



## ANALISIS TEGANGAN *ORIFICE CHAMBER* YANG MENGALAMI LOKAL *HOT SPOT* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Barkah Fitriyana<sup>1,a</sup>, Mustasyar Perkasa<sup>1,2,b</sup>, Ogi Ivano<sup>1,c</sup>, Wahyu Sulistiyo<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur BPPT, Gd.220 PUSPITEK, Tangerang Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : <sup>a</sup>barkah.fitriyana@bppt.go.id; <sup>b</sup>mustasyar.perkasa@bppt.go.id;  
<sup>c</sup>ogi.ivano@bppt.go.id; <sup>d</sup>wahyu.sulistiyo@bppt.go.id

Masuk : 24 Februari 2020

Direvisi : 3 Maret 2020

Disetujui : 21 Maret 2020

**Abstrak:** *Orifice chamber* merupakan salah satu jenis dari bejana bertekanan. Dalam proses perancangan, dibutuhkan analisis tegangan yang dapat dilakukan dengan perhitungan secara analitis maupun numerik dengan metode elemen hingga. Selain untuk perancangan, analisis tegangan secara numerik juga dilakukan untuk *orifice chamber* yang mengalami cacat sesuai dengan CODE API 579-1/ASME FFS-1 *Fitness for Service*. Cacat yang bisa terjadi pada *orifice chamber* salah satunya berupa *hot spot*. *Hot spot* merupakan panas lokal yang terjadi di area tertentu pada struktur *orifice chamber*. Paper ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan analisis tegangan metode elemen hingga. Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan dan simulasi *orifice chamber*. Data temperatur *hot spot* didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan *fluke thermography*. Hasil simulasi numerik pada *orifice chamber* di lokasi terjadinya *hot spot* berupa nilai tegangan yang lebih kecil dari tegangan ijin material sehingga struktur *orifice chamber* memenuhi kriteria keberterimaan dan aman untuk digunakan.

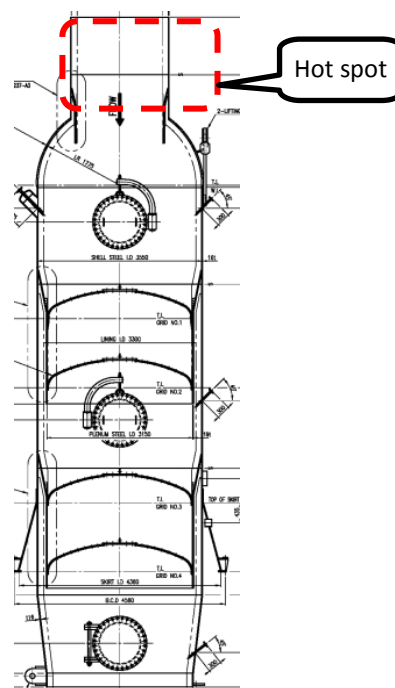
Kata kunci: *Orifice chamber*, analisis tegangan, *hot spot*, metode elemen hingga

**Abstract:** *Orifice Chamber* is one of pressure vessel equipment. In design process, stress analysis is needed and it can be done by analytical or numerical calculations using the finite element method. Beside for design process, numerical analysis also carried out for defect orifice chambers according to CODE API 579-1 / ASME FFS-1 *Fitness for Service*. One of the defects that occur at the orifice chamber is a hot spot. Hot spot is local heat that occurs in certain areas of the orifice chamber structure. This paper aims to determine the strength of the orifice chamber structure that experiences local hot spots by finite element method. The study was conducted by modeling and simulating the orifice chamber. Hot spot temperature data is collected from measurements using fluke thermography. The result of numerical simulations on the orifice chamber at the hot spot location is stress value smaller than allowable stress of material so that the orifice chamber structure meets the acceptance criteria and it safe to use.

**Keywords:** *Orifice chamber*, stress analysis, hot spot, finite element method

## PENDAHULUAN

Pada struktur *orifice chamber* mengalami *hot spot* pada bagian *shell* bagian atas seperti yang terlihat pada gambar 1. Temperatur tertinggi yang terukur pada daerah *hot spot* sebesar 460°C. Daerah *hot spot* inilah yang akan diperiksa dengan analisis tegangan metode elemen hingga (FEM) untuk mengetahui kondisi struktur *orifice chamber*. Tujuan dari analisis tegangan yaitu untuk mengetahui data berupa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *orifice chamber* yang mengalami *hot spot*. Struktur memenuhi kriteria aman jika hasil simulasi berupa tegangan maksimum yang terjadi pada *orifice chamber* masih berada di bawah nilai tegangan ijin (*allowable stress*) materialnya. Nilai tegangan ijin material didapatkan dari standar *ASME Boiler And Pressure Vessel Code Section II Part D Properties metric*.



Gambar 1. Lokasi *hot spot* pada *orifice chamber*

*Orifice chamber* merupakan salah satu peralatan industri di bidang *refinery* atau perkilangan yakni pada sistem RFCC (*Residual Fluid Catalytic Cracking*) di mana minyak mentah sisa akan diolah lagi menjadi produk energi yang memiliki nilai jual yang tinggi. *orifice chamber* berfungsi untuk menurunkan tekanan fluida dengan menggunakan *grid plate* bertingkat yang dipasang di dalam *shell orifice chamber*. Pada perancangan *orifice chamber*, yang merupakan salah satu jenis bejana bertekanan (*Pressure Vessel*) biasanya memerlukan analisis tegangan yang dapat dilakukan secara analitis maupun numerik dengan metode elemen hingga [1]. Analisis tegangan dilakukan untuk memastikan bahwa *orifice chamber* yang dibuat telah memenuhi standar *code* tertentu dan aman untuk dioperasikan. Analisis tegangan dengan metode elemen hingga juga digunakan dalam pengkajian *orifice chamber* yang bermasalah atau cacat [2]. Permasalahan pada bejana bertekanan, termasuk *orifice chamber* dalam dunia industri diantaranya [3], yaitu:

- linier dan nonlinier, statik dan dinamis, analisa tegangan dan defleksi (STR)
- stabilitas (STA)
- thermal (THE)
- fraktur mekanik (FRA)
- kontak (CON)
- fluida (FLU)
- manufaktur (MAN)
- pengelasan komponen PV (WEL)
- spesial metode elemen hingga untuk PV (ELE)

- Software elemen hingga (SOF)
- Topik lain (OTH)

Topik thermal menjadi salah satu topik permasalahan yang sering terjadi, salah satunya *hot spot*. *Hot spot* berupa panas lokal yang terjadi pada daerah tertentu struktur dan merupakan suatu bentuk dari tegangan thermal lokal [4]. *Hot spot* terjadi pada bagian *shell orifice chamber* dengan spesifikasi *orifice chamber* pada tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi teknis *orifice chamber***

Spesifikasi	Besaran dan Satuan
Diameter dalam (ID)	2100 mm
Tebal	16 mm
Tekanan desain	0.0358 kgf/mm <sup>2</sup>
Tekanan operasi	0.00916 kgf/mm <sup>2</sup>
Temperatur desain	788 °C
Temperatur operasi	709 °C

## METODOLOGI

### 3.1 Properti material

Material yang digunakan pada *orifice chamber* terdiri dari 2 jenis, yaitu SA516 grade 70 pada bagian *shell orifice chamber* dan pliflow 3-24 pada bagian *refractory*. Detail properti material dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2. Properti material *orifice chamber***

Properti	Besaran dan Satuan
Material <i>shell</i>	SA516-70
densitas	7750 kg/m <sup>3</sup>
<i>Tensile strength</i>	485 MPa
<i>Yield strength</i>	260 MPa
<i>Poisson ratio</i>	0,3
Material <i>refractory</i>	Pliflow 3-24

### 3.2 Kriteria Keberterimaan

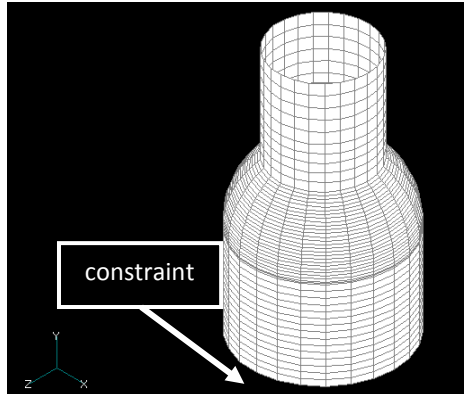
Sebagai Kriteria keberterimaan, nilai tegangan maksimum yang terjadi harus lebih kecil dari nilai tegangan ijin material. Tegangan ijin material SA516-70 [5] dapat dilihat padat tabel 3.

**Tabel 3. Nilai tegangan ijin SA516-70 dengan Variasi Temperatur**

Temperatur (°C)	Tegangan ijin (MPa)	Tegangan ijin (kgf/mm <sup>2</sup> )
200	150	15
300	136	13.6
400	101	10.1
420	87 (Interpolasi)	8.7 (Interpolasi)
425	83.8	8.38
430	80.4 (Interpolasi)	8.04 (Interpolasi)
450	66.8	6.68
460	64.2 (Interpolasi)	6.42 (Interpolasi)
475	50.3	5.03
500	33.2	3.32
525	21.4	2.14
550	14.2	1.42

### 3.3 Geometri Model dan *Boundary Condition*

Elemen yang digunakan dalam pemodelan *orifice chamber* yakni elemen pelat. Geometri model *orifice chamber* dapat dilihat pada gambar 2. Untuk posisi *constraint* berada pada lokasi paling bawah dari pemodelan. Pemodelan dilakukan dari atas *head orifice chamber* sampai pada ketinggian 5800 mm.



Gambar 2. Geometri model *orifice chamber*

### 3.4 Pembebanan

Pembebanan pada struktur *orifice chamber* meliputi beban-beban berikut ini :

1. *Dead load (DL)*

a. *Dead Load Shell Plate(W1)*

**Tabel 4. Data perhitungan *dead load shell***

Spesifikasi	Besaran dan Satuan
ID	2100 mm
Thickness	16 mm
Density ( $\rho$ )	7750 kg/m <sup>3</sup>
Tinggi	5800 mm

Perhitungan:

$$L1 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (2100)^2 = 3461850 \text{ mm}^2$$

$$L2 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (2132)^2 = 3568157.84 \text{ mm}^2$$

$$L_{total} = L2 - L1 = (3568157.84 - 3461850) \text{ mm}^2 = 106307.84 \text{ mm}^2$$

$$V = L_{alas} t = L_{total} t = (106307.84 \text{ mm}^2)(5800 \text{ m}) = 616585472 \text{ mm}^3$$

$$m = \rho V = 7750(10^{-9}) \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \times 616585472 \text{ mm}^3 = 4778.537 \text{ kg}$$

$$W_1 = mg = 4778.537 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 46829.66 \text{ N}$$

b. *Dead load Refractory (W2)*

**Tabel 5. Data perhitungan *dead load refractory***

spesifikasi	Besaran dan Satuan
ID	1850 mm
Thickness	125 mm
Density ( $\rho$ )	2400 kg/m <sup>3</sup>
Tinggi refractory	2230.8 mm

$$L1 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (1850)^2 = 2686662.5 \text{ mm}^2$$

$$L2 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (2100)^2 = 3461850 \text{ mm}^2$$

$$L_{total} = L2 - L1 = (3461850 - 2686662.5) \text{ mm}^2 = 775187.5 \text{ mm}^2$$

$$V = L_{total} t = (775187.5 \text{ mm}^2)(2230.8 \text{ m}) = 1729288.275 \text{ mm}^3$$

$$m = \rho V = 2400(10^{-9}) \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \times 1729288.275 \text{ mm}^3 = 4150.29 \text{ kg}$$

$$W_2 = mg = 4150.29 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 40672.842 \text{ N}$$

c. *Dead Load total*

$$m_{total} = m_1 + m_2 = (4778.537 + 4150.29) \text{ kg} = 8928.827 \text{ kg}$$

$$W_{total} = W_1 + W_2 = (46829.66 + 40672.842) \text{ N} = 87502.5 \text{ N}$$

2. *Pressure load (PL)*

*Pressure load* yang digunakan yaitu *operating pressure* sebesar 0.00916 kgf/mm<sup>2</sup>.

3. *Nozzle Load (NL)*

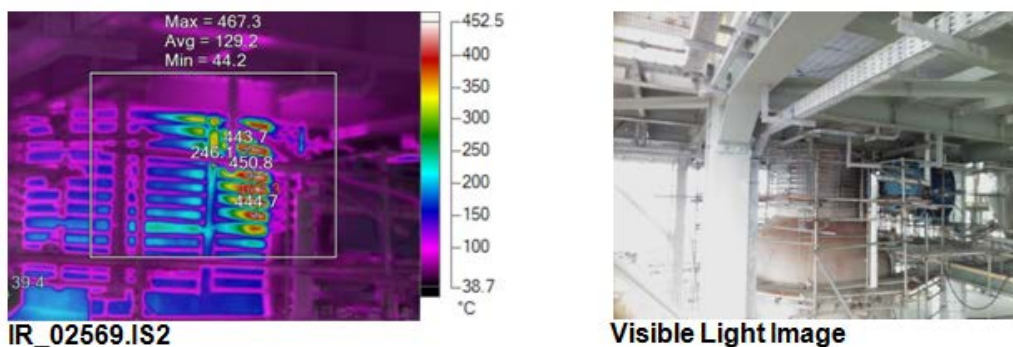
*Nozzle Load* yang digunakan adalah *nozzle load* pada kondisi operasi, dengan *Fx* sebagai *nozzle load* pada arah sumbu X, *Fy* sebagai *nozzle load* pada arah sumbu Y dan *Fz* sebagai *nozzle load* pada arah sumbu Z.

**Tabel 6. *Nozzle load* pada kondisi operasi**

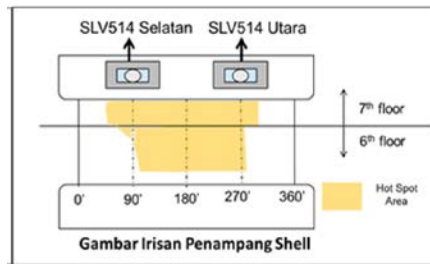
<i>Nozzle load</i>	Besaran dan Satuan
<i>Fx</i>	= -104.885 N
<i>Fy</i>	= -772.053 N
<i>Fz</i>	= 70.929 N

4. *Temperature load (TL)*

*Temperature load* yang digunakan berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *fluke thermography* dengan lokal *hot spot* memiliki suhu maksimum 460 °C.

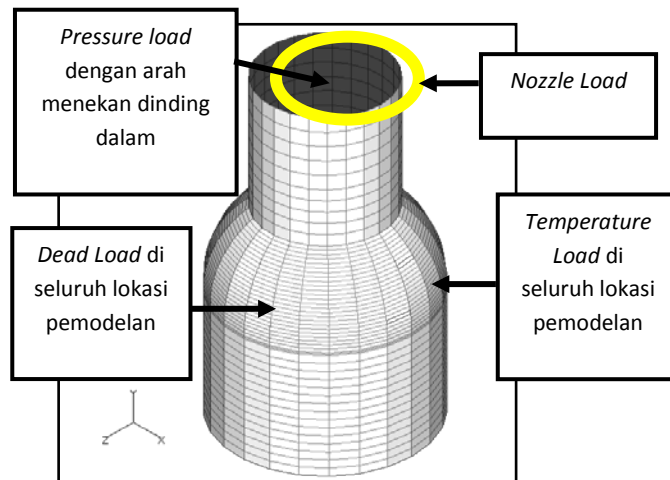


Gambar 3. Hasil pengukuran temperatur pada *shell orifice chamber* menggunakan *fluke thermography*



Gambar 4. Luasan *hot spot area orifice chamber*

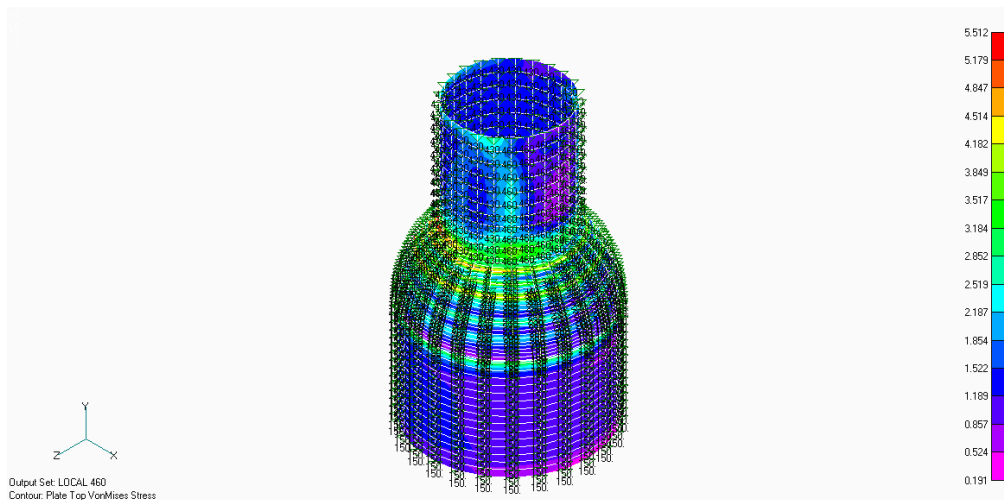
Untuk lokasi masing-masing pembebanan dapat dilihat pada gambar 5.



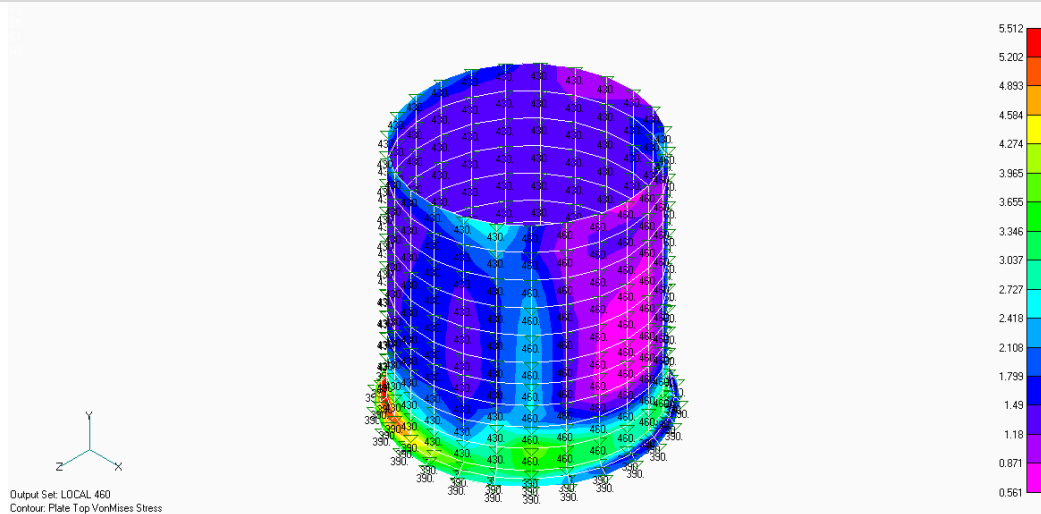
Gambar 5. Lokasi Masing-Masing Beban pada *Orifice Chamber*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik pada struktur *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan suhu maksimum 460 °C dan kombinasi pembebanan *dead load*, *pressure load*, *temperature load* dan *nozzle load* (DL+PL+TL+NL) dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8.



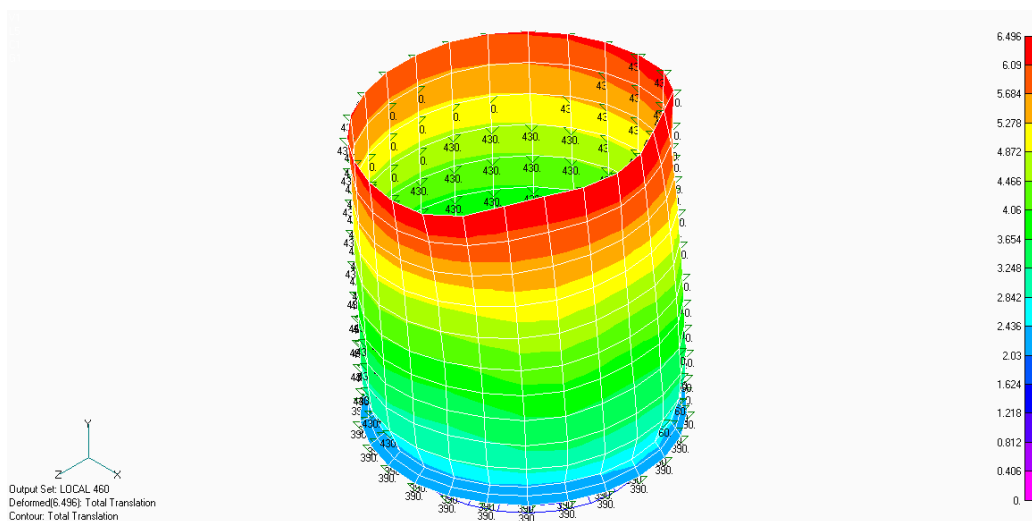
Gambar 6. Distribusi tegangan pada *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan nilai tegangan maksimum 5.512 kg/mm<sup>2</sup>.



Gambar 7. *Zoom Out* distribusi tegangan pada *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan nilai tegangan maksimum 5.512 kg/mm<sup>2</sup>.

Gambar 6 memperlihatkan distribusi tegangan yang terjadi pada *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan beban kombinasi *dead load*, *pressure load*, *temperature load* dan *nozzle load* dengan nilai tegangan maksimum 5.512 kg/mm<sup>2</sup>. Tegangan maksimum yang terjadi diindikasikan pada area yang berwarna merah (*red area*). Tegangan maksimum ini terjadi pada daerah perbatasan elemen dengan suhu 390 °C dan 430 °C. Nilai tegangan maksimum sebesar 5.512 kg/mm<sup>2</sup> lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai tegangan ijin material yang besarnya 8.04 kg/mm<sup>2</sup> pada suhu 430 °C.

Gambar 7 merupakan hasil *zoom out* dari distribusi tegangan pada *orifice chamber*, *zoom out* ini bertujuan untuk melihat detail pengaruh lokal *hot spot* 460 °C pada *orifice chamber* setelah pembebanan *dead load*, *pressure load*, *temperature load* dan *nozzle load*. Hasil *zoom out* memperlihatkan bahwa nilai tegangan yang terjadi pada daerah lokal *hot spot* diindikasikan dengan warna ungu, biru dan hijau dengan nilai tegangan maksimum pada warna hijau sebesar 4.274 kg/mm<sup>2</sup>, nilai ini tentunya lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan ijin material yang besarnya 6.42 kg/mm<sup>2</sup> pada suhu 460 °C. Sedangkan gambar 8 menggambarkan deformasi yang terjadi setelah kombinasi pembebanan *dead load*, *pressure load*, *temperature load* dan *nozzle load* yang telah disebutkan sebelumnya dengan nilai maksimum deformasi sebesar 6.496 mm.



Gambar 8. Deformasi yang terjadi pada *orifice chamber* yang mengalami lokal *hot spot* dengan nilai deformasi 6.496 mm.

## KESIMPULAN

- Hasil simulasi numerik global berupa tegangan maksimum di daerah *necking orifice chamber* sebesar 5.512 kg/mm<sup>2</sup> masih lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin material yang besarnya 8.04 kg/mm<sup>2</sup> pada suhu 430 °C.
- Hasil simulasi numerik berupa tegangan yang terjadi di area lokal *hot spot* sebesar 4.274 kg/mm<sup>2</sup> masih lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan ijin material yang besarnya 6.42 kg/mm<sup>2</sup> pada suhu 460 °C.
- Struktur *orifice chamber* secara global dan lokal aman untuk beroperasi karena telah memenuhi kriteria keberterimaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Mechanical Engineer. (2010). "ASME Boiler And Pressure Vessel Code Section VIII Division 2 2010 Edition". New York : ASME International.
- [2] American Petroleum Institute. (2007). "API 579-1/ ASME Fitness For Service-1 2nd Edition". New York : ASME International.
- [3] Mackerle, J., "Finite elements in the analysis of pressure vessels and piping, an addendum: A bibliography (2001–2004)". International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2005. 82(7): p. 571-592.
- [4] K. Xu, A. Alexander, T.S. Farma. (2018). "Management of Hot Spots in Refractory Lined High Temperature Equipment". Praxair Ammonia Technical Manual.
- [5] American Society of Mechanical Engineer. (2010). "ASME Boiler And Pressure Vessel Code Section II Part D Properties metric 2010 Edition". New York : ASME International.