

**TUGAS AKHIR - TF 234801**

# **ANALISIS EFEK TEKANAN TERHADAP VON MISES STRESS PADA HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER**

**Kurnia Wijaya Kusuma**

**NRP. 5009212002**

**Dosen Pembimbing**

**Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 197711272002121**

**Program Studi S1 Teknik Fisika**

**Departemen Teknik Fisika**

**Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2024**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



Tugas Akhir - TF 234801

# **ANALISIS TEKANAN TERHADAP VON MISES STRESS PADA *HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***

**Kurnia Wijaya Kusuma**  
NRP 5009212002

Dosen Pembimbing

**Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 197711272002121

**Program Studi S1 Teknik Fisika**  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 234801**

***PRESSURE EFFECT ANALYSIS OF VON MISES STRESS ON  
HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***

**Kurnia Wijaya Kusuma  
NRP 5009212002**

**Advisor**

**Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197711272002121**

**Study Program Bachelor of Engineering Physics  
Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2024**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama Mahasiswa / NRP : Kurnia Wijaya Kusuma / 5009212002

Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika

Dosen Pembimbing / NIP : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D / 197711272002121

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "***ANALISIS EFEK TEKANAN TERHADAP VON MISES STRESS PADA HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***" adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 Juli 2024

Mahasiswa,



(Kurnia Wijaya Kusuma)

NRP. 5009212002

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Kurnia Wijaya Kusuma / 5009212002

Department : Engineering Physics

Advisor / NIP : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D / 197711272002121

hereby declare that the Final Project with the title of "**PRESSURE EFFECT ANALYSIS OF VON MISES STRESS ON HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER**" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 Juli 2024

Student,



(Kurnia Wijaya Kusuma)

NRP. 5009212002

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS EFEK TEKANAN TERHADAP *VON MISES STRESS* PADA *HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***

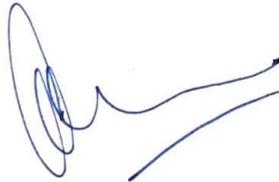
**Oleh:**

**Kurnia Wijaya Kusuma**

**NRP. 5009212002**

**Surabaya,**

**Menyetujui,  
Pembimbing I**



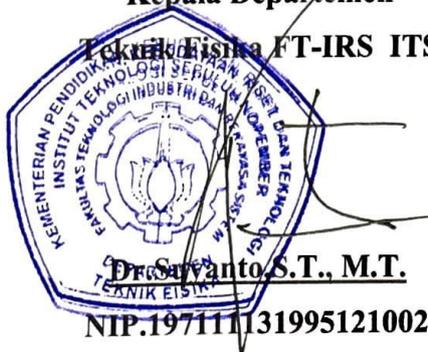
**Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 197711272002121**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen**

**Teknik Fisika FT-IRS ITS**



**Dr. Savvanto, S.T., M.T.**

**NIP.197111131995121002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS EFEK TEKANAN TERHADAP *VON MISES STRESS* PADA *HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER*

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Sarjana Teknik Fisika  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Kurnia Wijaya Kusuma**

NRP. 50092120002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |   |                                           |              |
|---|-------------------------------------------|--------------|
| 1 | 1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D      | Pembimbing I |
| 2 | 2. Dr.Eng. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc  | Penguji I    |
| 3 | 3. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.          | Penguj II    |
| 4 | 4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. | Penguj III   |

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

**SURABAYA**

**Juli, 2024**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# APPROVAL SHEET

## PRESSURE EFFECT ANALYSIS OF VON MISES STRESS ON HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER

### FINAL PROJECT

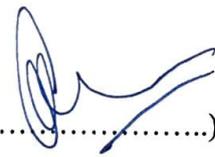
Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Engineering Physics  
Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KURNIA WIJAYA KUSUMA**

**NRP. 50092120002**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                           |              |                                                                                                |
|-------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D      | Pembimbing I | (.....  ) |
| 2. Dr.Eng. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc  | Penguji I    | (.....  ) |
| 3. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.          | Penguj II    | (.....  ) |
| 4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. | Penguj III   | (.....  ) |

**SURABAYA**

**July, 2024**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALISIS EFEK TEKANAN TERHADAP *VON MISES STRESS* PADA *HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***

**Nama Mahasiswa / NRP** : Kurnia Wijaya Kusuma / 50092120002  
**Departemen** : Teknik Fisika FTIRS – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

## **Abstrak**

*Boiler* yang merupakan penghasil panas dan uap untuk pendukung kerja pada sistem industrial sangatlah penting keberadaannya, karena versatilitas dari kedua produk hasil kerjanya tersebut dapat digunakan untuk penggerak mekanik dan pemanas. *Boiler* yang bekerja dalam kondisi panas dan tekanan yang ekstrem memerlukan maintenance dan perawatan secara berkala, kedua hal ini dapat didukung dengan memperkirakan umur *boiler* berdasarkan tekanan yang bekerja didalamnya. Penelitian ini menggunakan von mises *stress* sebagai metode untuk mengukur seberapa besar *stress* yang terjadi di dalam *boiler* secara *general*, dengan simulasi menggunakan *software Finite Element Analysis*. Von mises *stress* yang didapatkan akan dibandingkan dengan *yield strength* dari jenis material yang digunakan guna menentukan apakah akan terjadi deformasi secara plastis pada dinding boiler. Penelitian ini memvariasikan material dan tekanan yang diberikan pada *boiler* yang dipertimbangkan berdasarkan *datasheet* dari boiler, dengan variasi material menggunakan SA 516 Grade 70 dan SA 285 Grade A sedangkan variasi tekanan adalah 11 bar, 14 bar dan 18 bar. Hasilnya menunjukkan von mises *stress* berubah seiring naiknya tekanan dan untuk variasi 18 bar pada SA 285 terjadi deformasi secara plastis.

**Kata Kunci:** *Boiler*, analisa efek tekanan, von mises *stress*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***PRESSURE EFFECT ANALYSIS OF VON MISES STRESS ON HIGH VOLTAGE JET ELECTRODE BOILER***

**Student Name /NRP** : Kurnia Wijaya Kusuma / 50092120002  
**Department** : Engineering Physics FTIRS – ITS  
**Advisor** : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

## **Abstract**

Boilers, which produce heat and steam to support work in industrial systems, are very important, because the versatility of these two work products can be used for mechanical drives and heating. Boilers that work in conditions of extreme heat and pressure require regular maintenance and upkeep. Both of these things can be supported by estimating the life of the boiler based on the pressure working within it. This research uses von Mises stress as a method to measure how much stress occurs in the boiler in general, by simulating using Finite Element Analysis software. The von Mises stress obtained will be compared with the yield strength of the type of material used to determine whether plastic deformation will occur in the boiler walls. This research varies the material and pressure given to the boiler which is considered based on the boiler data sheet, with material variations using SA 516 *Grade 70* and SA 285 *Grade A* while the pressure variations are 11 bar, 14 bar and 18 bars. The results show that the von Mises stress changes as the pressure increases and plastic deformation occurred in variation of 18 bar pressure with SA 285 material.

**Keywords:** *Boiler, pressure effect analysis, von mises stress*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Syukur Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Efek Tekanan terhadap *Von Mises Stress* pada *High Voltage Electrode Jet Boiler*” dapat terselesaikan. Penelitian ini tidak akan dapat selesai tanpa bantuan dari semua pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Kedua orang tua beserta kakak adik.
3. Bapak Gunawan Nugroho, S.T., M.T, Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS yang telah memberikan kritik, saran serta arahan dalam penyusunan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah memberikan kritik, saran serta arahan dalam penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku dosen wali dan Kepala Departemen Teknik Fisika FTIRS ITS yang telah membantu dan membimbing selama masa perkuliahan.
6. Rekan-rekan, KSE, RPL 2021, RPL 2022, TF 2020 yang telah menemani selama penelitian berlangsung.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 20 Juli 2024

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
LEMBAR PENGESAHAN.....	xi
APPROVAL SHEET.....	xiii
Abstrak .....	xv
Abstract.....	xvii
KATA PENGANTAR.....	xix
DAFTAR ISI .....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL .....	xxv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Laporan .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	3
2.1 <i>Thermal stress</i> .....	3
2.2 <i>Von Mises Stress</i> .....	3
2.3 <i>Principal Stress</i> .....	4
2.4 High Voltage Jet Electrode Boiler.....	5
2.5 Fluid Structure Interaction .....	6
2.6 <i>Finite Element Methode</i> .....	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	9
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	9
3.2 Studi Literatur .....	9
3.3 Perumusan masalah.....	10
3.4 Simulasi .....	11
3.5 Pengambilan Data .....	12
3.6 Analisis Data.....	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1 Validasi Simulasi dan <i>GIT (Grid Independent Test)</i> .....	13

4.2	Persebaran Panas dan Tekanan pada Boiler .....	15
4.3	Hasil Simulasi (Pengaruh Tekanan dan Material terhadap <i>Von Mises Stress</i> ).....	18
4.4	Perbandingan <i>Von Mises Stress</i> dan <i>Yield Strength</i> .....	23
BAB V KESIMPULAN.....		27
DAFTAR PUSTAKA .....		29
BIODATA PENULIS .....		31

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Ilustrasi <i>principal stress</i> (Jong & Springer, 2009).....	4
<b>Gambar 2. 2</b> Bagian-bagian <i>HVJ Electrode Boiler</i> (Precision Boilers, 2017).....	6
<b>Gambar 2. 3</b> Tingkat kualitas <i>meshing</i> (Chia, & Fatchurrohman, 2017).....	7
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Flowchart</i> Penelitian .....	9
<b>Gambar 3. 2</b> Geometri <i>boiler</i> yang sudah disederhanakan (a) Boiler tampak atas, (b) Boiler tampak samping .....	12
<b>Gambar 4. 1</b> <i>Geometry meshing element size 38 mm</i> .....	15
<b>Gambar 4. 2</b> Hasil <i>GIT</i> .....	15
<b>Gambar 4. 3</b> Persebaran tekanan 11 bar.....	16
<b>Gambar 4. 4</b> Persebaran tekanan 14 bar.....	16
<b>Gambar 4. 5</b> Persebaran tekanan 18 bar.....	16
<b>Gambar 4. 6</b> Persebaran Tekanan 11 bar .....	17
<b>Gambar 4. 7</b> Persebaran Tekanan 14 bar .....	17
<b>Gambar 4. 8</b> Persebaran Tekanan 18 bar .....	18
<b>Gambar 4. 9</b> <i>Von mises stress</i> pada 11 bar dengan material SA 516.....	19
<b>Gambar 4. 10</b> <i>Von mises stress</i> pada 14 bar dengan material SA 516.....	19
<b>Gambar 4. 11</b> <i>Von mises stress</i> pada 18 Bar dengan material SA 516 .....	19
<b>Gambar 4. 12</b> Grafik Tekanan vs <i>von mises stress</i> pada SA 516.....	20
<b>Gambar 4. 13</b> Daerah kritis pada variasi SA 516 dinding <i>boiler</i> (a) daerah kritis pada 11 bar (b) daerah kritis pada 14 bar (c) daerah kritis pada 18 bar .....	20
<b>Gambar 4. 14</b> <i>Von mises stress</i> pada 11 bar dengan material SA 285.....	21
<b>Gambar 4. 15</b> <i>Von mises stress</i> pada 14 bar dengan material SA 285 .....	22
<b>Gambar 4. 16</b> <i>Von mises stress</i> pada 18 bar dengan material SA 285 .....	22
<b>Gambar 4. 17</b> Grafik Perbandingan <i>von mises stress</i> antar material .....	22

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Properti Material Simulasi .....	10
<b>Tabel 3. 2</b> Matriks Variasi .....	10
<b>Tabel 3. 3</b> Kondisi Batasan Simulasi .....	11
<b>Tabel 4. 1</b> Data input penelitian terdahulu.....	13
<b>Tabel 4. 2</b> Tabel Matriks Validasi Simulasi .....	13
<b>Tabel 4. 3</b> Matrik <i>GIT</i> .....	14
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil simulasi dan perbandingan .....	23

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada masa ini penggunaan *boiler* sebagai penghasil panas dan uap untuk pendukung kerja sistem produksi energi sangatlah pesat perkembangannya. Versatilitas dari energi panas dan uap yang dihasilkan *boiler* seringkali memegang kunci dari berjalannya suatu sistem industri karena dapat digunakan untuk penggerak mekanik (turbin) dan pemanas (*destilator, dryer*). Proses yang terjadi dalam *boiler* menimbulkan tekanan dari hasil pembuatan *steam* yang digunakan untuk menghasilkan energi, metode pengoperasian *boiler* yang umum digunakan adalah konversi energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar maupun dengan energi listrik pada *electrode* pemanas air dengan komposisi tertentu (Zhang et al., 2021), yang kemudian diubah menjadi energi panas, yang ditransfer melalui fluida kerja dengan membakar bahan bakar.

*Electric Boiler* adalah teknologi komersial yang mengalirkan arus listrik melalui air di antara elektroda (*electrode boiler*) atau melalui *element* pemanas yang terendam (*electric resistance boiler*) untuk menghasilkan uap dan air panas (Rightor et al., 2020). *Electric boiler* menunjukkan tingkat efisiensi termal yang tinggi, mencapai sekitar 99% (Rightor et al., 2020). Selain itu, boiler ini memiliki waktu *ramp-up* yang singkat dan waktu henti yang minim. Keunggulan lainnya adalah ketiadaan kebutuhan untuk instalasi perangkat pengurangan polusi di tempat, serta tanpa perlunya aksesoris pembakaran seperti tangki, saluran bahan bakar, saluran pembuangan, atau proses inspeksi yang mahal.

Selama masa pemakaian, boiler akan dilakukan *maintenance* dan pemeriksaan secara rutin karena boiler berjalan terus menerus atau memiliki jadwal yang ketat, sehingga terkadang diperlukan lebih dari satu boiler untuk mempertahankan pasokan *steam* yang stabil. *Boiler* pada pengoperasiannya, tekanan adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi keamanan operasi *boiler*. Pemilihan material pembuat boiler sangat diperhatikan untuk melindungi *boiler* dari kerusakan. Untuk meningkatkan efisiensi produksi energi, temperatur dan tekanan uap semakin tinggi yang akibatnya sering mengakibatkan retak tabung *boiler* (Ao et al., 2020). Proses *maintenance* dan pemilihan material yang kurang cocok dapat menimbulkan masalah pada dinding *boiler*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana pengaruh variasi tekanan dan material terhadap *von mises stress* pada *electric boiler*?
- b) Bagaimana perbandingan *yield strength* dan *von mises stress* hasil simulasi pada *electric boiler*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Mengetahui respon *von mises stress* terhadap perubahan tekanan pada *electric boiler*.
- b) Mengetahui hasil perbandingan *yield strength* dan *von mises strength* pada *electric boiler*.

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas diperlukan adanya batasan masalah agar tidak memperluas cakupan analisis pada penelitian ini. Berikut merupakan batasan masalah pada penelitian ini:

- a) Analisis persebaran panas menggunakan *finite element analysis software*.
- b) Simplifikasi desain *boiler*, dengan cara mengurangi komponen berukuran kecil dan lebih mengutamakan bagian – bagian *major* seperti *tube* dan *electrode*
- c) Variasi bahan aktual, tekanan yang diperbolehkan oleh *datasheet* yaitu 11 bar, 14 bar, 18 bar dan bahan aktual SA 516 *grade 70* ASME dan material komparator SA 285 *grade A* ASME.

## 1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian ini akan disusun dalam beberapa bab dengan rincian yakni sebagai berikut. Bab I Pendahuluan, bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika yang digunakan pada laporan ini. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori yang membahas tentang teori-teori yang digunakan untuk menunjang tugas akhir ini. Bab III Metodologi Penelitian, pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah – langkah yang digunakan untuk melakukan penelitian ini. Bab IV berisi pembahasan terkait hasil yang penelitian yang sudah didapatkan. Kemudian dari hasil analisis dari Bab IV akan ditarik kesimpulan dan juga saran yang akan dimuat pada Bab V yaitu Kesimpulan dan Saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 *Thermal stress*

*Thermal stress* merupakan *stress* yang ditimbulkan oleh faktor pemuaian panas yang ditahan maupun adanya gradien temperatur pada material. *Thermal stress* karena pemuaian panas yang ditahan terjadi saat suatu material homogen yang bersifat isotropis dipanaskan secara merata sehingga tidak ada gradien temperatur di seluruh bagian. *Thermal stress* juga dapat terjadi ketika ada gradien temperatur, karena pada saat material dipanaskan maka distribusi temperatur dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, konduktivitas termal material, dan tingginya temperatur. Sifat termal suatu material menunjukkan respon material tersebut terhadap (Callister & Rethwisch, 2007). Misalnya, pada zat padat yang menyerap energi dalam bentuk panas, menyebabkan temperatur dan ukuran zat berubah. Energi itu ditransfer ke area yang lebih dingin ketika gradien temperatur terbentuk dan zat tersebut kemudian meleleh. *Thermal stress*, pemuaian termal, dan konduktivitas termal adalah sifat – sifat panas yang sering digunakan saat bekerja dengan benda padat khususnya logam. Persamaan mengenai *thermal stress* karena perbedaan temperatur dapat dilihat pada persamaan (2.1) (Callister & Rethwisch, 2007).

$$\sigma_T = E\alpha\Delta T \tag{2.1}$$

Keterangan:

$\sigma_T$  = *thermal stress* (Pa)

$\alpha$  = koefisien muai termal material (mm/mm/°C)

$E$  = *modulus young* (Pa)

$\Delta T$  = selisih temperatur antara temperatur inisial dan *set up*

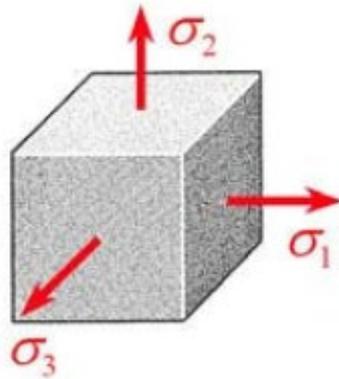
#### 2.2 *Von Mises Stress*

*Von mises stress* atau *equivalent stress* merupakan *stress* yang timbul pada suatu objek yang biasanya digunakan untuk memperkirakan terjadinya *yielding* (Jong & Springer, 2009). *Von mises stress* seringkali digunakan sebagai parameter untuk menentukan representasi dari *stress* yang terjadi pada suatu geometri secara tiga dimensi sebagaimana dilakukan oleh Siamak Hoseinzadeh dan P. Stephan Heyns (2020). Persamaan *von mises stress* dan *alternating stress* dimuat dalam persamaan (2.4).

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\sigma_v$  = von mises stress (Pa)



**Gambar 2. 1** Ilustrasi *principal stress* (Jong & Springer, 2009)

Dalam perhitungannya, *von mises stress* menggunakan *principal stress* sebagai properti perhitungan yang merepresentasikan *stress* yang terjadi secara tiga dimensi yang ditulis sebagai  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$  (Jong & Springer, 2009). Lalu pada kasus *cylindrical geometry*, *von mises stress* dapat dituliskan menjadi persamaan (2.5) sebagai representasi dari *principal stress* yang terjadi (Bai & Bai, 2014).

### 2.3 *Principal Stress*

Dalam konteks benda tiga dimensi karena ada tiga muka, maka ada tiga arah utama yang tiga arah utama tersebut menekankan pada *principal stress*  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , dan  $\sigma_3$  (Nisbeth, 2006). Dalam hal kasus penelitian ini, ketiga *principal stress* tersebut akan digunakan sebagai komponen untuk menentukan *von mises stress* sebagai representasi dari total tegangan yang bekerja dalam spesimen penelitian (*boiler*) dan untuk kasus penelitian ini, *cylindrical body* seperti *boiler* akan menggunakan *longitudinal stress*, *hoop stress* dan *radial stress* (Ibrahim et al., 2015) yang masing – masing persamaannya pada persamaan (2.6), persamaan (2.7) dan persamaan (2.8).

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_h - \sigma_l)^2 + (\sigma_l - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_h)^2}{2}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\sigma_v$  = von mises stress (Pa)

$\sigma_h$  = hoop stress (Pa)

$\sigma_l$  = longitudinal stress (Pa)

$\sigma_r$  = radial stress (Pa)

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \quad (2.6)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t} \quad (2.7)$$

$$\sigma_3 = -p \quad (2.8)$$

Keterangan:

p = internal pressure (Pa)

r = internal radius (m)

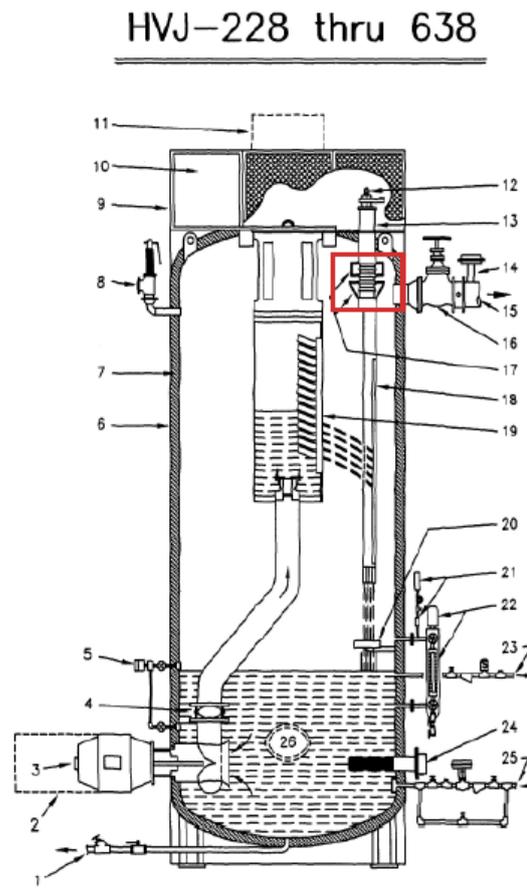
t = wall thickness (m)

## 2.4 High Voltage Jet Electrode Boiler

*High Voltage Jet (HVJ) Electrode Boiler* merupakan teknologi produksi steam yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaga pembangkitan steam. *HVJ Electrode Boiler* menghasilkan uap bertekanan tinggi melalui proses air konduktif yang disemprotkan ke batang *electrode* didalam *boiler* (Zhang et al., 2021). Arus listrik berstress tinggi berubah menjadi energi panas sehingga air menjadi *steam* bertekanan tinggi dalam waktu yang sangat cepat dan tidak menghasilkan emisi. Penjelasan tentang bagian-bagian dari *HVJ Electrode Boiler* dipaparkan pada Gambar 2.2.

Kapasitas produksi steam *HVJ Electrode Boiler* dapat mencapai 22 Ton/jam, tekanan kerja maksimal 250 Psi, dan temperatur kerja 200 °C berdasarkan spesifikasi dari produsen.

1. Blowdown Valves
2. Pump Removal Clearance
3. Circulation Pump w/ VFD
4. Check valve  
(For multiple pumps only)
5. Conductivity Cell
6. Sheet Metal Enclosure
7. Insulation
8. Safety Valves (2)
9. Electrode Terminal Enclosure
10. Conduit Entrance Panel
11. Header Removal Clearance
12. Conductor Rod
13. High Voltage Insulators
14. Back Pressure Regulator
15. Steam Outlet
16. Non-Return Valve
17. Insulator Shields
18. Electrode / Strike Plate
19. Nozzle Header
20. Counter Electrode
21. Pressure Manifold & Gage
22. Water Column & Gage
23. Surface Blowoff
24. Standby Heater
25. Feedwater Valve w/ Bypass
26. Manhole



**Gambar 2. 2** Bagian-bagian *HVJ Electrode Boiler* (Precision Boilers, 2017)

## 2.5 Fluid Structure Interaction

Simulasi interaksi fluida-struktur (*Fluid-Structure Interaction/FSI*) adalah metode numerik yang menggabungkan dinamika fluida dan deformasi struktur untuk menganalisis interaksi kompleks di antara keduanya. Dalam konteks *boiler* dan *heat exchanger*, *FSI* digunakan untuk memahami bagaimana aliran fluida mempengaruhi deformasi dinding tabung dan komponen lainnya, serta bagaimana perubahan bentuk struktur akibat tekanan termal mempengaruhi pola aliran fluida. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan simulasi *FSI* dapat membantu mengoptimalkan desain *boiler* atau jenis *pressure vessel* lain untuk meningkatkan efisiensi transfer panas dan ketahanan mekanis (Elwell & Bennett, 2020). Metode ini memungkinkan identifikasi titik-titik kritis di mana stres termal dan mekanis dapat menyebabkan kerusakan atau kelelahan material. Pada *boiler*, *FSI* digunakan untuk memprediksi respon tabung terhadap perubahan suhu yang tiba-tiba ataupun tekanan yang terjadi didalamnya sehingga dapat mencegah kegagalan struktural dan memperpanjang masa pakai peralatan. Selain itu, simulasi *FSI* membantu dalam pengembangan desain baru yang lebih efisien dengan mengurangi *hot spots* dan mengoptimalkan distribusi aliran.

## 2.6 Finite Element Methode

*Finite Element Methode (FEM)* adalah sebuah teknik penyelesaian masalah secara numerik. Teknik ini bekerja dengan cara membagi objek yang ingin dianalisis menjadi bagian-bagian kecil yang lebih sederhana (*element*). Masing-masing *element* kemudian dianalisis secara terpisah, dan hasil analisisnya digabungkan untuk mendapatkan solusi keseluruhan (Jagota et al., 2013). Keuntungan utama *FEM* adalah kemampuannya untuk menangani bentuk dan kondisi batas yang kompleks dengan mudah. Hal ini karena kumpulan *element* yang dapat disusun sehingga dapat membentuk berbagai macam geometri untuk menyesuaikan bentuk objek yang akan diteliti. Pada penelitian *FEM* di dalam *software FEA* akan dibagi menjadi beberapa tahap antara lain:

### a) Engineering Data

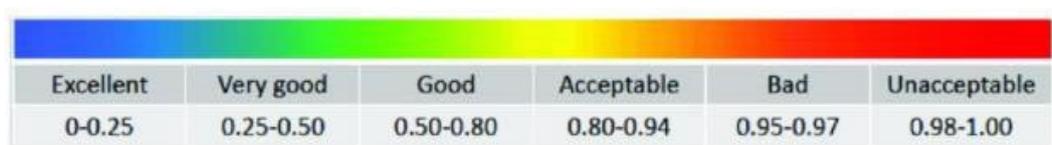
Pada tahap ini penulis diminta untuk memasukkan material yang dipakai, data yang dimaksudkan adalah tipe material dan properti yang ingin digunakan.

### b) Geometry

Pada tahap ini penulis diminta untuk membuat geometri dari objek yang akan diteliti dengan menetapkan dimensinya.

### c) Model

*Model* merupakan *window* dimana penulis menentukan *element – element* yang akan digunakan dalam penelitian. Kualitas pemodelan dapat ditentukan dengan nilai *skewness* dari hasil *meshing* yang dilakukan. Hasil dari *meshing* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran *element* dan metode yang digunakan.



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

**Gambar 2. 3** Tingkat kualitas *meshing* (Chia, & Fatchurrohman, 2017)

### d) Set Up

Pada tahap ini penulis mulai menganalisis objek yang sudah dibuat dengan memberikan *constrain* sesuai penelitian seperti mengaplikasikan temperatur, tekanan dan posisi *support*.

### e) Solution

Pada tahap ini penulis menentukan hasil apa yang diinginkan, hasil – hasil tersebut dapat berbeda berdasarkan jenis penelitian apa yang diambil seperti *Thermal Steady State*, *Static Structural*, *Aquatic* hingga *Fluent*.

**f) Results**

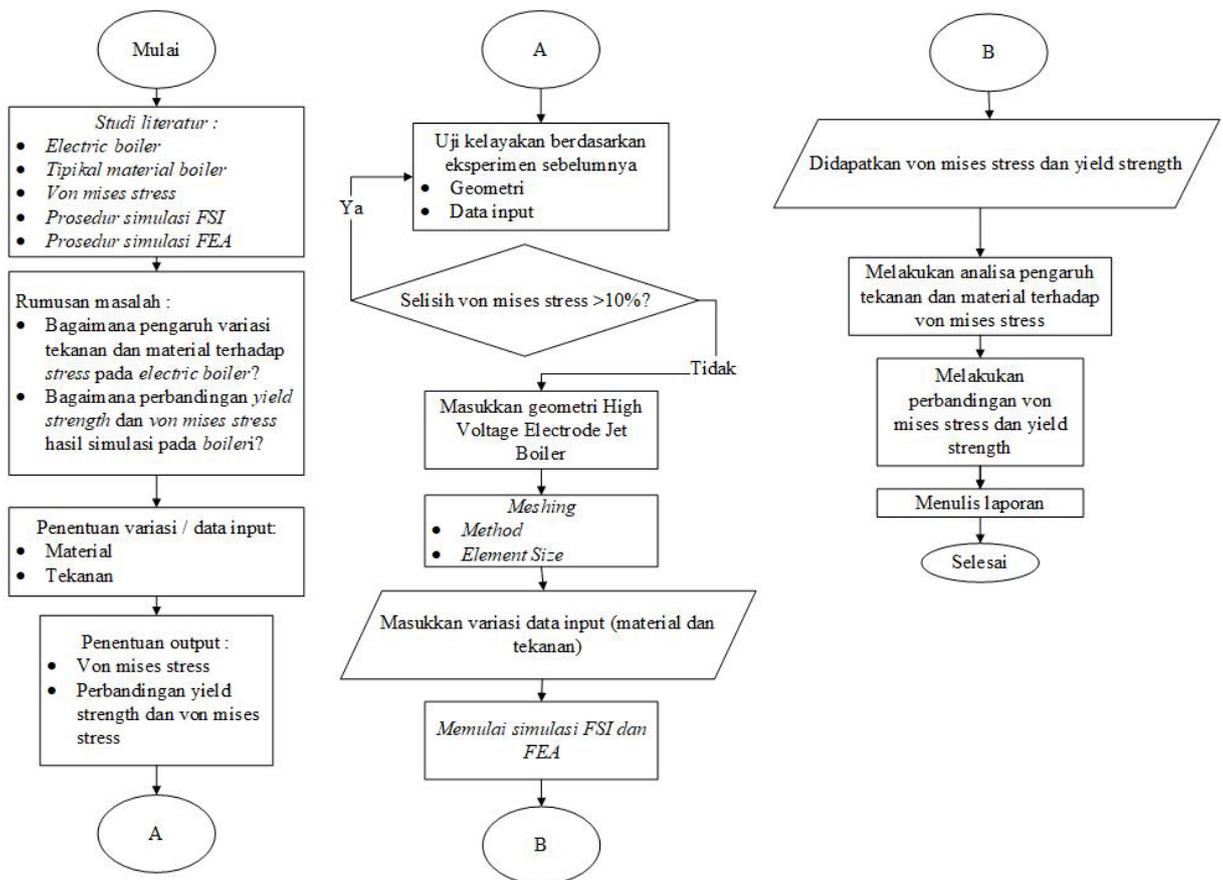
Tahap ini berupa window dimana peneliti mendapatkan hasil komputasi yang dilakukan oleh *software FEA*. Hasil seperti kontur suhu dan tekanan dan *von mises stress* tersedia pada jenis penelitian *Static Structural*.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Flowchart Penelitian

Tahap awal pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang didasarkan hasil-hasil penelitian terdahulu dengan bentuk *review* literatur yang berkaitan topik penelitian. Seluruh tahapan tersebut tersusun dalam *flowchart* penelitian pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



**Gambar 3. 1** Flowchart Penelitian

#### 3.2 Studi Literatur

Penelitian ini ditopang oleh studi literatur yang mendalam, yang menjadi fondasi untuk analisis hasil penelitian. Studi literatur tersebut mencakup berbagai topik, seperti *von mises stress*, tipikal material *boiler* beserta propertinya. proses simulasi *fluid structure interaction* dan

simulasi *finite element analysis* Selain itu, penelitian terdahulu bertopik serupa dikaji secara menyeluruh untuk memperkaya referensi dan memperkuat landasan penelitian ini. Studi literatur juga bertujuan untuk menentukan properti – properti material yang akan dimasukkan dalam *set up* simulasi nantinya.

Dari studi literatur yang telah dilakukan didapatkan dari ASME Boiler Pressure Vessel Code Section II part D (ASME, 2010) nilai properti yang diperlukan dalam proses simulasi sebagaimana dimuat dalam tabel (3.1).

**Tabel 3. 1** Properti Material Simulasi

<b>SA 516 Grade 70</b>		<b>SA 285 Grade A</b>	
UTS (Mpa)	485	UTS (Mpa)	310
YTS (Mpa)	234,5	YTS (Mpa)	165
Young Modulus (GPa)	191	Young Modulus (GPa)	192
Thermal Conductivity (W/m × C)	46,7	Thermal Conductivity (W/m × C)	56,7
CTE (m/m)/°C) × 10 <sup>-6</sup>	13,6	CTE (m/m)/°C) × 10 <sup>-6</sup>	13,8

### 3.3 Perumusan masalah

Pada tahap ini penulis menentukan jenis data input dan output beserta metode untuk mendapatkannya.

**Tabel 3. 2** Matriks Variasi

Tekanan (bar)	Material	Temperatur (°C)
11	SA 516 Gr 70	185
14		200
18		210
11	SA 285 Gr A	185
14		200
18		210

Data input yang dimuatkan dalam simulasi adalah temperatur dan material yang divariasikan berdasarkan *manual book* (Precision Boilers, 2017) mesin *boiler* yang diteliti, sedangkan data output berupa *von mises stress* untuk dibandingkan dengan properti *yield strength* jenis material. Variasi material komparator dinding *boiler* yang diambil berdasarkan data ASME untuk material umum yang dipakai oleh *boiler*, 3 variasi tekanan operasi *boiler*

yang diambil berdasarkan tekanan operasi dan *allowable maximum pressure*. Sehingga menghasilkan matriks variasi dengan total 6 variasi dapat dilihat pada tabel (3.2)

### 3.4 Simulasi

Proses *Finite Element Analysis* dalam penelitian ini menggunakan *FEA software*. Tahapan dari proses simulasi akan dibagi menjadi 3 yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post processing*. *Pre-processing* meliputi pembuatan geometri 3D menggunakan *software CAD (Computer Aided Design)*, penentuan parameter *meshing*, *setup* dan *boundary condition*. Tahap *processing* adalah tahap di mana komputer melakukan komputasi terhadap simulasi yang dijalankan. Kemudian tahap *post processing* yaitu dilakukannya interpretasi, pengolahan dan interpretasi dari hasil simulasi yang sudah dijalankan.

Secara umum, jumlah *element* yang dihasilkan selama proses *meshing* memengaruhi akurasi komputasi. Semakin banyak sel yang ada, hasil simulasi akan semakin mendekati kondisi sebenarnya. Namun, jumlah sel yang terlalu banyak juga dapat mengurangi efisiensi proses simulasi karena waktu komputasi yang dilakukan oleh komputer akan memakan waktu yang lebih lama. Untuk mengatasi ini, dilakukan *Grid Independence Test (GIT)*, proses ini bertujuan untuk menentukan jumlah sel minimum yang dapat memberikan hasil simulasi yang cukup akurat tanpa memperpanjang waktu komputasi secara signifikan. Hasil *GIT* akan menunjukkan jumlah sel yang optimal untuk mencapai keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Hasil *GIT* akan ditampilkan pada bab berikutnya.

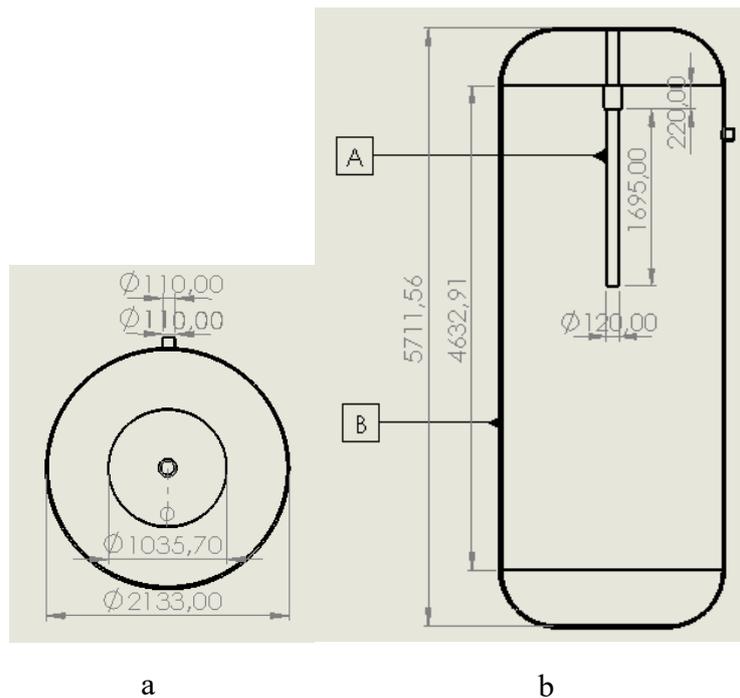
Pada penelitian ini terdapat 2 jenis simulasi yang dilakukan, yaitu simulasi untuk bagian fluida dan simulasi untuk bagian struktur *boiler* untuk mendapatkan nilai *von mises stress*. Hasil *applied thermal* dan *applied pressure* akan diimport untuk mendapatkan *thermal stress* dan *principal stress* sebagai properti untuk mendapatkan *von mises stress*.

**Tabel 3. 3** Kondisi Batasan Simulasi

<i>Tab</i>	<i>Parameter</i>	Kondisi
<i>General</i>	<i>Smoothing</i>	<i>High</i>
	<i>Inflation</i>	<i>None</i>
	<i>Check quality</i>	<i>Yes, error</i>
<i>Sizing</i>	<i>Type</i>	<i>Element size</i>
<i>Method</i>	<i>Scoping method</i>	<i>Geometry selection</i>
	<i>Method</i>	<i>Automatic (Tetrahedron)</i>
	<i>Elements order</i>	<i>Use global setting</i>

### 3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada total 6 variasi yang merupakan kombinasi dari pengaruh tipe material dan tekanan. Data yang diambil berupa kontur persebaran tekanan dan suhu lalu dilanjutkan dengan *von mises stress* sebagai untuk dibandingkan dengan *yield strength* sehingga diketahui bagian dinding mana yang paling terpengaruh oleh *stress* dan memperkirakan terjadinya *yield*. Pada penelitian ini, geometri dari boiler diambil dan disederhanakan dengan mempertimbangkan kompleksitas proses kalkulasi dengan fokus pada bagian *shell boiler*. Bagian – bagian major yang diambil antara lain adalah *shell* (A), *electrode* (B). Hasil dari geometri yang telah disederhanakan beserta didefinisikan dimensinya dalam satuan milimeter diberikan pada Gambar 3.4. Material *carbon steel* yang merupakan material *existing* dengan spesifikasi SA 516 Grade 70 digunakan oleh boiler, penelitian dilakukan juga menggunakan SA 285 Grade A sebagai pembanding.



**Gambar 3. 2** Geometri *boiler* yang sudah disederhanakan (a) Boiler tampak atas, (b) Boiler tampak samping

### 3.6 Analisis Data

Data yang didapatkan pada proses simulasi kemudian dibandingkan dengan properti *yield strength* material sesuai *standard* atau *code book* analitik, lalu dianalisis pengaruh dari berbagai variasi tekanan dan material. Hasil – hasil tersebut dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah pengamatan.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Validasi Simulasi dan *GIT (Grid Independent Test)*

Validasi pada simulasi dilakukan untuk memastikan kelayakan metode dan *setup* dalam *software* simulasi. Proses validasi melibatkan perbandingan antara hasil simulasi dengan data analitik (Habib et al., 2019). Dengan pertimbangan kemipiran kasus yang diangkat yaitu penentuan von mises stress berdasarkan beban termal dan mekanik dalam model *fluid structure interaction*.

Dengan input data yang disediakan sesuai penelitian terdahulu adalah sebagai berikut,

**Tabel 4. 1** Data input penelitian terdahulu

Input	value	Unit
pressure	10	Mpa
out temp	120	°C
in temp	20	°C
Modulus Elasticity	210	GPa
Material	Stainless Steel 304	

Didapatkan hasil perbandingan sebagai yang diberikan pada Tabel 4.2

**Tabel 4. 2** Tabel Matriks Validasi Simulasi

Von mises stress	Penulis	
	Analitik	Simulasi
	327	347
Penelitian Terhadulu (MPa)	360	360
<i>Error (%)</i>	9,16%	6,11%

Dari proses validasi yang dilakukan untuk mendapatkan *von mises stress*, didapatkan *error* antara simulasi penulis terhadap metode analitik penelitian terdahulu sebesar 3,6%, *error* antara simulasi penulis terhadap analitik penulis terdahulu sebesar 6,11% dan *error* antara analitik penulis terhadap analitik penelitian terdahulu sebesar 9,1%. Dengan mempertimbangkan properti koreksi yang digunakan dalam penelitian terdahulu yang tidak dicantumkan maka *setup* dari penelitian ini dapat digunakan.

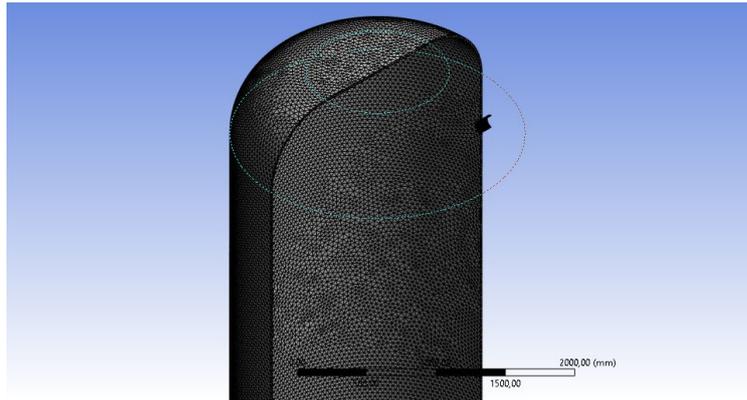
Setelah validasi, tahap selanjutnya adalah melakukan *Grid Independence Test (GIT)*. *Meshing* (pembentukan *element grid*) pada simulasi *FEA* memiliki dampak signifikan terhadap hasil yang diperoleh. Semakin banyak *element* dan *node* dalam *meshing*, hasil simulasi akan semakin akurat. Namun, peningkatan jumlah *element* dan *node* juga berarti simulasi akan memakan lebih banyak waktu dan sumber daya komputasi. Oleh karena itu, *GIT* dilakukan untuk menentukan konfigurasi *meshing* yang optimal, menggabungkan akurasi dengan efisiensi.

*GIT* dilakukan menggunakan salah satu variasi dari matriks variasi, mengambil jenis material dan tekanan yang sudah ditetapkan sebagai data input *GIT*. Data – data tersebut diambil dari variasi 1 yang berisikan jenis material SA 516 Grade 70 dan tekanan sebesar 11 bar yang berada pada temperatur operasi sebesar 200 °C.

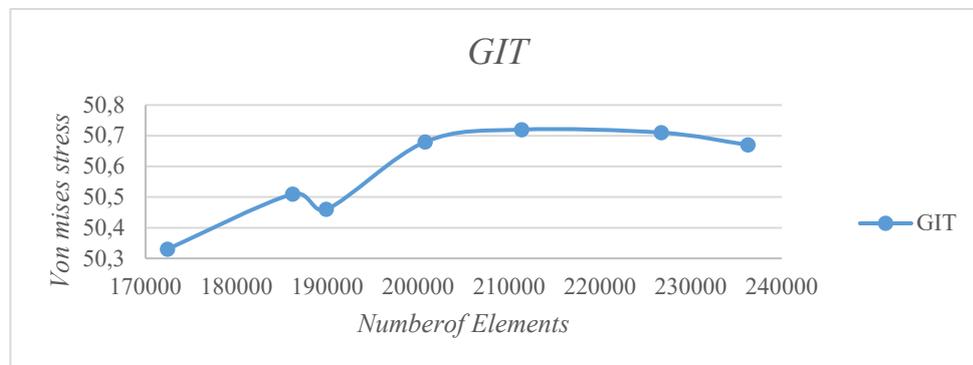
**Tabel 4. 3** Matrik *GIT*

Element Size (mm)	Mesh Quality (Skweness)	Number of elements	Von Mises Stress (Mpa)	Von Mises Stress (Mpa)	error (%)
35	0,92345347	236288	50,67	694,78	-
36	0,929278469	226768	50,71	694,78	0,078942175
37	0,923818182	211409	50,72	715,95	0,019719976
38	0,92745347	200785	50,68	715,95	0,078864353
39	0,93745347	189902	50,46	690,65	0,43409629
40	0,931135949	186221	50,51	690,18	0,099088387
41	0,95485686	172427	50,33	676,91	0,356365076

Pengaturan *element size* pada *meshing* divariasikan untuk mendapatkan jumlah *element* yang berbeda, pengaturan nilai *element size* terus dilakukan hingga nilai kualitas *meshing* dapat diterima dan hasil simulasi dari pengaturan satu ke pengaturan lain dirasa cukup linier. Linieritas ini digunakan sebagai penentu tingkat akurasi *element size* satu ketika dibandingkan dengan hasil simulasi yang didapatkan dari *element size* lain cukup konvergen. Hasil dari *GIT* diberikan pada Tabel 4.3. Percobaan *GIT* dilakukan pada 7 *sample* nilai *element size* dimulai dari 35 mm hingga 41 mm. Diketahui pada nilai *element size* diatas 41 mm tidak dilanjutkan setelah didapati bahwa nilai kualitasnya sudah tidak dapat diterima karena *skewness* melebihi nilai 0,94 sedangkan untuk nilai dibawah 40 mm variasi *element size* dihentikan pada nilai 35 mm dengan pertimbangan kapabilitas perangkat dan nilai *error* yang sudah dibawah 10%.



**Gambar 4. 1** *Geometry meshing element size 38 mm*

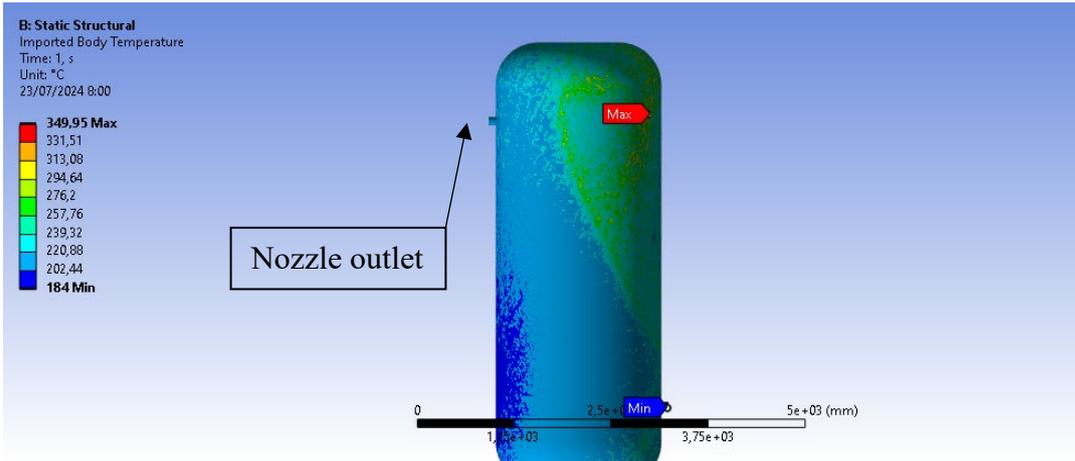


**Gambar 4. 2** Hasil *GIT*

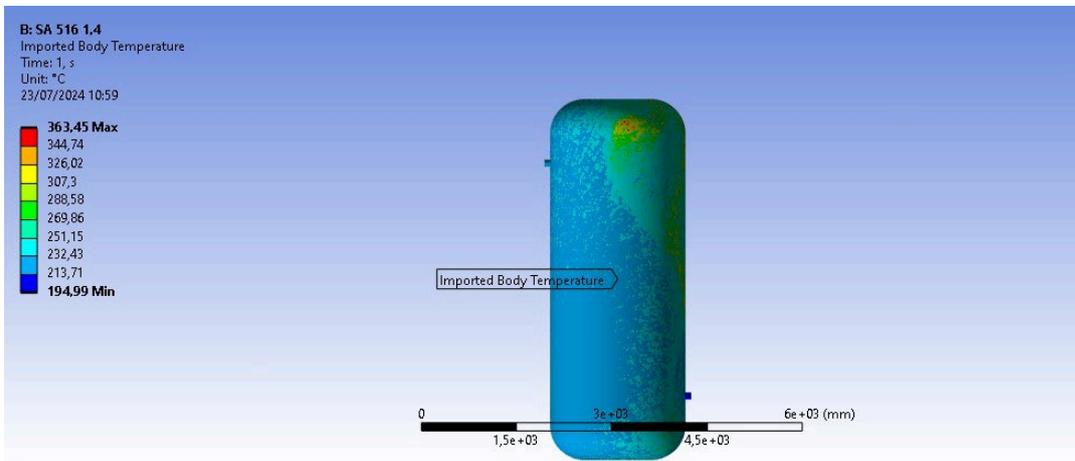
Hasil *GIT* menunjukkan bahwa kualitas *meshing* pada *element size* 35 mm hingga 40 mm dapat diterima dengan kualitas terbaik ada pada *element size* 37 mm dengan nilai *skewness* 0,92 dan *error* sebesar 0,019%. Tetapi, penelitian menggunakan ukuran *element size* 38 mm dengan pertimbangan nilai *error* sudah cukup kecil dan lama waktu komputasi sehingga ukuran 38 mm digunakan sebagai *setup* proses *meshing* pada simulasi.

#### **4.2 Persebaran Panas dan Tekanan pada Boiler**

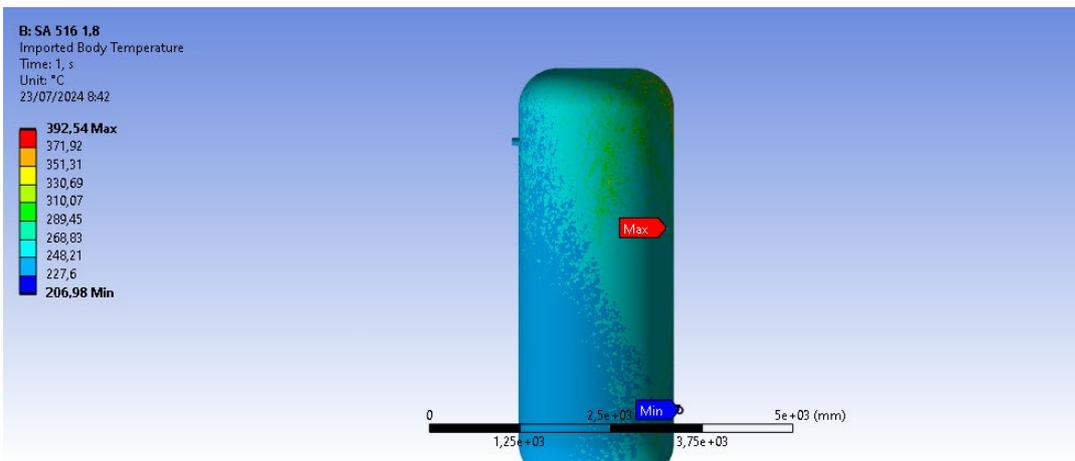
Boiler yang bekerja pada kondisi panas dengan fluida yang mengalir serta memiliki kontur persebaran panas yang berbeda – beda tergantung dari geometrinya. Pada studi kasus *high voltage jet electrode boiler* dengan geometri yang disederhanakan sesuai pada Gambar 3.4 diketahui bahwa *electrode* yang berada di bagian tengah menjadi sumber penghasil uap yang nantinya fluida uap akan mengalir kearah (sisi kiri) *nozzle outlet* sehingga sebagian daerah yang dekat dengan posisi elektroda memiliki suhu yang lebih tinggi.



Gambar 4. 3 Persebaran tekanan 11 bar



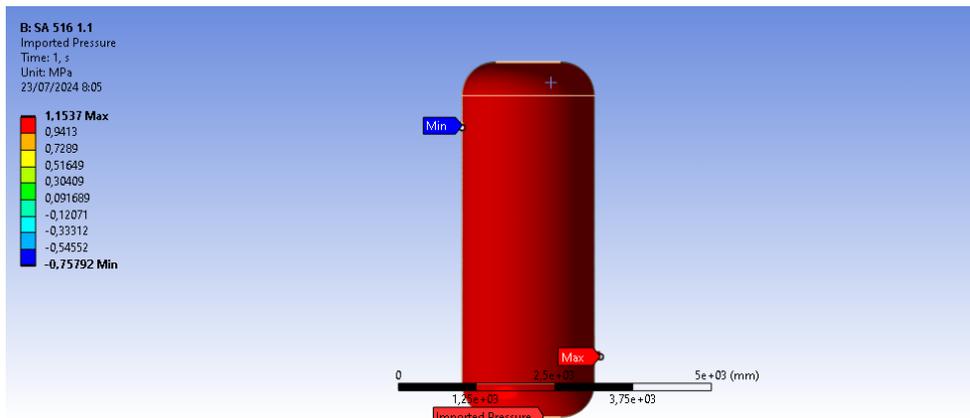
Gambar 4. 4 Persebaran tekanan 14 bar



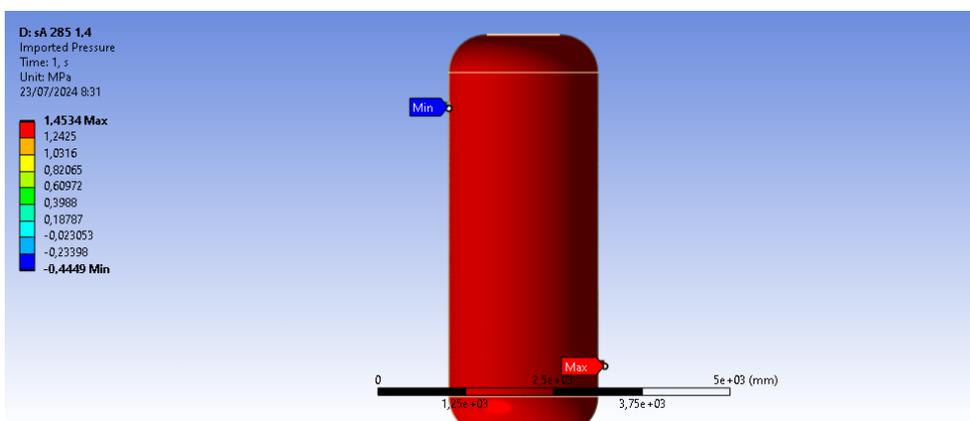
Gambar 4. 5 Persebaran tekanan 18 bar

Gambar 4.3 hingga Gambar 4.5 memberikan kontur persebaran panas yang terjadi didalam boiler. Suhu – suhu yang didapatkan sudah sesuai properti termodinamika uap air (*National Institute of Standards and Technology, 2016*), dengan rincian pada tekanan 11 bar dengan nilai tertinggi 349 °C dan terendahnya adalah 184 °C, pada tekanan 14 bar dengan nilai tertinggi 363 °C dan terendahnya adalah 194 °C lalu pada tekanan 18 bar dengan nilai tertinggi 392 °C dan terendahnya adalah 206 °C yang sudah ada pada dinding bagian kiri yang mengindikasikan semua suhu yang telah didapat sudah dalam bentuk *steam*.

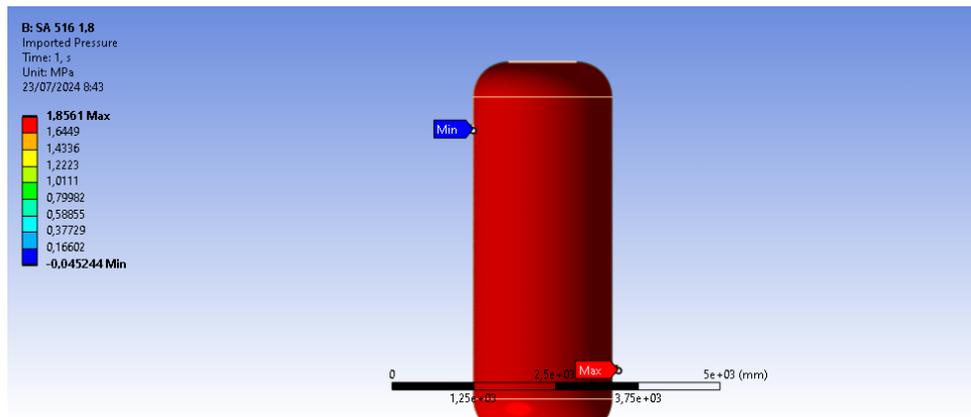
Persebaran panas yang dengan suhu yang lebih tinggi cenderung berada di area sekitar dari *electrode* hal ini diketahui karena dinding bagian kanan yang letaknya yang jauh dari *nozzle outlet* tetapi dekat dengan *electrode* akan terdapat fluida panas yang berkumpul sedangkan bagian dinding yang dekat dengan *nozzle outlet* akan lebih dingin karena fluida panas mengalir keluar. Kontur juga menunjukkan bahwa pada bagian *nozzle outlet* memiliki gradasi warna yang cukup tinggi, hal ini dikarenakan fluida panas menempati luasan penampang yang lebih kecil sehingga penurunan temperatur lebih lambat.



**Gambar 4. 6** Persebaran Tekanan 11 bar



**Gambar 4. 7** Persebaran Tekanan 14 bar



**Gambar 4. 8** Persebaran Tekanan 18 bar

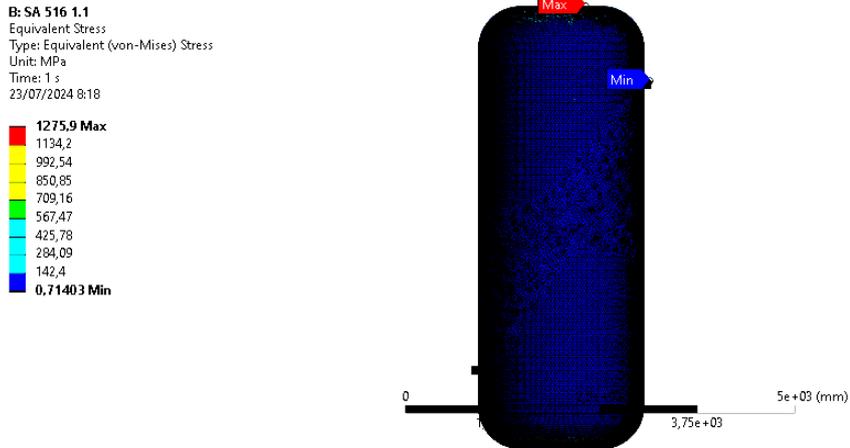
Pada Gambar 4.5, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diperlihatkan kontur dari persebaran tekanan yang diaplikasikan pada kondisi operasi dalam tahap simulasi fluida yaitu 11 bar, 14 bar dan 18 bar. Diperlihatkan bahwa tekanan yang diaplikasikan menyebar keluar dari uap yang dihasilkan nilai maksimalnya berturut – turut adalah 1,15 MPa, 1,45 MPa dan 1,85 MPa. Hasil analisis menunjukkan bahwa persebaran tekanan yang berada didalam *boiler* pada bagian dinding memiliki nilai tekanan yang cukup *uniform* kecuali pada bagian *nozzle outlet*. Hal ini disebabkan sifat fluida yang cenderung memenuhi ruangan sehingga tekanan akan cenderung konstan didalam area dinding tabung / *shell* pada *boiler*.

### 4.3 Hasil Simulasi (Pengaruh Tekanan dan Material terhadap *Von Mises Stress*)

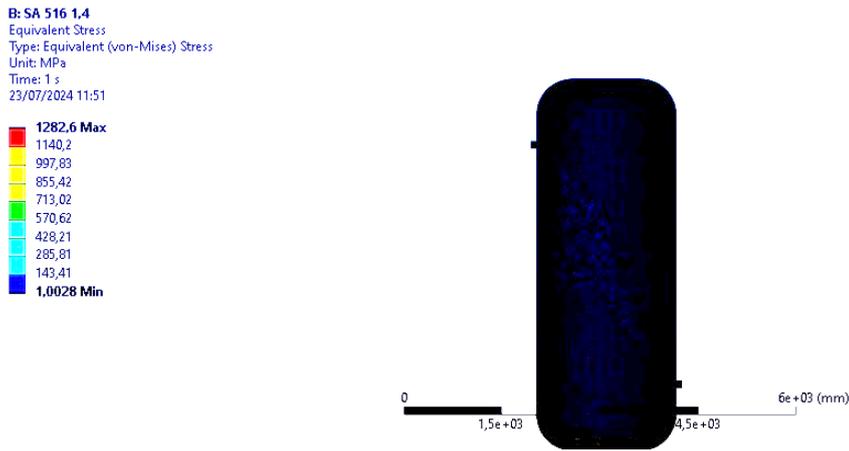
Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* yang berbasis metode *finite element analysis* dengan konsep *fluid structure interaction*. Dalam prosesnya, variasi yang diaplikasikan dalam simulasi dipertimbangkan dari kondisi aktual dari *boiler* dan batasan – batasan yang dijelaskan di *dalam datasheet / manual book boiler*.

Selain itu, variasi juga dilakukan dengan konsep uji coba di luar kondisi aktualnya dengan penggunaan material lain yang berjenis sama yaitu *carbon steel*. Menurut ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II part D (ASME, 2010) materials salah satu tipe *carbon steel* yaitu SA 285 Grade A yang berada pada grup berbeda dengan SA 516 Grade 70. Dengan komparasi yang masih setipe ini diharapkan variasi uji coba simulasi dapat diketahui relevansinya.

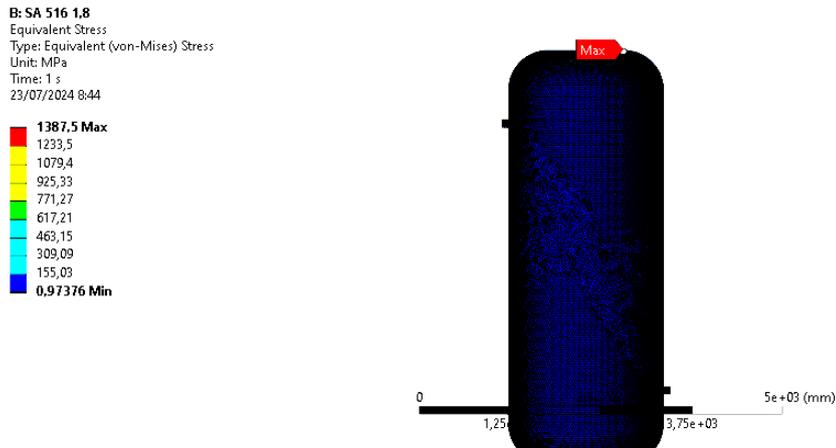
### 4.3.1 Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap *Von Mises Stress*



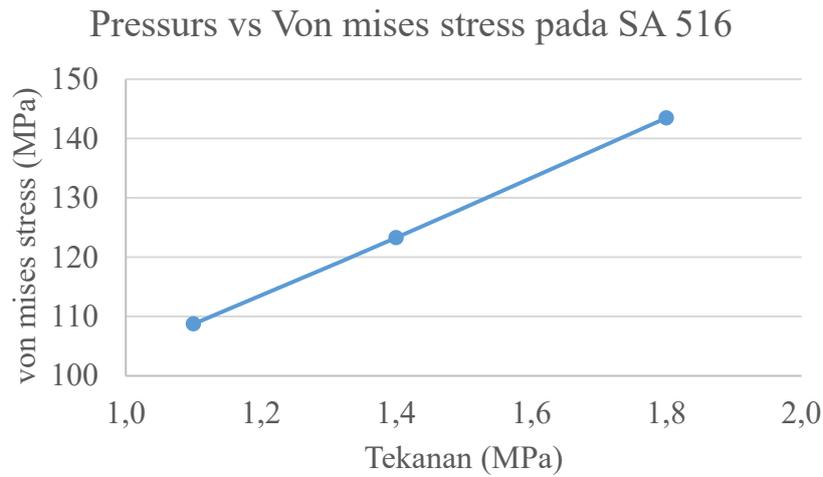
Gambar 4. 9 *Von mises stress* pada 11 bar dengan material SA 516



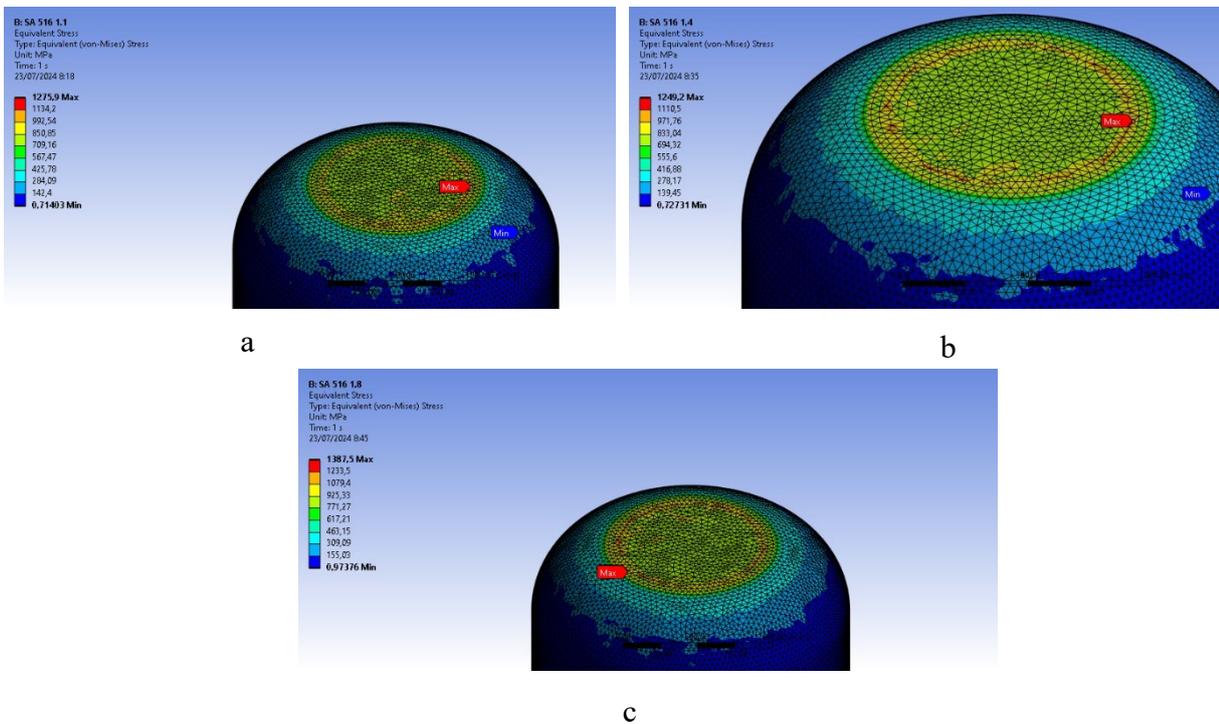
Gambar 4. 10 *Von mises stress* pada 14 bar dengan material SA 516



Gambar 4. 11 *Von mises stress* pada 18 Bar dengan material SA 516



**Gambar 4.12** Grafik Tekanan vs *von mises stress* pada SA 516



**Gambar 4.13** Daerah kritis pada variasi SA 516 dinding *boiler* (a) daerah kritis pada 11 bar (b) daerah kritis pada 14 bar (c) daerah kritis pada 18 bar

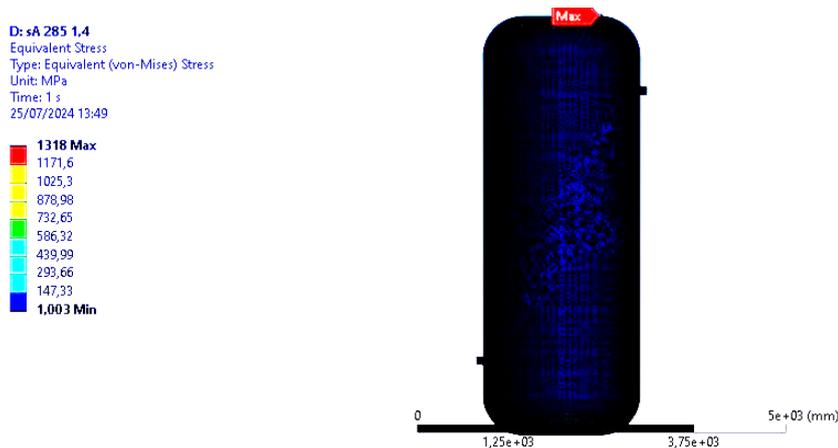
Pada sub bab ini pembahasan dilakukan dengan fokus pada perubahan *von mises stress* terhadap variasi nilai tekanan (von sehingga digunakan sampling pada material SA 516 sebagai materialnya. Variasi tekanan diambil dari tingkat tekanan operasi *boiler* yaitu 11 bar, 14 bar dan 18 Bar, lalu simulasi dilakukan dalam temperatur yang diberikan pada *steam table* yaitu minimumnya untuk 11 bar adalah 185 °C, untuk 14 bar adalah 200 °C dan untuk 18 bar adalah 210 °C. Dengan ini nilai *von mises stress* yang didapatkan tergantung dari pada variasi

tekanannya karena perubahan tekanan juga mempengaruhi perubahan suhu, hasilnya pada material SA 516 Grade 70 pada tekanan 11 bar didapatkan *stress* terbesar adalah 1275,5 MPa, terkecil adalah 0,71 MPa dan rata – rata adalah 108,74 MPa, pada tekanan 14 bar didapatkan *stress* terbesar adalah 1282,6 MPa, terkecil adalah 1 MPa dan rata – rata adalah 123,29 MPa lalu pada tekanan 18 bar didapatkan *stress* terbesar adalah 1387,5 MPa, terkecil adalah 0,97 MPa dan rata – rata adalah 145,46 MPa. Hasil ini diplotkan dalam grafik pada Gambar 4.12.

Posisi *stress* yang berada diatas ini adalah posisi dimana penempatan *fix support* pada simulasi yang disesuaikan dengan kondisi aktual dari boiler yang diperlihatkan pada Gambar 2.2. *Support* adalah daerah *element* yang didefinisikan sebagai daerah yang tidak mengalami pergerakan ataupun deformasi, sehingga *stress* yang berasal dari *element* lain disekitarnya menumpuk pada daerah *support* tersebut. Selain itu posisi dari *electrode* yang juga dekat posisi tersebut memberikan panas yang juga cukup tinggi sebagaimana diperlihatkan pada kontur persebaran panas.

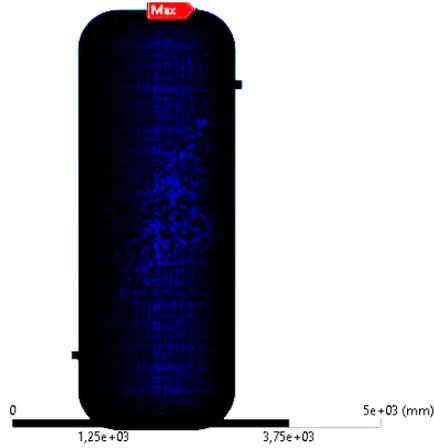
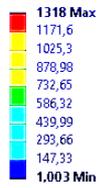
Maka, dengan analisa ini dapat diketahui posisi kritis yang berada pada dinding *boiler* yang terhimpit oleh *support* akan mengalami *stress* yang lebih tinggi dari dinding yang lain dikarenakan beban *stress* menumpuk pada area yang sama.

#### 4.3.2 Pengaruh Variasi Material Terhadap *Von Mises Stress*



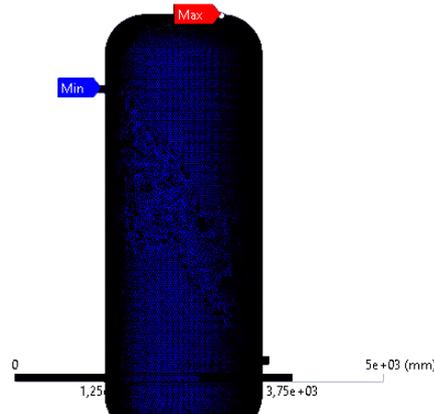
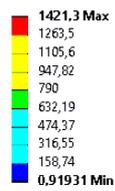
**Gambar 4. 14** *Von mises stress* pada 11 bar dengan material SA 285

D: sA 285 1,4  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1 s  
 25/07/2024 13:49



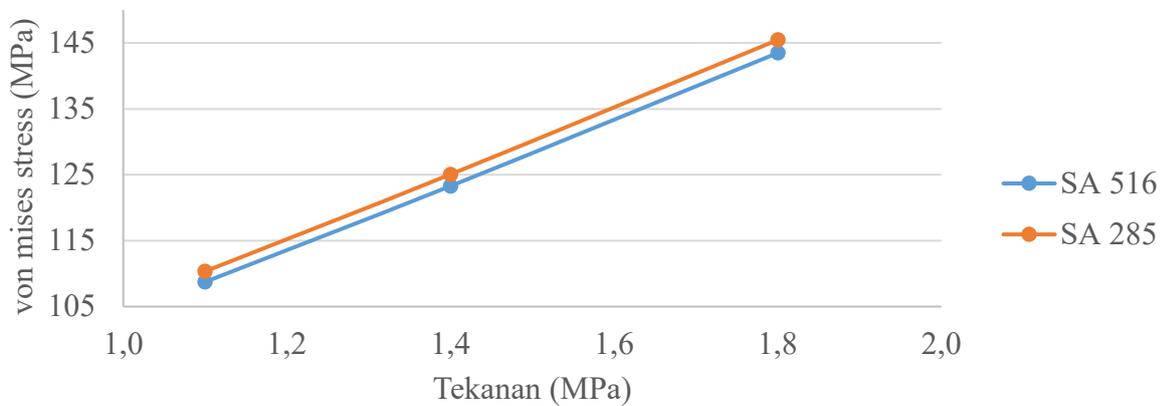
**Gambar 4. 15** Von mises stress pada 14 bar dengan material SA 285

E: SA 285 1,8  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1 s  
 23/07/2024 8:49



**Gambar 4. 16** Von mises stress pada 18 bar dengan material SA 285

### Perbandingan stress antar material



**Gambar 4. 17** Grafik Perbandingan *von mises stress* antar material

Pada sub bab ini pembahasan dilakukan dengan fokus pada pengaruh jenis material yang digunakan terhadap nilai *von mises stress* yang ditimbulkan. Maka dilakukan *sampling* untuk tekanan 11 bar sebagai perbandingan kontur *von mises stress*-nya. Dari Gambar 4.9 hingga Gambar 4.11 yang diberikan untuk material SA 516 dibandingkan dengan Gambar 4.14 hingga 4.16 untuk material SA 825 lalu dapat dilihat bahwa kontur warna dan posisi kritis dari *von mises stress* kedua tipe material memiliki karakteristik yang kurang lebih sama dari pada variasi tekanan.

Dari hasil simulasi diambil nilai rata – rata sebagai representasi perubahan nilai *stress* akibat perubahan tekanan dan material. Hasilnya, pada Gambar 4.17 diketahui bahwa perubahan nilai rata – rata *stress* yang didapatkan memiliki karakteristik perubahan kurva yang mirip antara material SA 516 dan SA 285 dengan gap sekitar 1,4% pada tiap variasi tekanan. Nilai dari *von mises stress* yang pada material SA 285 cenderung lebih tinggi dikarenakan pada pembebanan termal pada material yang berbeda menghasilkan nilai *stress* yang berbeda. *Thermal stress* yang menjadi tegangan akibat proses termal dipengaruhi oleh *modulus young* dan *coefficient thermal expansion*, sehingga sesuai data propertinya *coefficient thermal expansion* untuk SA 285  $1,38 \times 10^{-5}$  lebih tinggi dari SA 516 yang sebesar  $1,36 \times 10^{-5}$ .

#### 4.4 Perbandingan Von Mises Stress dan Yield Strength

*Yield strength* juga dikenal sebagai tegangan luluh, adalah sifat material yang menunjukkan tegangan yang menyebabkan material mulai mengalami deformasi plastis (Callister & Rethwisch, 2007).

**Tabel 4. 4** Hasil simulasi dan perbandingan

Steam		Von mises tress			Strength	Result
Pressure (MPa)	Temp (°C)	Max (MPa)	Average (MPa)	Min (MPa)	Yield Strength (MPa)	Gap (%)
1,1	185,0	1249,2	108,74	0,62245	225	51,7
1,4	200,0	1282,6	123,29	0,72124	225	45,2
1,8	210,0	1387,5	143,48	0,9131	225	36,2
1,1	185,0	1279,9	110,34	0,69209	142	22,3
1,4	200,0	1318,8	125,06	1,003	142	11,9
1,8	210,0	1421,3	145,46	0,95492	142	-2,4

Pada tingkat *stress yield strength* suatu material akan berubah bentuk secara elastis yang berarti ketika *stress* dihilangkan material akan kembali ke bentuk awalnya. Jika *stress* yang

diberikan melebihi kapasitas *yield strength* bahan akan berubah bentuk secara permanen dan tidak akan dapat kembali ke bentuk awalnya.

Simulasi menunjukkan nilai maksimum, nilai minimum dan nilai rata – rata yang digambarkan dengan kontur warna untuk mempermudah analisis hasil simulasi. Nilai – nilai tersebut diberikan pada Tabel 4.4. Untuk material SA 516 Gr 70 dengan *yield strength* sebesar 225 MPa didapati pada tekanan uap 11 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 108,74 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 51,7% lebih rendah. Pada tekanan uap 14 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 123,6 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 45,2% lebih rendah, pada tekanan uap 18 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 143,74 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 36,2% lebih rendah. Untuk material SA 285 Gr A dengan *yield strength* sebesar 142 MPa didapati pada tekanan uap 11 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 110,34 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 22,3 % lebih rendah. Pada tekanan uap 14 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 125,06 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 11,9 % lebih rendah, pada tekanan uap 18 bar, nilai *von mises stress* rata - rata tercatat sebesar 145,26 MP sehingga presentase gap yang dengan *yield strength*-nya adalah 2,4% lebih tinggi. Dari analisis ini dapat diketahui sebagian besar area dari dinding boiler tidak mengalami deformasi plastis tetapi sebagian kecil area yang berada pada dinding bagian atas akan mengalami deformasi plastis dan pada variasi 18 bar didapati bahwa seluruh dinding boiler mengalami deformasi karena nilai *von mises stress* melebihi nilai *yield strength* material.

Mengacu pada konsep *leak before break* diketahui bahwa minimum untuk *wall thickness* menurut Renaud Borga (2017) dihitung menggunakan persamaan (4.1)

$$t = \frac{P \times R}{\sigma_{ys}} \quad (4.1)$$

Keterangan:

t = *minimum thickness* (m)

P = *internal pressure* (Pa)

R = *internal radius* (m)

$\sigma_{ys}$  = *yeild strength* (Pa)

Didapatkan nilai *minimum thickness* untuk SA 516 pada 11 bar adalah 10,42 mm, pada 14 bar adalah 13,26 mm dan pada 18 bar adalah 17,05 mm sedangkan untuk SA 285 pada 11 bar adalah 16,51 mm, pada 14 bar adalah 21,01 mm dan pada 18 bar adalah 27,02 mm. Analisis ini

menunjukkan untuk beberapa variasi tekanan, kondisi ketebalan dinding aktual (18,65 mm) sudah tidak memenuhi syarat yaitu pada variasi material SA 516 tekanan 18 bar, variasi material SA 285 tekanan 14 bar dan 18 bar sehingga untuk variasi SA 285 dengan tekanan 18 bar akan memerlukan penebalan plat dinding.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh tekanan terhadap *von mises stress* menunjukkan kenaikan nilai pada seiring naiknya variasi tekanan, dengan hasil *von mises stress* pada tekanan 11 bar, material SA 516 Gr 70 menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1249,2 MPa, nilai rata-rata sebesar 108,74 MPa, dan nilai minimum sebesar 0.62245 MPa. Pada tekanan 14 bar, material SA 516 Gr 70 menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1282,6 MPa, nilai rata-rata sebesar 123,29 MPa, dan nilai minimum sebesar 0.72 MPa. Pada tekanan 18 bar, material SA 516 Gr 70 menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1387,5 MPa, nilai rata-rata sebesar 143,48 MPa, dan nilai minimum sebesar 0,91MPa. Kemudian pada variasi material selanjutnya SA 285 didapatkan pada 11 bar, material SA 285 Gr A menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1279,9 MPa, nilai rata-rata sebesar 110,34 MPa, dan nilai minimum sebesar 0,69 MPa. Pada tekanan 14 bar, material SA 285 Gr A menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1318 MPa, nilai rata-rata sebesar 125,06 MPa, dan nilai minimum sebesar 1,003 MPa. Pada tekanan 18 bar, material SA 285 Gr A menunjukkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 1421,3 MPa, nilai rata-rata sebesar 145,46 MPa, dan nilai minimum sebesar 0,95 MPa.
2. SA 516 *Grade 70* memiliki *yield strength* sebesar 225 MPa sehingga untuk variasi tekanan 11 bar selisihnya antara *yield strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 445% lebih tinggi dan dengan reratanya 51,67 % lebih rendah, pada 14 barselisihnya antara *yield strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 470 % lebih tinggi dan dengan reratanya 45,2 % lebih rendah dan pada 18 bar selisih *yield strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 517% lebih tinggi dan dengan reratanya 36,2% lebih rendah. Sedangkan untuk material SA 285 *Grade A yield strength* dari material ini adalah 142 MPa sehingga selisihnya antara *yield strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 801 % lebih tinggi dan dengan reratanya 22,3% lebih rendah untuk variasi tekanan 11 bar, lalu pada 14 bar selisihnya antara *yield*

*strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 821% lebih tinggi dan dengan reratanya 11,9% lebih rendah dan pada variasi 18 bar selisihnya antara *yield strength* dan maksimum *von mises stress* adalah sekitar 901 % lebih tinggi dan dengan reratanya 2,4% lebih tinggi sehingga pada variasi 18 jenis akan terjadi deformasi plastis, selain itu hasil analisis *minimum thickness* juga menunjukkan bahwa diperlukan pula penebalan dinding menjadi 27 mm untu variasi ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Callister, W. D., & Rethwisch, J. (2007). *Materials Science 7th edition*. John Rethwisch & Sons. Inc.
- Hoseinzadeh, S., & Heyns, P. S. (2020). Thermo-structural fatigue and lifetime analysis of a heat exchanger as a feedwater heater in power plant. *Engineering Failure Analysis, 113*.
- Edward Rightoor, Andrew Whitlock, and R. Neal Elliott. (2020). Beneficial Electrification in Industry.
- Installation and Operating Instructions Model HVJ Electrode Boiler. (2017). Precision Boiler.
- Zhang, P., Wang, S., & He, Z. (2021). Optimal Economic Dispatching Approach of High Voltage Electrode Boiler Combined with Coal-fired Power Units to Participate in Frequency Regulation Service Based on Two-stage Stochastic Programming. *IEEE 4th International Conference on Renewable Energy and Power Engineering*.
- Zhang, Z., Yang, Z., & Nie, H. (2020). A thermal *stress* analysis of fluid–structure interaction. *Asia Pacific Journal of Chemical Engineering*.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (2010) Division II part D Properties (Metric) Materials
- Nisbeth, Richard G. Budynas, (2006) Shigley's Mechanical Engineering Design 8<sup>th</sup> edition
- Bai, Qiang & Bai, Yong (2014) Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation.
- Ibrahim, Ahmed., Yeong, Ryu & Saidpour, Mir (2015) Stress Analysis of Thin-Walled Pressure Vessels.
- Bourga, Renaud (2017) The mechanism of Leak-Before Break fracture and its application in Engineering Critical Assessment.
- National Institute of Standards and Technology (2016) Properties of Water and Steam (Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance).
- El-Sayed Habib, Medhat Awad El-Hadek & Abla El-Megharbel (2018) Stress Analysis for Cylinder Made of FGM and Subjected to Thermo-Mechanical Loadings.
- Cliff Elwell & George Bennett (2020) Effect of boiler oversizing on efficiency: a dynamic simulation study.
- Ing-Chang Jong & William Springer Teaching Von Mises Stress: From Principal Axes To Nonprincipal Axes.
- Vishal Jagota, Aman Preet Singh Sethi & Khushmeet Kumar (2013) Finite Element Method: An Overview

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo, 17 April 1999. Pendidikan Formal yang ditempuh oleh penulis di SMA Negeri 1 Krembung lalu penulis melanjutkan pendidikan diploma di Departemen Otomasi Sistem Instrumentasi Fakultas Vokasi Universitas Airlangga. Selama berkuliah pada jenjang diploma, penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi sebagai Himpunan Mahasiswa Otomasi Sistem Instrumentasi (2018-2020) dan Anggota Tim *Airlangga Strike Robotic and Instrument* (2019-2021) sebagai staff divisi elektrik dan merangkap sebagai mekanik. Pada jenjang ini, penulis berkesempatan untuk mendapatkan sertifikasi dari Solidwork tingkat *Associate* (CSWA) dan melakukan kerja praktik di PT. Pertamina Hulu Energi sebagai intern instrument operator dan drafter. Penelitian tugas akhir pada jenjang diploma berjudul Rancang Bangun Monitoring Kecepatan Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus-H Berbasis IoT. Setelah itu penulis melanjutkan jenjang pendidikan sarjana di Departemen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan berfokus pada bidang energi. Pada jenjang sarjana, penulis berkesempatan untuk melakukan kerja praktik di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya sebagai intern *calibration staff* dan PT. Pertamina Patra Niaga sebagai *intern project engineer*.