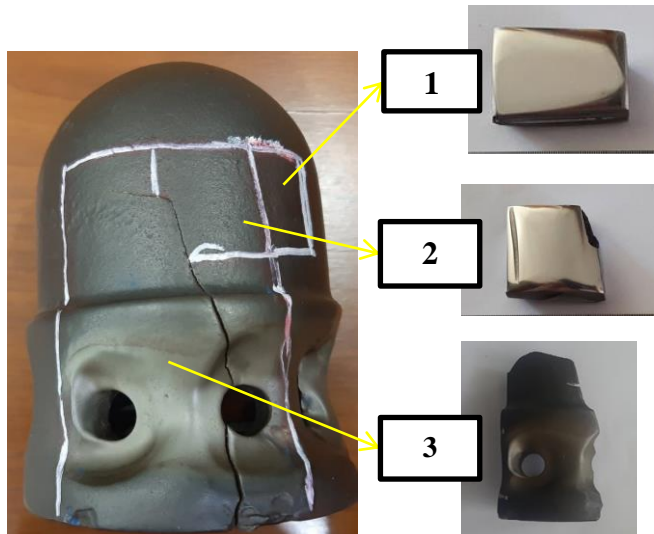
**Gambar 4. 2 Material Air cap nozzle sebelum dipotong**

**Material ini memiliki Dimensi:**

**Tabel 4. 1 Tabel dimensi material *Air Cap Nozzle***

<b>NO</b>	<b>Letak</b>	<b>Dimensi</b>
<b>1</b>	Ketebalan material	<b>27,785 mm</b>
<b>2</b>	Diameter luar material	<b>103,94 mm</b>
<b>3</b>	Diameter dalam	<b>48,37 mm</b>
<b>4</b>	Tinggi material	<b>135,78 mm</b>
<b>5</b>	Tinggi A	<b>56,19 mm</b>
<b>6</b>	Diameter atas	<b>92,25 mm</b>

Gambar diatas merupakan *Air cap nozzle* sebelum dipotong, disini dari visual terlihat bahwa *air cap nozzle* telah mengalami adanya *failure* berupa *crack* dan erosi yang diduga disebabkan oleh adanya *backflow* pada fluida kerja dan adanya gaya gesek secara kontiniu yang disebabkan oleh BED material. Material *air cap nozzle* akan dipotong dengan menggunakan mesin gerinda dan akan diuji *microstructure*, simulasi *Computational fluid dynamic* (CFD), pengujian *micro hardness*, pengujian komposisi kimia (spectrometer), dan pengujian *Scanning electron microscopy* (SEM). Adapun hasil potongan pada benda uji dapat dilihat pada gambar berikut.



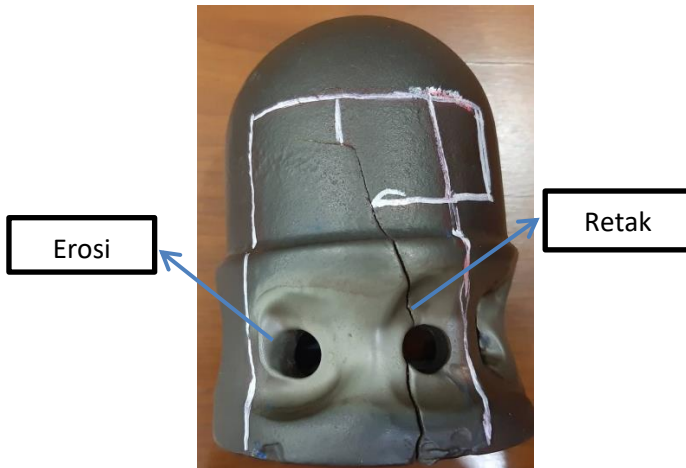
**Gambar 4. 3 Semua Potongan spesimen *Air Cap Nozzle***

Dari gambar tersebut, terdapat tiga potongan dari benda uji yang akan digunakan untuk serangkaian pengujian. Pada potongan pertama diambil bagian atas dari *air cap nozzle* tanpa dilewati retak, pada bagian kedua diambil sampel pada bagian atas *air cap nozzle* yang bersinggungan dengan keretakan, dan sampel ketiga diambil bagian bawah pada *air cap nozzle* yang terdapat keretakan pada permukaan.

#### **4.3 Pengamatan Makroskopis**

Analisa dilakukan dengan cara mengamati langsung tanpa menggunakan alat bantu apapun, pengamatan dilakukan pada bagian-bagian pada *air cap nozzle* yang diduga terjadi kegagalan. Berikut

merupakan penampakan secara makroskopis dari benda uji *air cap nozzle*.



**Gambar 4. 4 Gambar erosi dan retakan benda uji**

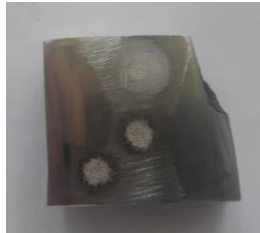
Dari gambar 4.4 dapat diamati bahwa benda uji mengalami beberapa kegagalan seperti erosi pada bagian sisi bawah, adanya crack pada material di bagian antara lubang orifice, dan adanya beberapa bagian yang sudah mengalami korosi. Erosi yang terbentuk membuat beberapa permukaan bisa mengalami penipisan pada permukaannya karena tergerus dari BED material maupun dari sisi fluidanya. Sedangkan retak diduga disebabkan karena adanya tumbukan dari bahan bakar yang berukuran besar yang mengenai permukaan *air cap nozzle*, dengan adanya *crack initiation* yang muncul dibagian bawah material terus menjalar hingga sisi bagian *orifice*.

#### 4.4 Pengamatan Komposisi Kimia (Spektrometer)

Untuk mengetahui komposisi kimia dengan menggunakan alat spectrometer harus memiliki potongan spesimen yang memiliki kontur permukaan yang datar dan tidak begitu halus. Potongan material diratakan terlebih dahulu permukaannya dengan menggunakan mesin grinding dengan nilai kertas grid 80, 100, 220, dan 400 hingga permukaan potongan spesimen yang akan diuji hingga rata permukaannya. Setelah dilakukan perataan permukaan material, spesimen dikeringkan dan siap untuk dilakukan pengujian komposisi kimia dengan spectrometer.

##### 4.4.1 Hasil Pengamatan Spektrometer

Spektrometer adalah sebuah alat untuk melakukan pengujian untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada spesimen *Air cap nozzle*. Adapun spesimen yang digunakan untuk melakukan pengamatan spektrometer adalah sebagai berikut.



**Gambar 4. 5 Potongan specimen yang digunakan untuk pengamatan komposisi kimia**

Gambar diatas merupakan spesimen material *stainless steel* tipe 316L berupa *austenitic steel* yang telah dilakukan pengamatan dengan menggunakan Spektrometer di PT Barata. Gambar diatas merupakan spesimen yang dimana potongan tersebut dekat bagian failure.



**Tabel 4. 2 Tabel hasil pengamatan komposisi kimia material *Air Cap Nozzle***

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
Rata-Rata	0.35	1.51	1.73	0.32	0.01	4.26	26.57

	<b>Mo</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>	<b>Pb</b>	<b>Al</b>	<b>Co</b>
Rata-rata	0.026	0.065	0.02	0.001	0.166	0.115

	<b>W</b>	<b>V</b>	<b>Nb</b>	<b>N</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>
Rata-rata	0.026	0.041	0.01	0.074	0.001	4.05

Dari tabel 4.2, didapatkan nilai komposisi karbon sebesar 0.35, silikon sebesar 1.51, mangan sebesar 1.73, phosphor 0.32, nikel 4.26, krom 26.57, molybdenum 0.026, titanium 0.02, timbal 0.001, aluminium 0.166, kobalt 0.115, vanadium 0.041, dan besi 4.05. Setelah didapatkan komposisi kimia material air cap nozzle dengan bantuan alat spectrometer, terlihat komposisi kimia di potongan spesimen terlihat memiliki persentase yang lebih tinggi di beberapa komposisi dibandingkan dengan persentase pada stainless steel tipe 316L standar. Dengan nilai karbon pada potongan 0.35 dimana lebih besar dibandingkan dengan stainless steel tipe 316L standar AISI sebesar 0.03, perbedaan nilai krom sekitar 10 sampai 12 dari standar 16-18%, kadar silikon yang lebih besar 0,76 dari nilai standar, juga kandungan nikel yang lebih kecil sebesar 4.26 dibandingkan nilai standarnya yaitu 10-14.

#### 4.4.2 Pembahasan Spektrometer

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap material *air cap nozzle*, dimana material pembentuk nya adalah *stainless steel* dengan fasa austenit. Pengamatan Spektrometer bertujuan agar peneliti mengetahui adanya perubahan atau perbedaan komposisi kimia pada material *Air cap nozzle* yang sudah digunakan. Dari hasil pengamatan spektrometer didapatkan beberapa komposisi kimia yang nilainya berubah dan berbeda dengan komposisi standar *stainless steel* 316L seperti kadar karbon, nikel, silikon, dan chrom, dan lain sebagainya.

Dari hasil pengamatan, terdapat perbedaan nilai komposisi kimia pada spesimen *air cap nozzle* yang diperkirakan karena material tidak sesuai dengan desain *chemical propertiesnya*, material sudah digunakan lama atau akibat dari fluida, *BED material temperature*, tekanan, dan pengaruh lingkungan. Adanya perbedaan komposisi kimia pada nilai karbon diperkirakan adanya kesalahan fabrikasi dan juga kesalahan desain pada chemical properites.

Nilai yang didapat dari hasil spektrometer sebesar 0.35 sedangkan nilai karbon berdasarkan standar *Stainless steel* tipe 316L bernilai 0.03. Adanya perbedaan nilai karbon sebesar 0.32 diperkirakan karena kesalahan dari proses produksi material dikarenakan perbedaan nilai karbon yang sangat jauh, selain itu juga diperkirakan jika konsumen sengaja untuk menambahkan kadar karbon ataupun kadar krom.

## 4.5 Pengujian Metalografi

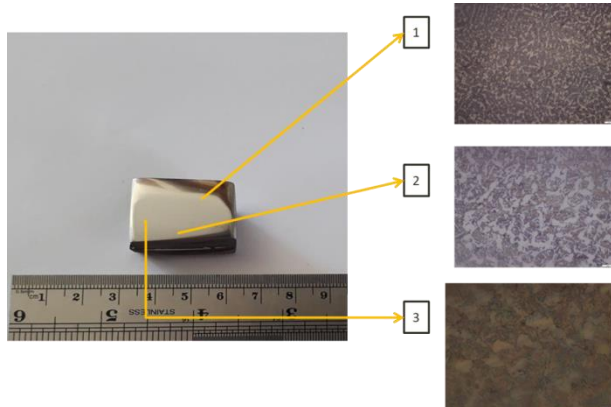
Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen *Air cap nozzle* yang menggunakan material stainless steel dengan tipe 300 dengan seri 316L yang merupakan *austenitic stainless steel*. Pengujian dilakukan pada spesimen dimana titik tersebut dekat dengan area terjadinya crack. Pengujian metalografi diawali dengan membersihkan terlebih dahulu agar kotoran yang menempel bisa hilang, lalu spesimen di grinding dengan urutan grid 80,100,220,400,600,800,1000,2000,dan 5000. Grinding material bertujuan untuk menghaluskan permukaan material dan untuk mempermudah terlihat struktur mikroskopis dari material.Setelah di grinding hingga grid 5000 lalu spesimen 1 di *polishing*, *polishing* merupakan proses untuk menciptakan permukaan yang halus dan mengkilap dengan menggosoknya atau menggunakan bantuan reaksi kimia. Material kemudian dilakukan proses etsa atau etching dengan metode vilella, material dicelupkan kedalam larutan vilella secukupnya kemudian dibiarkan 10-15 detik lalu dibilas dengan air yang mengalir,Setelah bersih dari larutan vilella kemudian material dikeringkan hingga benar benar kering. Material lalu dilihat dengan menggunakan Olympus mikroskopis optic dengan variasi perbesaran 50x,100x,dan 200x untuk mengamati struktur mikroskopis yang terbentuk.

### 4.5.1 Hasil Pengujian Metalografi

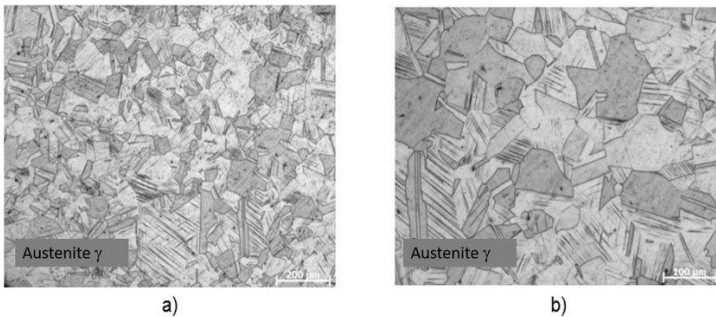
Pada pengujian metalografi, digunakan spesimen dengan tampak seperti berikut. Dimana material yang digunakan jauh dari failure. Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro.



**Gambar 4. 6** Spesimen yang digunakan untuk pengujian Metalografi

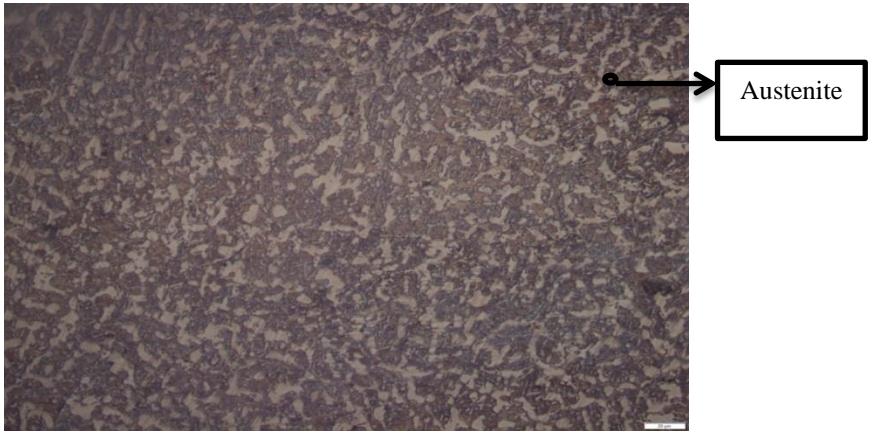


**Gambar 4. 7** Hasil pengamatan metalografi dari masing-masing titik tinjauan

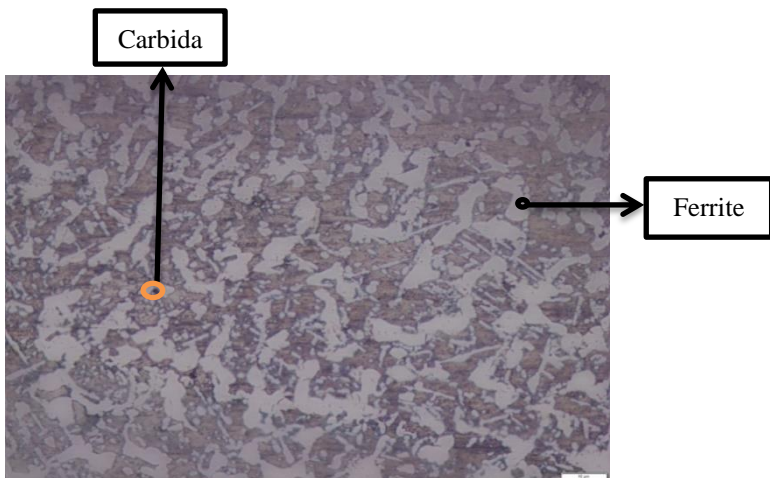


**Gambar 4. 8** Gambar Microstructure standard stainless steel 316L

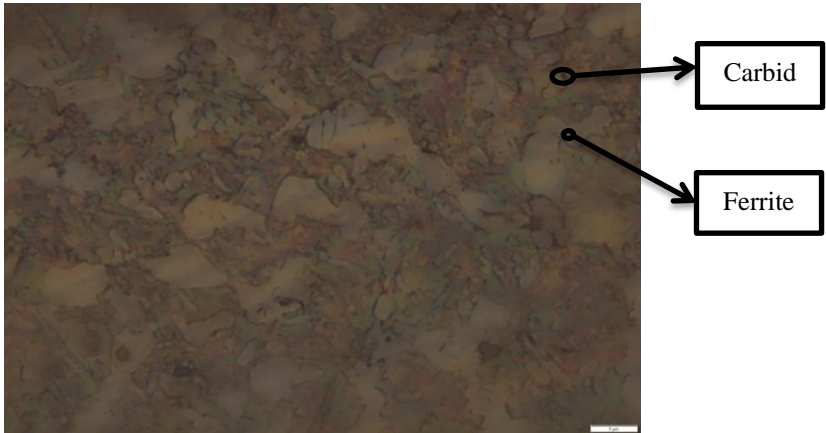
Sumber : (Naffakh & Shamannian, 2010)



**Gambar 4. 9 Hasil Metalografi dengan perbesaran 200x**



**Gambar 4. 10 Hasil Metalografi dengan perbesaran 50x**



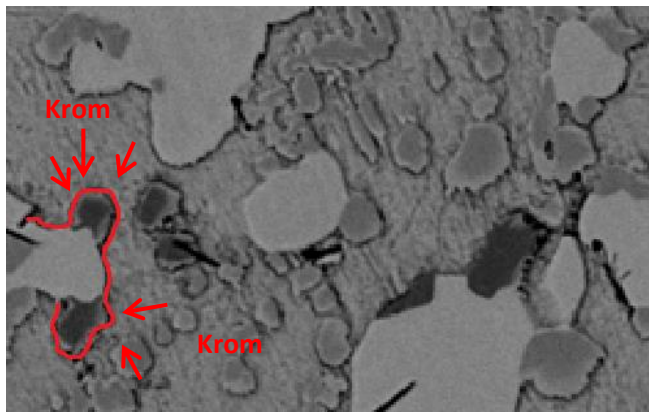
**Gambar 4. 11 Hasil Metalografi dengan perbesaran 100x**

Dari hasil pengujian pengamatan metalografi dengan menggunakan alat Olympus terlihat bahwa struktur mikro yang terbentuk terlihat didominasi dengan fasa austenite dimana ini sesuai dengan teori dan katalog *stainless steel* dengan series 300. Fasa austenite ditandai dengan matriks yang berwarna kecoklatan, unsur karbida ditandai dengan bintik-bintik hitam, fasa ferrite ditandai dengan warna putih atau warna yang lebih terang.

#### **4.5.2 Pembahasan Metalografi**

Dari hasil pengujian metalografi, Karbida akan terbentuk semakin banyak apabila kadar karbon semakin besar, ini didukung dengan melakukan uji komposisi kimia dimana kadar karbon material *stainless steel* ini dengan nilai yang cukup besar. Karbon memiliki batas kelarutan dalam *stainless*

steel, hal ini menyebabkan terbentuknya karbida. Kecenderungan yang terjadi adalah Kromium berikatan dengan karbon. Pada gambar 4.10 dan 4.11 karbida yang terbentuk terlihat berada pada batas butir. Hal ini juga disebutkan pada studi Lee, dkk (2015) dimana presipitasi karbida terjadi pada batas butir terjadi karena pada batas butir memiliki orientasi yang berbeda-beda. Batas butir adalah tempat dimana terdapat ketidak-teraturan susunan atom, sehingga merupakan tempat yang tegang. Disamping itu biasanya batas butir mengandung *impurity* lebih banyak. Terbentuknya karbida tidak hanya pada batas butir namun juga tersebar pada matriks austenite.



**Gambar 4. 12 Presipitasi Karbida-krom**

Dengan adanya unsur chrom (Cr) pada material *stainless steel 316L*, kemungkinan terjadinya difusi unsur kromium ke batas butir terjadi dari penurunan kadar kromium disekitar batas butir dan kenaikan unsur kromium dibatas butir, dimana ini juga ikut mengindikasikan terbentuknya senyawa

karbida, terlihat pada gambar 4.12 dalam rentang temperatur sensitasi, atom-atom karbon terdifusi kedalam batas butir, dimana bersenyawa dengan unsur krom, membentuk senyawa krom karbida, daerah didekat batas butir yang mengalami pelepasan unsur krom dan juga dipengaruhi temperatur sekitar dimana krom terlepas direntang suhu 450°C-850°C (Viranshu et al.2015). Pada material ini memiliki kadar kromium sebesar 26,57% yang menunjukkan terbentuknya fasa baru, yaitu ferrit. Ferrit yang terbentuk ini akibat semakin banyaknya kadar kromium dalam material. Kromium memiliki batas kelarutan dalam fasa austenite. Karena batas kelarutannya dalam fasa austenite, mengakibatkan kromium yang tidak larut dalam fasa austenite akan terlarut dalam fasa ferrit.

Material uji merupakan *Austenitic stainless steel* dikarenakan dalam pengamatan, material memiliki struktur mikro dengan matrik austenite yang mendominasi. Dari pengamatan terdapat fasa ferrite yang terbentuk akibat terlarutnya chrom dalam fasa ferrite membuat struktur mikro tidak sama seperti struktur mikro material sebelum digunakan. Adanya kadar karbon yang mencukupi membuat karbida bisa terbentuk pada struktur mikro, dimana karbida mempengaruhi dari sifat mekanik material. Disini struktur mikro pada spesimen jauh dari kata sesuai dimana jumlah karbida yang ada semakin banyak dimana menambah nilai kekuatan specimen namun dapat menurunkan sifat *ductility* pada specimen.

#### **4.6 Pengujian *Micro Hardness***

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dan pemetaan kekerasan pada air cap nozzle dari setiap titik uji yang berada diatas permukaan material.



Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat mikro hardness dengan jarak tiap titik 0,5 beban yang diberikan sebesar 4.903 N, Dan waktu untuk indentasi 5 detik. menggunakan metode Vickers hardness dengan rumus :

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{D^2}$$

dimana:

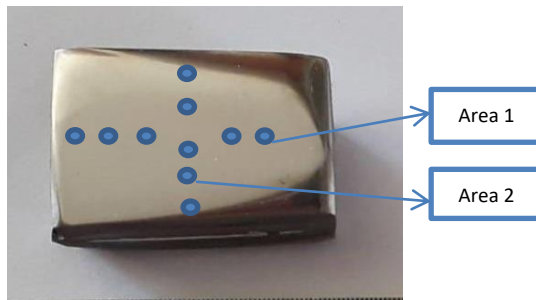
F = Beban yang diterapkan, Kg

D = Panjang diagonal jejak indentasi, mm

Uji kekerasan Vickers menggunakan indentor yang berbentuk piramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut  $136^\circ$ . Pengujian kekerasan dengan menggunakan indentasi Vickers akan membentuk diagonal yang menandai titik indentasi, kemudian diukur panjang kedua diagonalnya. Dengan menggunakan alat mikrohardness perhitungan kekerasan tiap titik akan otomatis terhitung disetiap titiknya.

#### 4.6.1 Hasil Pengujian Hardness

Pengujian Hardness diambil dengan masing masing horizontal 5 titik dan vertical 5 titik dengan tujuan untuk melihat keseragaman nilai kekerasan. Spesimen diambil di bagian yang dekat dengan failure.



**Gambar 4. 13 Potongan spesimen untuk pengujian kekerasan**

**Tabel 4. 3 Tabel hasil pengujian kekerasan**

<b>Hardness</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Area 1	430	432	425	440	435
Area 2	420	426	430	440	425

Pada tabel 4.3 terlihat bahwa nilai kekerasan yang didapat memiliki nilai paling rendah di Area 2 dengan nilai kekerasan 420 HV dan nilai kekerasan yang paling besar dengan nilai 440 HV di Area 1 dan 2. Dari hasil tersebut diketahui nilai kekerasan pada material *Air cap nozzle* sangat besar dan lebih besar dibandingkan dengan rentang nilai kekerasan *stainless steel* tipe 316L standar sebelum digunakan dengan nilai kekerasan 225 HV.

#### **4.6.2 Analisa pengujian Hardness**

Dari hasil pengamatan, didapatkan nilai kekerasan *nozzle air cap* yang telah digunakan lebih besar daripada kekerasan standar *stainless steel* 316L. Peningkatan kekerasan material juga dipengaruhi dari peningkatan nilai komposisi penyusun dan mikrostruktur .

Nilai kekerasan pada *stainless steel* yang dipengaruhi dengan nilai komposisi kimia dapat diketahui dengan pengujian komposisi kimia dimana nilai karbon dan kromium memiliki nilai yang besar dapat mempengaruhi nilai kekerasan pada material. Secara teori, besar nilai kekerasan pada *stainless steel* sebanding dengan besar nilai kadar karbon dibuktikan dari pengamatan uji komposisi kimia dimana nilai kadar karbon memiliki nilai kadar karbon lebih besar daripada *base material*. Dengan perbedaan nilai kadar

karbon maka pembentukan unsur karbida lebih banyak karena berikatan dengan karbon. Sedangkan dengan besarnya nilai dari unsur chromium menyebabkan kemampuan material untuk dikeraskan lebih besar.

Sedangkan dari segi struktur mikro penyusunnya, terdapat butir karbida yang tersebar pada matrik austenite. Terlihat pada gambar 4.10 dan 4.11 dimana karbida tersebar pada matriks austenite. Karbida merupakan unsur pembentuk yang membuat material bersifat lebih keras.

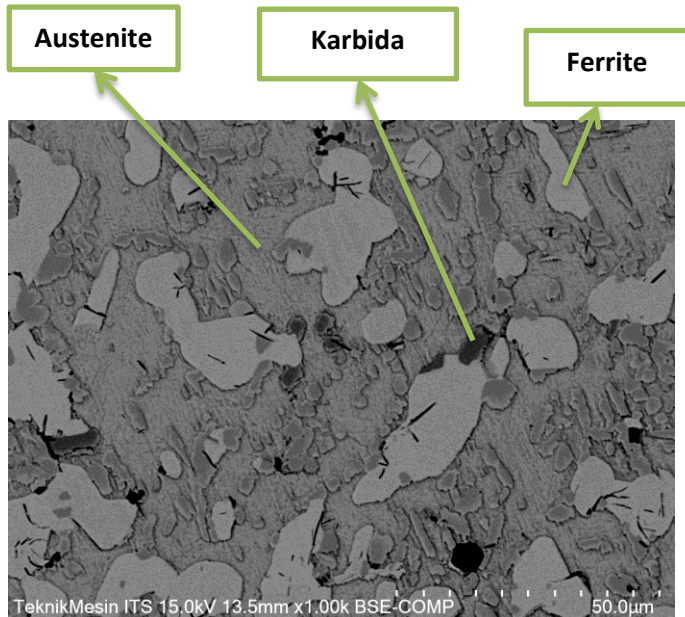
Dari teori tersebut pengamat menduga bahwa nilai kekerasan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai rentang base material pada stainless steel dikarenakan adanya perbedaan pada komposisi kimianya dan perubahan struktur mikro. Sedangkan perubahan dari struktur mikro terjadi karena adanya karbida yang terbentuk pada fasa austenite.

#### **4.7 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM)**

Pengujian *scanning electron microscopy* atau mikroskop pemindah electron adalah sebuah jenis mikroskop electron yang melihatkan permukaan potongan sampel dengan pancaran electron. dari pengujian ini bisa memberikan informasi mengenai permukaan topografi, komposisi dan sifat lainnya seperti daya konduksi listrik.

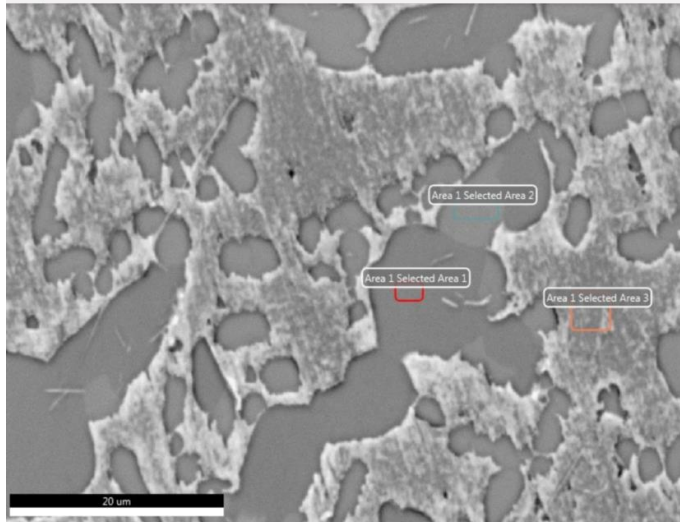
#### 4.7.1 Hasil Scanning Electron Microscopy

Pengujian SEM dilakukan di laboratorium Teknik Mesin ITS. Adapun hasil dari pengujian SEM yang didapat ialah sebagai berikut.

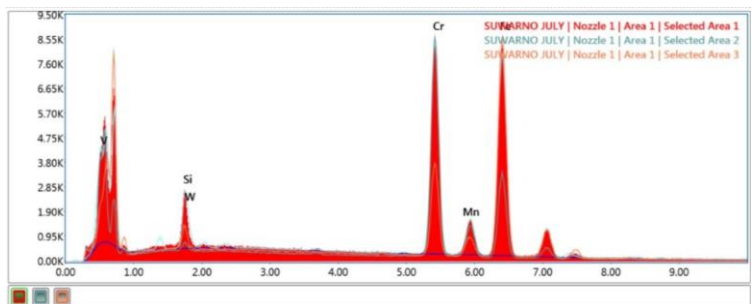


**Gambar 4. 14 Hasil Struktur mikro dengan SEM**

Gambar diatas merupakan gambar struktur mikro yang diambil menggunakan alat SEM, pada struktur mikro tersebut terlihat jelas bahwa adanya karbida yang timbul di batas butir yang mengakibatkan kekerasan pada material bertambah. Pada gambar 4.15 ditunjukkan tiga area tempat dillakukan pengujian EDS untuk mengetahui unsur penyusun pada area tersebut.



**Gambar 4. 15 Area pengujian pada struktur mikro (SEM)**



**Gambar 4. 16 Grafik nilai unsur-unsur menggunakan SEM**

Dari hasil analisa menggunakan SEM, unsur kimia yang terdapat pada specimen menunjukkan didominasi dengan unsur Besi (Fe) dan juga unsur chromium (Cr) dimana ini sama

dengan saat melakukan pengujian spectrometer. Unsur lain juga ditemukan seperti:

**Tabel 4. 4 Tabel unsur penyusun Area 1**

Area 1						
Element	VL	SiK	W M	Cr K	Mn K	Fe K
Weight %	6.42	1.68	1.76	33.97	2.52	53.66
Atomic %	6.79	3.23	0.52	35.21	2.47	51.79
Error %	2.78	6.91	5.84	2.61	7.72	3.01

**Tabel 4. 5 Tabel unsur penyusun Area 2**

Area 2								
Element	CK	VL	Si K	Cr K	Mn K	Fe K	Co K	Ni K
Weight %	1.64	6.95	0.87	52.29	2.63	32.77	0.51	2.34
Atomic %	6.87	6.84	1.55	50.46	2.4	29.44	0.44	2
Error %	10.58	2.89	7.42	2.39	8.07	3.35	34.55	10.73

**Tabel 4. 6 Tabel unsur penyusun Area 3**

Area 3						
Element	Si K	Cr K	Mn K	Fe K	Co K	Ni K
Weight %	1.65	18.49	2.47	71.55	1.18	4.66
Atomic %	3.2	19.33	2.44	69.63	1.09	4.31
Error %	7.03	3.02	8.23	2.71	20.37	7.4

Dari hasil pengujian SEM, didapatkan nilai-nilai unsur penyusun di area yang telah diamati. Adapun unsur penyusun pada area 1 ialah Vanadium, Silikon, Tungsten, Krom, Mangan, dan Besi. Sedangkan unsur penyusun pada

area 2 ialah Karbon, Vanadium, Silikon, Krom, Mangan, Besi, Cobalt, dan Nikel. Sedangkan pada area 3 diketahui unsur penyusunnya ialah Silikon, Krom, Mangan, Besi, Cobalt, dan Nikel.

#### **4.7.2 Analisa Scanning Electron Microscopy**

Dari hasil pengujian SEM, didapatkan gambar 4.15 yang merupakan struktur mikro dari spesimen. Dimana struktur mikro yang terbentuk terdapat fasa austenite yang lebih jelas dibandingkan pengujian dengan alat Olympus. Dari gambar struktur mikro yang didapat mendukung hasil pengujian metalografi dimana matriks austenite mendominasi. Kemudian pada struktur mikro terlihat adanya fasa ferrite dan karbida yang tersebar pada spesimen uji. Gambar 4.15 merupakan grafik antara energi pancaran yang dibutuhkan dengan intensitas gelombang, dimana terlihat bahwa unsur paling besar adalah kromium dan besi. Pada grafik menggambarkan persentase unsur pada ketiga titik.

Pada pengamatan di tiga area pada gambar 4.16 didapatkan unsur penyusun pada setiap area yang ditulis pada tabel 4.4, tabel 4.5, dan tabel 4.6. Element yang ditampilkan berupa persentase massa, persentase atomic, dan persentase error, dimana total persentase massa dan atomic disetiap area adalah 100%. dimana unsur penyusun yang terdeteksi berbeda disetiap area karena pada permukaan benda disusun oleh berbagai macam unsur.

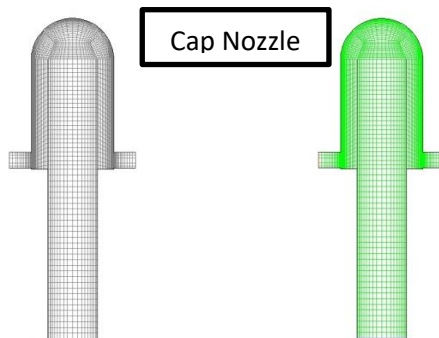
#### **4.8 Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD)**

Analisa CFD (*Comptational Fluid Dynamic*) bertujuan untuk menganalisa penyebab kegagalan dari faktor tekanan,kecepatan dan gesekan yang ditimbulkan oleh aliran fluida pada material *Air cap*

*nozzle* yang terjadi. Dalam pengoperasiannya, *Primary Air nozzle* memungkinkan terjadinya *failure* yang akan merugikan karena dapat mempengaruhi kondisi pembakaran yang terjadi pada boiler. Untuk itu perlu dianalisa kemungkinan penyebab terjadinya *failure* pada *nozzle*. Penyebab terjadinya *failure* bisa diakibatkan oleh sisi eksternal dari *nozzle* (sekeliling *nozzle*) dan sisi internal dari *nozzle* (aliran fluida didalam *nozzle*). Analisa kali ini dibatasi pada sisi internal dari *nozzle* dengan menggunakan metode simulasi Ansys Fluent. Material akan di buat 3D Modeling menggunakan solidwork. Desain yang sudah dibuat akan di analisa menggunakan ansys fluent dengan rumus dasar Bernoulli:

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Analisa menggunakan ansys fluent bertujuan untuk mengetahui kontur kecepatan, kontur tekanan, dan kontur *skin friction* pada material *Air cap nozzle*. Hasil analisa simulasi ansys fluent dari 3D Modelling dibedakan menjadi faktor yang ditinjau.



**Gambar 4. 17** Permodelan dari *Air Cap Nozzle*



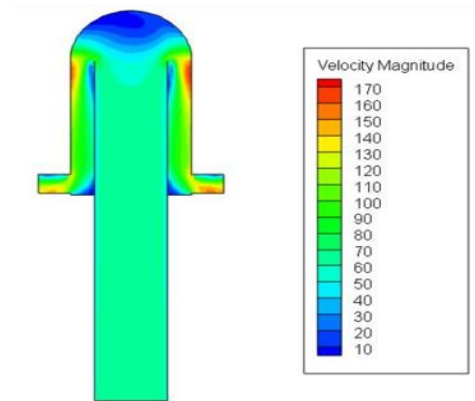
**Tabel 4. 7 Paramater simulasi dari *Air Cap Nozzle***

No.	Parameter simulasi	Keterangan
1.	Inlet	Velocity = 60 m/s
2.	Outlet	Outflow
3.	Turbulance Model	k-epsilon

Berdasarkan tabel 4.7 merupakan parameter yang digunakan untuk simulasi aliran udara pada *air cap nozzle* CFB boiler. Adapun fluida kerja yang digunakan ialah fluida udara, fluida merupakan incompressible flow dimana fluida merupakan jenis yang tidak dapat dimampatkan, aliran fluida steady flow sehingga tidak berubah terhadap waktu, kondisi fluida uniform pada aliran sisi free stream inlet sehingga tidak terdapat perubahan karakteristik fluida, dan memiliki mach number 0,174927 dengan membagi kecepatan fluida dengan kecepatan udara. Adanya batasan masalah tersebut dimaksudkan untuk mempermudah simulasi berdasarkan fluida yang mengalir pada satu unit nozzle. Kecepatan udara yang mengalir pada pipa menuju *nozzle* sebesar 60 m/s dan *outlet* yang digunakan adalah aliran yang keluar dari *orifice nozzle*.

#### 4.8.1 Simulasi dan Analisa Faktor Kecepatan

Dari hasil analisa dan pengamatan pada *Air cap nozzle* dengan faktor kecepatan dilihat pada gambar bahwa aliran *Primary air* yang berupa uap panas yang masuk dengan kecepatan tertentu bisa dibedakan dengan degradasi warna yang timbul. *Velocity magnitude* yang ditunjukkan pada tabel disebelah kanan gambar dengan satuan m/s.



**Gambar 4. 18** hasil simulasi dengan faktor kecepatan

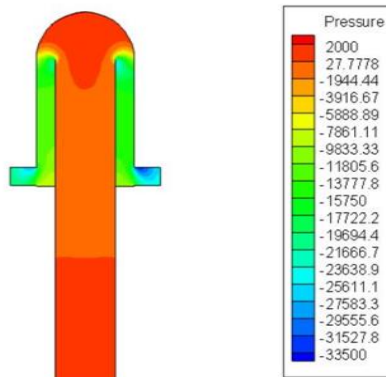
Gambar 4.18 menunjukkan kontur kecepatan pada nozzle. Kecepatan udara primer masuk pada sisi *inlet* sebesar 60 m/s sedangkan pada sisi *outlet* kecepatan rata-rata sebesar 99.76 m/s, dengan kecepatan maksimum 144.8 m/s pada sisi bawah dari belokan *outlet* (area berwarna kuning kemerahan) dan kecepatan minimum 37.3 m/s pada sisi atas dari belokan *outlet* (area berwarna biru). Kecepatan minimum ditandai dengan warna biru yang terjadi pada bagian atas *cap nozzle* (daerah stagnasi) yaitu ketika fluida menabrak *cap nozzle wall* sebelum fluida dibelokkan menuju *pigtail nozzle* dan daerah-daerah belokan (*pigtail nozzle*), hal ini dikarenakan adanya orientasi arah aliran yang dibelokkan. Sedangkan kecepatan maksimum ditandai dengan warna kemerahan yang terjadi pada daerah *pigtail nozzle* pada sisi yang berlawanan dengan kecepatan minimum.

Visualisasi vektor kecepatan dapat dilihat dari Orientasi arah aliran dibelokkan setelah menabrak cap

nozzle wall menuju *pigtail* dan pada belokan *outlet*. Fenomena pusaran aliran terjadi pada daerah perubahan area dari *wall tube inlet* menuju *pigtail* dan daerah belokan *outlet*. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut pada sisi yang berlawanan terdapat gradien kecepatan sehingga menyebabkan fluida mengalami fenomena pusaran (*vortex*).

#### 4.8.2 Simulasi dan Analisa Faktor Tekanan

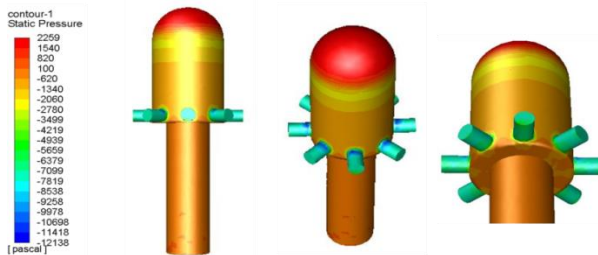
Dari hasil analisa dan pengamatan pada *Air cap nozzle* dengan faktor tekanan pada *Air cap nozzle* dilihat pada gambar bahwa aliran primary air yang berupa uap panas dapat mempengaruhi tekanan pada dinding-dinding material. Degradasi warna yang timbul menandakan perbedaan tekanan-tekanan yang terjadi. Nilai rentang dari *pressure* dapat dilihat pada tabel sebelah kanan gambar dengan satuan Pa (Pascal).



**Gambar 4. 19 Hasil simulasi dengan faktor tekanan**

Gambar 4.19 menunjukkan kontur tekanan pada nozzle. Tekanan (static) maksimum terjadi pada bagian atas yaitu ketika fluida menabrak cap nozzle wall sebelum fluida dibelokkan menuju *pigtail* yang ditandai dengan kontur berwarna merah. Sedangkan tekanan minimum terjadi pada sisi atas belokan *outlet* yang ditandai dengan kontur berwarna biru. Tekanan statis pada sisi *inlet* memiliki nilai rata-rata sebesar 81.86 pascal, sedangkan tekanan statis pada sisi *outlet* memiliki nilai rata-rata sebesar -2,2822.4 pascal. Hal ini berarti telah terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang sangat signifikan.

Pada sisi orifice terlihat menunjukkan warna hijau hingga biru yang menandakan adanya *pressure drop* yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan ketinggian dan karena terjadinya belokan.



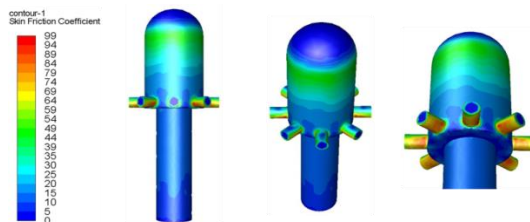
**Gambar 4. 20 Hasil simulasi parameter tekanan dengan permodelan 3D**

Pada gambar 4.20 merupakan gambar kontur tekanan pada studi permodelan 3D *Primary Air nozzle*. Tekanan terbesar ditandai dengan kontur berwarna merah yang terjadi pada daerah *Cap wall nozzle*. Hal ini karena pada daerah tersebut merupakan daerah *stagnasi*. Adapun tekanan

minimum terjadi pada sisi atas belokan *outlet* yang ditandai dengan kontur berwarna biru.

#### 4.8.3 Simulasi dan Analisa Kontur *Skin Friction Coefficient*

Dari hasil pengamatan *skin friction coefficient*, didapatkan kontur gradasi warna yang menyatakan nilai koefisien dari gesekan antara fluida dengan benda uji seperti pada gambar berikut.



**Gambar 4. 21** Hasil simulasi meninjau *Skin Friction Coefficient* dengan permodelan 3D

Dari pengamatan pada gambar 4.21 dilihat pada gambar bahwa aliran *primary air* yang berupa uap panas mengakibatkan adanya gaya gesek yang timbul pada dinding-dinding material. Gradasi warna yang timbul menandakan perbedaan gaya gesek yang terjadi. Nilai rentang dari *skin friction coefficient* dapat dilihat pada tabel sebelah kiri gambar analisa *skin friction coefficient* berupa kontur warna. Analisa ini diperlukan sebagai alternatif evaluasi kecepatan pada permodelan 3D *primary air nozzle*. *Skin friction* memiliki hubungan yang berkebalikan dengan kecepatan. Jika menggunakan analisa *velocity magnitude*, maka akan didapatkan kontur pada keseluruhan dinding akan berwarna biru hal ini dikarenakan pada *wall* terdapat tegangan geser dan aliran tepat pada *wall* akan memiliki kecepatan yang

bernilai nol. Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat ada dua arah gaya yang berlawanan dan tidak lurus bidang suatu benda.

Pengamatan difokuskan pada daerah tepat dibelokan *outlet nozzle*. Pada daerah yang dekat dengan diameter *outlet* memiliki nilai *skin friction coefficient* yang lebih tinggi di daerah *cap nozzle* lainnya. Selain itu juga, *skin friction coefficient* juga memiliki relasi dengan besarnya perpindahan panas konveksi. Semakin besar nilai *skin friction coefficient* maka semakin besar pula perpindahan panas konveksi pada *wall* tersebut. Pada aktualnya, daerah inilah yang mengalami *failure/kegagalan*. Dari studi ini didapatkan korelasi antara *failure* yang terjadi secara aktual dengan kontur warna dari *skin friction coefficient*.

#### 4.8.4 Analisa dan Pembasan Computational Fluid Dynamic

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap kontur kecepatan, tekanan, dan *skin friction* pada satu unit *air cap nozzle* CFB boiler, didapatkan adanya peningkatan kecepatan dan koefisien gesek pada *outlet air cap nozzle*. Hal tersebut ditandai dengan adanya warna kemerahan pada *outlet* gambar 4.18 dan 4.21. Adanya peningkatan nilai kecepatan diikuti dengan koefisien gesek pada *orifice* menyebabkan kemungkinan terjadinya kerusakan pada bagian tersebut semakin besar.

Hal tersebut didukung oleh penelitian mengenai simulasi dan analisa kerusakan pada nozzle tipe bell tipe dengan arah *orifice* horizontal dan diagonal 20° seperti yang digunakan pada penelitian dimana kerusakan yang terjadi pada *orifice bell type nozzle* (Zhong, Deng, & Che, 2019). Setelah dilakukan pengamatan dan simulasi kecepatan dan

tekanan, didapatkan hasil bahwa terdapat kontur kecepatan yang sangat besar pada bagian *orifice nozzle* dengan arah horizontal.

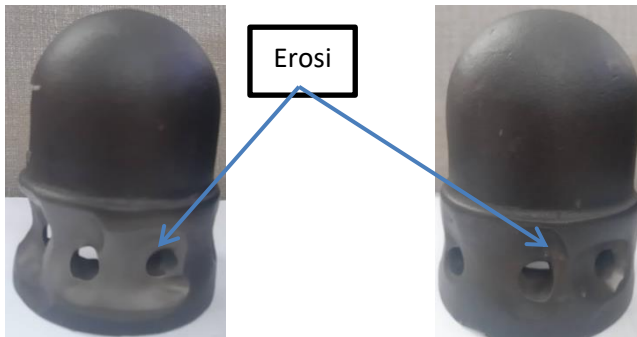
Dari hasil simulasi tekanan didapatkan bahwa tekanan tertinggi pada celah antara dinding dalam *nozzle* dan *outlet* pipa dapat mengakibatkan kerusakan yang terjadi pada *orifice* berupa *stress* pada bagian bertekanan tinggi. Berdasarkan studi simulasi terhadap aliran *primary air* CFB boiler, didapatkan hasil bahwa adanya tekanan yang tinggi pada *nozzle* mengakibatkan terjadinya pembebanan. Adanya pembebanan yang terjadi pada *nozzle* membuat umur pakai dari material.

Adanya partikel *bed* yang mudah masuk ke dalam tipe *nozzle* ini pun dapat menjadi penyebab kerusakan *nozzle*. Dari hasil simulasi *skin friction* didapatkan bahwa gesekan paling besar terjadi pada dinding *orifice*. Hal tersebut mengakibatkan kerusakan yang terjadi pada *orifice* berupa gesekan antar *bed* dan dinding *orifice* dengan kecepatan yang lebih tinggi. Sehingga dengan nilai koefisien gesek yang lebih tinggi dapat menyebabkan gaya gesek antara material *bed* dengan dinding *orifice* semakin besar. Hal tersebut didukung dengan simulasi *primary air* pada CFB boiler dengan partikel *bed*. Diketahui bahwa adanya gesekan yang terjadi antara partikel *bed* dengan dinding boiler dikarenakan adanya aliran fluida yang sangat tinggi yang membawa partikel *bed*. Hal tersebut menyebabkan *nozzle* cenderung mengalami erosi pada mulut *outlet* boiler.

## 4.9 Analisa dan Pembahasan

### 4.9.1 Analisa kegagalan Erosi

Erosi adalah kegagalan yang terjadi berupa pengikisan pada permukaan salah satunya diakibatkan permukaan benda bergesekan dengan material yang bersifat abrasif. Adapun kegagalan yang terjadi pada *air cap nozzle* berupa pengikisan pada permukaan *orifice*. Adapun tampak kegagalan pada *air cap nozzle* CFB boiler ialah sebagai berikut.

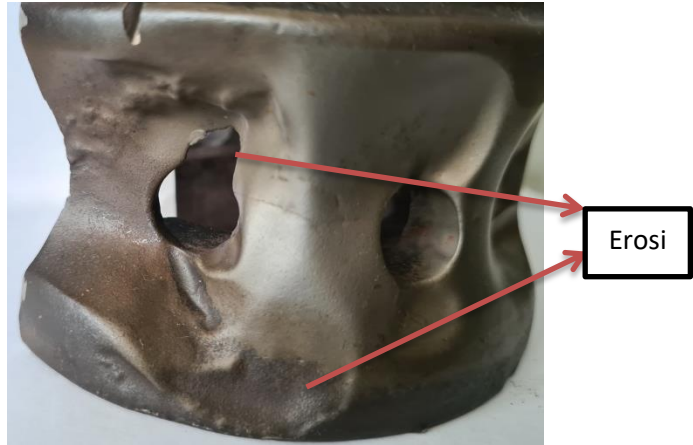


**Gambar 4. 22 Erosi pada *Air cap nozzle***

Dari hasil pengamatan dan pengujian yang dilakukan secara visual didapatkan kegagalan berupa erosi yang terjadi pada *air cap nozzle*. Dimana *air cap nozzle* mengalami erosi dibagian dalam dan luar. Berdasarkan simulasi computational fluid dynamic (CFD) diketahui terdapat fenomena *vortex* dimana aliran berbentuk spiral membuat tekanan pada dinding orifice lebih tinggi. Aliran fluida membawa zat pengotor berupa BED material maupun campuran dari *Lime stone* & batu bara yang mengalir ikut



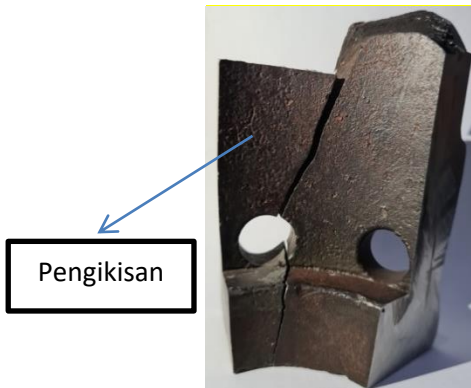
bersinggungan dengan dinding-dinding *air cap nozzle* mengakibatkan terjadinya pengikisan (erosi) pada dinding *Air cap nozzle*.



**Gambar 4. 23 Erosi pada bagian luar *Air cap nozzle***

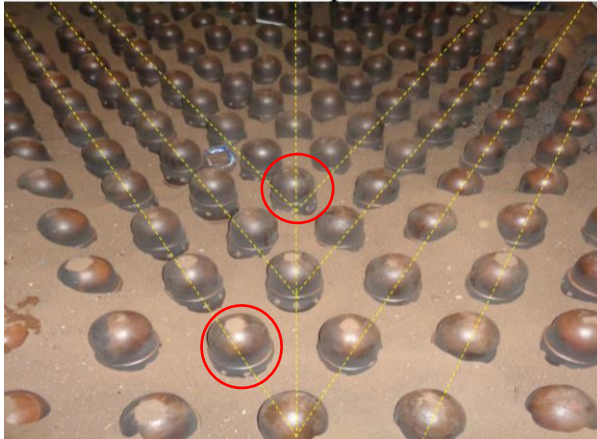
Pada gambar 4.23 merupakan kegagalan erosi yang terjadi pada bagian luar *orifice*. Berdasarkan hasil simulasi CFD, kegagalan pada bagian *orifice* berupa pengikisan dapat disebabkan oleh nilai *skin friction coefficient* dan kecepatan fluida yang tinggi. Berdasarkan studi mengenai pengaruh *skin friction coefficient* terhadap pengikisan dinding nozzle, adanya *skin friction coefficient* yang besar pada dinding *orifice* diakibatkan oleh besarnya kecepatan fluida yang mengalir, membuat tegangan pada dinding material semakin besar diakibatkan aliran partikel pengotor yang dapat bersifat abrasive sehingga terjadi erosi (Deepak, Anjaiah, Karanth, &

Sharma, 2012). Sehingga semakin besar kecepatan dan *skin friction coefficient* berakibat pada terjadinya kegagalan yang diakibatkan karena adanya gesekan dinding material dengan zat pengotor berupa BED material dan bahan bakar. Gesekan yang terjadi secara terus-menerus antara dinding material dengan aliran fluida yang memiliki zat pengotor selama pengoperasian boiler menyebabkan erosi pada dinding luar *orifice* semakin bertambah.



**Gambar 4. 24 Pengikisan pada sisi dalam *Air cap nozzle***

Pada sisi dalam *air cap nozzle* juga terjadi erosi. Erosi pada dinding dalam *air cap nozzle* dapat disebabkan karena aliran yang berbentuk spiral (*vortex*) membawa zat pengotor yang dapat mengikis bagian dalam *air cap nozzle*. Salah satu penyebab adanya zat pengotor berupa BED material dan bahan bakar boiler bercampur dengan fluida dalam *air cap nozzle* disebabkan karena penempatan *air cap nozzle* yang tidak simetris seperti terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 4. 25 Penempatan *Air cap nozzle* yang tidak seluruhnya simetris**

Pada gambar 4.25 terlihat adanya *air cap nozzle* yang dipasang tidak simetris terhadap unit yang lain. Pemasangan yang tidak simetris membuat fluida *outlet* yang membawa zat pengotor membentur dinding *air cap nozzle* lainnya dan menyebabkan permukaannya terkikis. Selain itu, terjadinya erosi diakibatkan fluida *outlet* dari setiap *orifice* tidak memiliki kecepatan yang relatif sama. Kecepatan yang tidak seragam ini disebabkan karena adanya persebaran BED material yang menutupi bagian *orifice* tidak merata. Hal tersebut menyebabkan BED material maupun bahan bakar masuk kedalam *orifice* dengan kecepatan fluida *outlet*-nya lebih rendah. Sehingga ketidak samaan nilai kecepatan dari *outlet air cap* disebabkan karena adanya ketidaksesuaian penempatan *orifice* pada *furnace*.

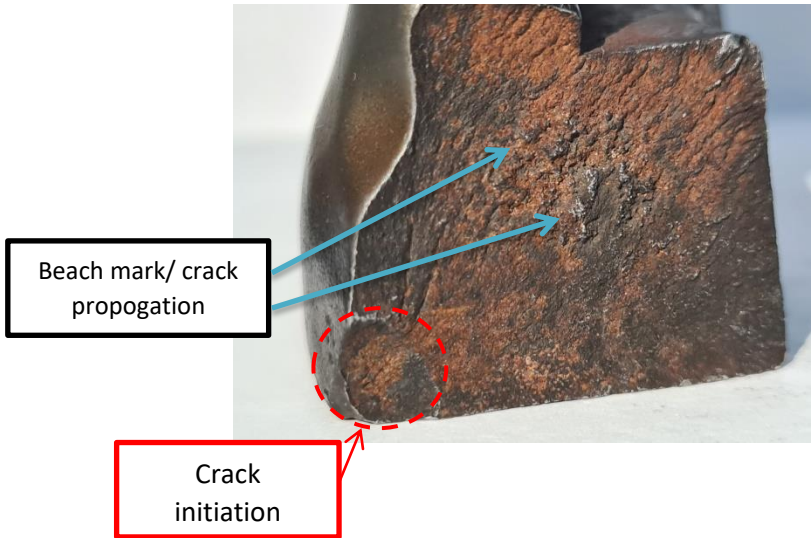
#### 4.9.2 Analisa Kegagalan Retak (*Crack*)

Pada analisa kegagalan retak, dilakukan pengamatan secara visual pada bagian yang mengalami retakan. Dari pemeriksaan visual, material *air cap nozzle* mengalami keretakan pada daerah sekitar *orifice* seperti yang terlihat pada gambar berikut.

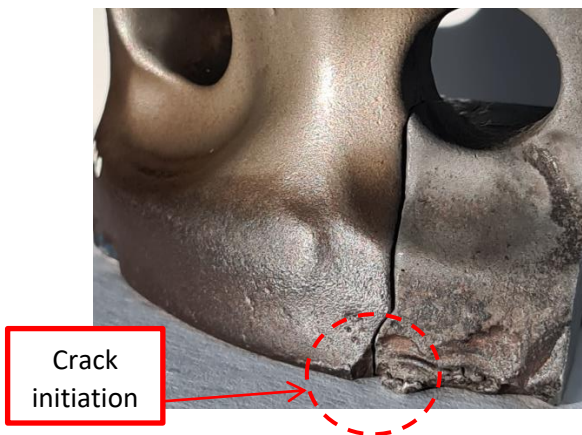


**Gambar 4. 26 *Fracture Surface***

Pada gambar 4.26 terlihat bahwa patahan yang terbentuk merupakan patahan getas, hal tersebut dibuktikan dengan terlihatnya adanya patahan yang memotong batas butir sehingga terlihat kilapan pada *fracture surface*. Selain itu material bersifat *brittle* juga dibuktikan dengan pengujian *hardness* dimana nilai kekerasan pada material mencapai rata-rata 450 HV , dimana pada material *stainless steel* kekerasan tersebut sangat keras.

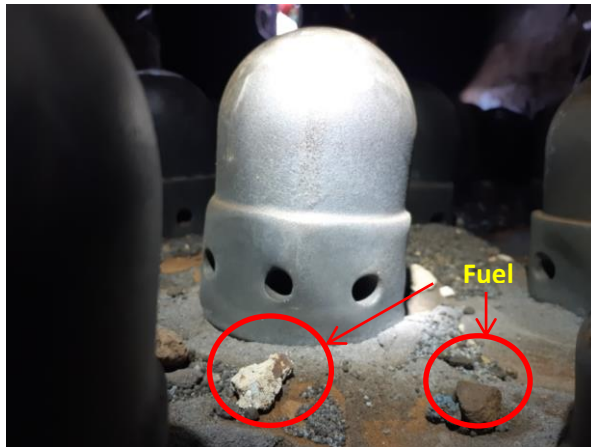


*Gambar 4. 27 Crack initiation & beach mark*



*Gambar 4. 28 Crack initiation*

Selain itu pada gambar 4.27 terlihat adanya *beach mark* yang terbentuk akibat adanya penjaralan *crack*. *Beach mark* merupakan tanda penjaralan *crack* yang ditandai seperti garis-garis pantai. *Crack initiation* merupakan awal dari terbentuknya kegagalan retak. *Crack initiation* yang terjadi pada specimen ini disebabkan adanya tumbukan antar bahan bakar berupa batu bara solid dengan permukaan *air cap nozzle* sehingga membentuk cekukan (*notch*) seperti pada gambar 4.28. Hal tersebut didukung oleh adanya foto inspeksi seperti gambar berikut.



**Gambar 4. 29 Foto inspeksi *air cap nozzle***

Pada gambar 4.29 terlihat bahwa pada inspeksi *boiler furnace* terdapat sisa bongkahan batu bara yang tidak terbawa bersama *bed material* dikarenakan massa batu bara yang lebih berat dari standarnya. Selain itu, kemungkinan lain adanya *crack propogation* pada daerah *orifice* karena adanya

pemusatan *thermal stress* dan *shear stress*. *Thermal stress* disebabkan oleh temperatur kerja yang tinggi membuat *strain rate* material semakin tinggi. Sedangkan *shear stress* disebabkan oleh tekanan aliran fluida, aliran fluida yang bersinggungan dengan dinding *air cap* menyebabkan terjadinya gaya yang berlawanan terhadap arah aliran fluida. Aliran fluida yang mengalir melalui celah *crack* menyebabkan retakan makin menjalar. Selain itu dikarenakan partikel pengotor berupa *bed material* yang bercampur dengan fluida dapat menyebabkan nilai *shear stress* akibat tekanan pada material semakin besar.

#### 4.9.3 Analisa Material

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian, didapatkan bahwa specimen memiliki fasa austenite yang lebih banyak daripada fasa ferrite. Kemudian dari pengamatan dengan spectrometer, didapatkan komposisi karbon sebesar 0.35, krom sebesar 26.57, dan nikel sebesar 4.26. Adanya fasa austenite yang lebih mendominasi serta adanya krom dan nikel mengindikasikan bahwa material merupakan asutenitic *stainless steel*. Jenis *stainless steel* yang digunakan air cap *nozzle* pada studi ini berdasarkan kadar karbon, krom, serta fasa spesimen ialah *stainless steel* tipe 316L. Hal ini didukung dengan data gambar teknik dari *air cap nozzle*.

*Stainless steel* tipe 316L memiliki kandungan karbon maksimum 0.03%, kromium 16-18%, dan nikel 10-14%. Penggunaan *stainless steel* tipe 316L dapat dikatakan baik karena memiliki kadar kromium dan nikel yang lumayan tinggi. Adanya unsur kromium pada baja berpengaruh pada ketangguhan,

kemampuan material untuk dikeraskan, tahan temperatur tinggi, juga meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan korosif. Kromium akan berperan dalam pembentukan karbida sehingga mempengaruhi kekerasan pada baja. Sedangkan penambahan nikel dapat meningkatkan kekuatan ferit pada baja. Selain itu pada baja tahan karat, nikel merupakan salah satu kandungan yang penting dalam pembentukan fasa austenite sehingga dibutuhkan kadar nikel yang tinggi untuk mempertahankan fasa austenit pada temperature ruang (Pistorius & Toit, 2010). Unsur nikel juga berfungsi untuk meningkatkan kekuatan baja, ketangguhan serta kekerasanya (Binudi, 2014).

Namun di dalam pengamatan didapatkan bahwa spesimen memiliki kadar karbon yang lebih besar 0.32 daripada standar maksimumnya serta nilai nikel yang jauh dari standarnya sebesar 4.26. Perbedaan nilai karbon diperkirakan karena adanya kesalahan desain dalam waktu produksi material, selain itu diduga dari konsumen sengaja untuk menambahkan kadar karbon atau krom untuk memperkuat properties dari material. Sedangkan kadar nikel yang didapat lebih rendah daripada standarnya. Rendahnya nilai nikel dapat berpengaruh terhadap fasa austenite pada specimen. Akibat dari kadar nikel yang lebih rendah dari standarnya, maka fasa selain austenite dapat terbentuk. Hal tersebut dibuktikan dengan pengamatan struktur mikro dimana terdapat fasa ferit.

*Stainless steel* dengan *austenitic steel* rata-rata memiliki kadar nikel sebesar 2%-30% sedangkan untuk unsur krom 16%-30%, dimana unsur krom berpengaruh untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, ketangguhan, kemampuan untuk dikeraskan dan tahan terhadap temperatur tinggi. Besarnya kadar



nikel pada *air cap nozzle* sebaiknya sesuai dengan standarnya, hal tersebut didasarkan studi mengenai pengaruh penggantian kadar nikel dengan unsur lain yang mana menyebabkan sifat mekanik dari material tersebut lebih rendah kekerasannya, machine-abilitynya, serta mudahnya terbentuk fasa lain selain austenite (Pistorius & Toit, 2010).

Pemilihan material yang tepat dan baik digunakan sangat lah penting dalam mengurangi terjadinya *failure analysis*, dimana material dipilih yang cocok digunakan pada kondisi yang sesuai dengan kemampuan material. Pada *air cap nozzle* dibutuhkan material yang memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi dan mampu menahan adanya *skin friction* yang terjadi karena fluida. Penggunaan stainless steel tipe 316L tidak sepenuhnya cocok dengan penggunaan menjadi *air cap nozzle*, penggunaan *stainless steel* yang sesuai dengan kondisi temperature kerja tinggi dan beban dari korosi lingkungan kerja. Material yang disarankan dengan kandungan nikel dan krom yang cukup tinggi seperti stainless steel 310 dimana memiliki kadar karbon 0.25% nikel 19% dan krom 26%.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil serangkaian penelitian, didapatkan konklusi sebagai berikut.

1. *Failure* yang ditinjau ialah erosi dan *crack* pada material.
2. Mekanisme erosi berdasarkan hasil simulasi CFD kemungkinan diakibatkan *vortex* yang membawa uap panas dimana tekanan pada dinding spesimen lebih tinggi daripada tekanan sekitar.
3. Mekanisme erosi yang disebabkan *skin friction* dikarenakan gesekan permukaan benda dengan fluida yang membawa zat pengotor berupa *bed* material. Adanya zat pengotor yang masuk dan bersinggungan dengan permukaan specimen disebabkan hembusan dari nozzle satu sama lain.
4. Mekanisme *crack* disebabkan oleh adanya tumbukan dari fuel mengenai permukaan *air cap nozzle*. Pada temperature tinggi, akan terjadi thermal stresses dan adanya shear stress yang disebabkan oleh aliran fluida pembawa zat pengotor. Dari hasil pengujian CFD didapatkan adanya fenomena *vortex*, *back flow*, *pressure drop*, dan *skin friction* pada specimen yang dialiri fluida panas dengan kecepatan 60 m/s.
5. Pengujian spectrometer didapatkan komposisi kimia specimen berbeda dari standar *stainless steel 316L*, dimana perbedaan kadar karbon krom yang sangat besar.
6. Pengujian metalografi didapatkan fasa austenite, fasa ferrite, dan carbide yang tersebar pada specimen.

7. Pengujian *hardness* didapatkan nilai kekerasan rata-rata area 1 sebesar 432.4 HV dan pada area 2 sebesar 428.2 HV. Nilai kekerasan yang meningkat mendekati dua kali lipat disebabkan oleh adanya karbit pada specimen.
8. Pengujian SEM didapatkan unsur Fe dan Cr memiliki nilai presentase paling tinggi.

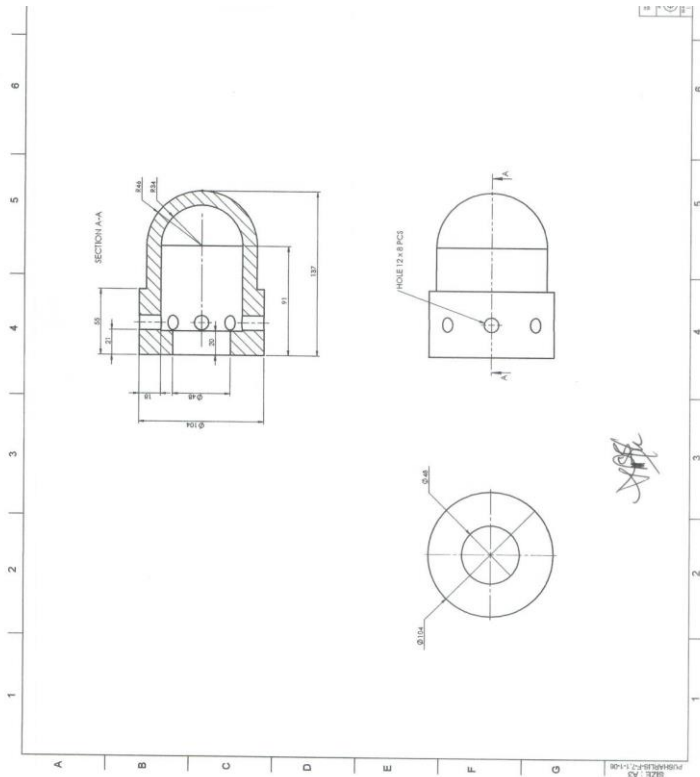
## 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan ialah:

1. mencari informasi yang lebih spesifik mengenai material benda uji, temperature operasi, nilai tekanan pada nozzle, dan perilaku operasi pada *air cap nozzle* CFB Boiler.
2. Menggunakan larutan yang tepat sebagai *rust remover* untuk membersihkan spesimen uji material *stainless steel 316L*.
3. Melakukan pengujian SEM dengan melakukan pengamatan topografi permukaan material guna mengetahui penjalaran retak.
4. Melakukan pengujian *hardness* dengan titik penujian yang lebih banyak sehingga didapatkan nilai kekerasan yang lebih akurat pada specimen uji.
5. Dilakukan studi lebih lanjut mengenai hubungan antara unsur-unsur penyusun pada specimen uji dengan sifat material.

## LAMPIRAN


## APENDIX A




**GAMBAR 1** Gambar teknik *air cap nozzle*

Cont. Group: AN=127 TAN=53611 Tuesday, 16 June 2020 11:24  
 STAINLESS STEEL Common Group:  
 [PT. BARATA INDONESIA ]  
 Sample No.[05 ] [NOZZLE ] [FIRMAN ]

N=1	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
N=2	.35236	1.4944	1.7814	.03219	.01125	4.3198	26.915
Ave.	.35306	1.5386	1.6923	.03146	.01153	4.1913	26.227
	.35271	1.5165	1.7368	.03182	.01139	4.2556	26.571
N=1	Mo	Cu	Ti	Pb	Al	Co	W
N=2	.02247	.06684	.01957	.00000	.16737	.12003	.02617
Ave.	.02987	.06365	.01987	.00020	.16481	.10944	.02517
	.02617R	.06525	.01972	.00010R	.16609	.11474	.02567
N=1	V	Nb	N	B	Fe		
N=2	.04158	.01057	.09046	.00138	4.0986		
Ave.	.04106	.00900	.05825	.00130	4.0064		
	.04132	.00979R	.07435R	.00134	4.0525		

Manager QC  
  
 Dedy Ridwan

Inspector  
  
 Taufan Yudhistra

**GAMBAR 2 Hasil data pengujian spectrometer**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abedini. (2017). Erosion and erosion–corrosion of Al-brass alloy.
- Aini, N. N., Widiawaty, C. D., & Nusyirwan. (2017). *Analisis Kegagalan pada Pipa Boiler Menggunakan Metode Root Cause Failure Analysis (RCFA)*. Jakarta: Politeknik Negerti Jakarta.
- ARRCA. (2016, November 16). Retrieved mei 16, 2020, from <https://arcca.com/i-have-a-fatigue-failure-is-that-a-problem/>
- casting, p. (2017). Retrieved mei 16, 2020, from <https://precision-casting.co.id/project/air-cap-shaft-support-power-plant/>
- Deepak, D., Anjaiah, D., Karanth, K. V., & Sharma, N. Y. (2012). *CFD Simulation of FLOW in an Abrasive Water Suspension Jet: The Effect of Inlet Operating PPressure and Bolume Fractio on Skin Friction and Exit Kinetic Energy*. Manipal: Hindawi Publishing Corporation.
- etsusim. (n.d.). <http://etsusim.blogspot.com/2018/04/boiler-circulating-fluidized-bed-cfb.html>. Retrieved mei 16, 2020, from <http://etsusim.blogspot.com/2018/04/boiler-circulating-fluidized-bed-cfb.html>

- Huang, Z., Deng, L., & Che, d. (2019). Experimental and CFD Simulation Studies on Bell-Type Air Nozzles of CFB Boilers . *CFB BOILERS*, 15.
- Metal, U. P. (n.d.). *Stainless steel 303*. Retrieved May 16, 2020, from <http://www.upmet.com>
- Naffakh, H., & Shamannian, M. (2010). *Microstructural evolutions in dissimilar welds between AISI 310austenitic stainless steel and Inconel 657*. Springer.
- sandmeyersteel. (n.d.). *Spesification Sheet: Alloy 303*. Retrieved May 16, 2020, from <http://www.sandmeyersteel.com>:  
<http://www.sandmeyersteel.com>
- Suerman, W. (1998). *Pengetahuan Bahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, W. (1998). *Pengetahuan Bahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tarmazi, A. (2017). *STUDI NUMERIK PENGARUH PERUBAHAN MASS FLOW DARI SECONDARY AIR TERHADAP KARAKTERISTIK CIRCULATING FLUIDIZED BED Boiler*. surabaya: ITS.
- Totten, G. E. (2007). *Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies 2nd Edition*. Oregon: Taylor and Francis.
- Zhong, H., Deng, L., & Che, D. (2019). *Experimental and CFD Simulation Studies onBell-Type Air Nozzles of CFB Boilers*. Xian: MDPI.



## BIODATA PENULIS



**M. Yusuf Bachtiar** lahir di PADANG, 28 JULI 1998, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Muslih dan Betty Hendrawati. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Pertiwi II, Kota Padang dan melanjutkan jenjang pendidikan dasar di SD Pertiwi II, Kota Padang pada tahun 2004-2010. Pendidikan menengah penulis diambil di SMP 1 Kota Padang pada tahun 2010-2013 dan dilanjutkan ke SMAN 1 Kota Padang pada tahun 2013-2016. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan perguruan tinggi pada tahun 2016 di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada masa perkuliahan, penulis banyak aktif di kegiatan organisasi kampus. Mendapat amanah sebagai staf Badan Semi Otonom 2017-2018. Kemudian menjadi Kepala Biro Akademik periode 2018-2019. Selama bergabung di Laboratorium Metalurgi, penulis selalu mengikuti kegiatan sebagai asisten praktikum dan pernah menjadi koordinator praktikum. Penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi kebermanfaatn bagi banyak orang. Untuk informasi, saran, dan kepentingan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui Surat Elektronik: [yusufbachtiar32@gmail.com](mailto:yusufbachtiar32@gmail.com).