

## Analisa Tegangan Pipeline Sistem Penyediaan Air Minum Pada Kondisi Water hammer.

Agung Firmanto<sup>1\*</sup>, Priyo Agus Setiawan.<sup>2</sup>, M. Anis Mustaghfirin<sup>3</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1,2,3</sup>

Email : [agungfirmanto@student.ppns.ac.id](mailto:agungfirmanto@student.ppns.ac.id)<sup>1</sup>; [pryo.as@ppns.ac.id](mailto:pryo.as@ppns.ac.id)<sup>2</sup>; [mustaghfirin@gmail.com](mailto:mustaghfirin@gmail.com)<sup>3</sup>

**Abstract** - On the construction of water distribution system, it is necessary to prevent water hammer effect on the distribution pipeline. Based on ASME B31.4 standard, the value of water hammer pressure increment must be considered. This research imply to get the value of potential pressure because of water hammer, and the effect on the value of stress pipe that have 12 bar pressure and 50°C temperature. The analysis using PIPENET and Abaqus CAE modeling software to determine the value of water hammer pressure increasement and stress value on pipe. This results indicated that there is a potential pressure increase due to water hammer of 56,8 bar, and the value of pipe stress occured is 40770 Psi. That value is exceeds the allowable stress base on ASME B31.4 standard.

**Keyword** : Abaqus CAE , pipeline, pressure increment, water hammer.

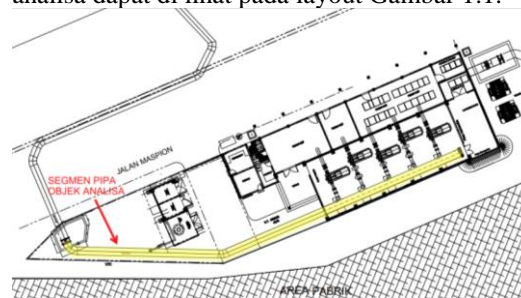
### Nomenclature

a	cepat rambat gelombang tekan
K	Bulk modulus (N/m <sup>2</sup> )
$\rho$	Massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
t	ketebalan dinding pipa (m)
E	Modulus elastisitas material (Pa)
$\Delta v$	penurunan kecepatan
Q	Debit aliran (m <sup>3</sup> /s)
M.dot	laju aliran masa
A	luas pipa penampang (m <sup>2</sup> )
ID	Inside diameter (m)
OD	Outside diameter (m)
Z	Section modulus
P	Design pressure (bar)
$\Delta P$	Tekanan water hammer
Sh	stress due to internal pressure (lb/in <sup>2</sup> )
t	Ketebalan dinding pipa (mm)

### 1 PENDAHULUAN

Dalam Sistem Penyediaan Air Minum, pipa distribusi (*pipeline*) merupakan komponen utama sehingga dalam kegiatan pembangunannya harus memperhitungkan aspek aspek yang berpotensi menyebabkan terjadinya kerusakan pada jalur

*pipeline*. Salah satu aspek yang harus di pertimbangkan adalah kenaikan tekanan akibat *water hammer* [2]. *Water hammer* adalah fenomena terjadinya kenaikan tekanan secara cepat akibat operasi valve yang dilakukan secara tiba tiba [1]. Salah satu efek yang ditimbulkan adalah kerusakan akibat naiknya nilai tegangan pipa yang terjadi [3]. Pada layout desain eksisting pipa distribusi air minum jawa timur tidak di lengkapi dengan perlindungan *water hammer* pada area booster pump. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi kenaikan tekanan yang terjadi akibat *water hammer* dan pengaruhnya terhadap tegangan yang terjadi pipa. segmen pipa yang menjadi objek analisa adalah pipa yang terhubung dengan *booster pump* hingga *control valve*. Pipa tersebut memiliki tekanan desain sebesar 12 bar Analisa tegangan pada segmen pipa tersebut mengacu pada standar ASME B31.4 segmen pipa yang di analisa dapat di lihat pada layout Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Rencana Jalur Pipeline

## 2 METODOLOGI

### 2.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini diawali dengan perhitungan nilai kenaikan tekanan *water hammer* secara manual kemudian dilakukan pemodelan dengan software pipenet. Hasil perhitungan kenaikan tekanan akan menjadi input pemodelan software Abaqus CAE guna mengetahui distribusi tegangan pada segmen pipa yang menjadi objek analisa.

### 2.2 Perhitungan Water hammer

Formula dan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai kenaikan tekanan pada kondisi *water hammer* berdasarkan pada kecepatan rambat gelombang aliran yang terjadi [4]. Persamaan menghitung kenaikan tekanan *water hammer* adalah sebagai berikut.

$$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{k}{E} x \frac{Di}{e}}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta v = \frac{m}{\rho \times A} \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta p = \Delta v \times \alpha \times \rho \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta P = P + \Delta p \dots \dots \dots (4)$$

### 2.3 Perhitungan Tegangan Akibat Tekanan Internal.

Pada sistem perpipaan terdapat beberapa parameter tegangan yang perlu diperhatikan. Salah satu parameter tegangan tersebut adalah tegangan pipa akibat tekanan internal [2]. Persamaan tegangan akibat tekanan internal adalah sebagai berikut :

$$S_H = \frac{PiD}{2t} \dots \dots \dots (5)$$

### 2.4 Pemodelan Water hammer Dengan Software Pipenet

Pemodelan *water hammer* pada software pipenet dilakukan untuk mendapatkan nilai perbandingan software kenaikan tekanan yang terjadi pada saat *water hammer*. Data yang digunakan dalam pemodelan software pipenet diantaranya adalah data spesifikasi pipa dan data aliran fluida didalam pipa

### 2.5 Pemodelan Pada Abaqus CAE

Pada tahap ini dilakukan pemodelan software abaqus guna mendapatkan nilai tegangan pada segmen pipa yang di analisa. Pemodelan yang di lakukan terdiri dari beberapa tahap proses pengerjaan diantaranya:

- Pembuatan geometri

Pembuatan geometri segmen pipa di dasarkan pada dimensi segmen pipa objek analisa

- Meshing geometri  
 Proses *meshing* dilakukan pada geometri yang telah dibuat. *Meshing* di lakukan dengan metode cutcell

- Input kondisi *pressure*  
 Pada meodelan tegangan pipa menggunakan software Abaqus CAE terdapat 2 variasi nilai *internal pressure* yang digunakan. Variasi tekanan tersebut berdasarkan kondisi aliran dalam pipa, yakni berdasarkan tekanan desain, tekanan *water hammer*.

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Teknis Pipa

Data spesifikasi pipa yang digunakan dalam melakukan perhitungan dan analisa *water hammer*, baik untuk analisa manual maupun pemodelan software dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Pipa

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Pipe Material</i>	JIS G3101 SS400 (ASTM A252)	
2	<i>Outside Diameter</i>	1022 (40,2)	mm (inch)
3	<i>Inside Diameter</i>	1000 (39,37)	mm (inch)
4	<i>Wall thickness</i>	11 (0,433)	mm (inch)
5	<i>Material Density</i>	14683,3 (0,530)	Kg/m <sup>3</sup> (lb/in <sup>3</sup> )
6	<i>Modulus of elasticity</i>	29500000	Psi
7	SMYS	240 (35000)	Mpa (psi)
8	<i>Min. Ultimate Tensile Strenght</i>	415 (60000)	Mpa (psi)
9	<i>Design Pressure</i>	12 (174)	Bar (psi)
10	<i>Design Temperature</i>	50 (122)	°C (°F)
11	<i>Joint factor</i>	0,80 (ASME B31.4)	0.8

### 3.2 Data Spesifikasi Fluida

Data lain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data spesifikasi fluida yang mengalir dalam *pipeline*. Tabel 3.2 merupakan data spesifikasi *fluid*.

Tabel 3.2. Data Spesifikasi fluida

No.	Parameter	Besaran	Satuan
1	Debit fluida	3 (3000)	m <sup>3</sup> /s (l/s)
2	Fluid density	988	Kg/m <sup>3</sup>
3	Fluid viscosity dynamic	0,547 x 10 <sup>-3</sup>	Kg/m.s
4	Bulk Modulus of water	(2,29 x 10 <sup>9</sup> )	psi (N/m <sup>2</sup> )

### 3.3 Perhitungan Water hammer

Dalam perhitungan *water hammer*, pertama digunakan persamaan (1) untuk mengetahui kecepatan aliran kejut didalam pipa.

– Kecepatan aliran kejut (a)

$$(a) = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \frac{k}{E} \times \frac{Di}{t}}}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{2,29 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{988 \frac{N}{m^3}}}{1 + \frac{2,29 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{2,03 \times 10^{11} \frac{N}{m^2}} \times \frac{1 m}{0,011 m}}}$$

$$= 1070,247 \text{ m/s}$$

Hasil perhitungan kecepatan rambat gelombang diperoleh nilai sebesar 1070,247 m/s. Hasil tersebut nantinya akan menjadi salah satu parameter data input pada pemodelan *software*

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai penurunan kecepatan fluida dengan menggunakan persamaan (2).

– Penurunan kecepatan ( $\Delta v$ )

$$\Delta v = \frac{m}{\rho \times A}$$

$$= \frac{2964 \frac{kg}{s}}{988 \frac{kg}{m^3} \times 0,7852 m^2}$$

$$= 3,82$$

Setelah mendapatkan nilai penurunan kecepatan, kemudian dilakukan perhitungan tekanan kejut yang disebabkan oleh penyempitan luas penampang akibat penutupan *valve* dapat dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut:

– Tekanan kejut ( $\Delta p$ )

$$(\Delta p) = \Delta v \times a \times \rho$$

$$= 3,82 \times 1070,247 \times 988$$

$$= 4039283.4175 \text{ kg/ ms}^2$$

$$= 4039283.4175 \text{ Pa}$$

$$= 40,393 \text{ Bar}$$

Tekana *water hammer* merupakan tekanan akumulasi dari kenaikan tekanan kejut yang terjadi dengan tekanan desain. Nilai tekanan *water hammer* dihitung dengan persamaan (4) sebagai berikut:

– Tekanan *Water Hammer* ( $\Delta P$ )

$$\Delta P = P + \Delta p$$

$$= 12 \text{ Bar} + 40,393 \text{ Bar}$$

$$= 52,393 \text{ Bar}$$

### 3.4 Perhitungan Tegangan Akibat Tekanan Internal

Dalam perhitungan nilai tegangan akibat tekanan internal untuk segmen pipa *objek analisa* menggunakan persamaan (5) dengan berdasarkan variasi kondisi aliran fluida dalam pipa, yaitu aliran normal dan aliran *water hammer*

– kondisi aliran normal

$$S_H = \frac{PiD}{2t}$$

$$= \frac{174 \text{ psi} \times 39,37 \text{ inch}}{2 \times 0,433 \text{ inch}}$$

$$= 7910,37 \text{ psi}$$

– kondisi aliran *water hammer*

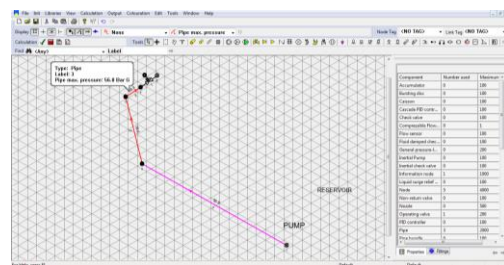
$$S_H = \frac{PiD}{2t}$$

$$= \frac{174 \text{ psi} \times 39,37 \text{ inch}}{2 \times 0,433 \text{ inch}}$$

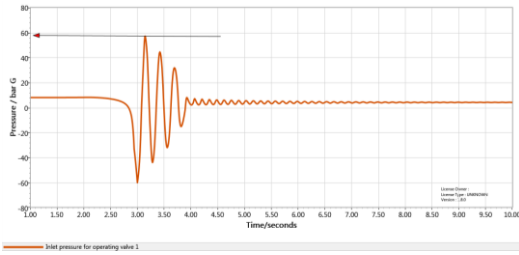
$$= 36182,94 \text{ psi}$$

### 3.5 Pemodelan Dengan Software Pipenet

Pemodelan dengan menggunakan *software Pipenet* dilakukan untuk mendapat kenaikan tekanan akibat *water hammer* yang mana dengan menginput data mekanis material (mechanical properties) dan data properties fluida (fluid properties).



Gambar 3.1 pemodelan segmen pipa pada software pipenet



Gambar 3.2 grafik nilai tekanan *water hammer* pada *pipen*

Berdasarkan hasil pemodelan pada software *pipenet*, didapatkan hasil nilai tekanan *water hammer* adalah sebesar 56,8 bar. Perbandingan nilai tekanan *water hammer* hasil perhitungan manual dengan software dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut

Tabel 3.3. perbandingan nilai tekanan *water hammer*

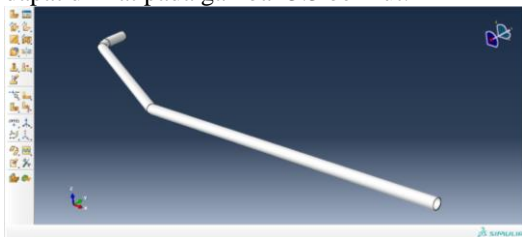
Parameter	Perhitungan manual (bar)	Pemodelan software (bar)
Tekanan <i>water hammer</i>	52,393	56,8

### 3.6 Pemodelan Tegangan Dengan Software Abaqus Simulia

Pemodelan tegangan dengan software *abaqus* pada penelitian ini menggunakan 2 variasi pemodelan berdasarkan kondisi aliran fluida, yaitu kondisi aliran normal, dan kondisi aliran *water hammer*. adapun proses pemodelan pada software *abaqus* adalah sebagai berikut :

#### 1. Pembuatan geometri

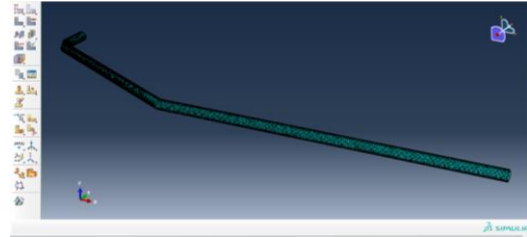
Pembuatan geometri pipa mengacu pada data dimensi pipe, yaitu dengan ukuran diameter 1 m dengan ketebalan pipa 0,01m. panjang pipa yang di buat berdasarkan batasan analisa penelitian, yaitu pipa yang terhubung dengan pompa, hingga ke *inlet valve*. Hasil geometri dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Geometri Section Pipa

#### 2. Meshing geometri

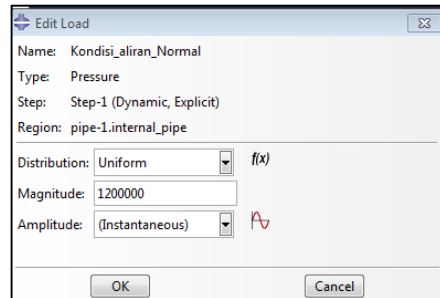
*Meshing* di lakukan dengan metode *cutcell*, dengan nilai maksimal 0,1 m dan nilai minimal 0,05 m . hasil *meshing* berupa node dan element pada setiap geometri dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut:



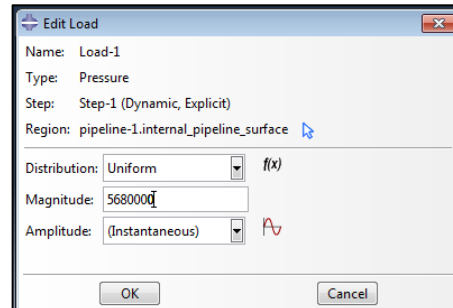
Gambar 3.4 *Meshing* Geometri Pipa

#### 3. Input kondisi aliran

Pemodelan tegangan pipa menggunakan software *Abaqus CAE* menggunakan 2 variasi nilai *internal pressure* yang digunakan. Variasi tekanan tersebut berdasarkan kondisi aliran dalam pipa, yakni berdasarkan tekanan pada kondisi aliran normal, dan tekanan pada kondisi *water hammer*. input nilai tekanan pada software *abaqus* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



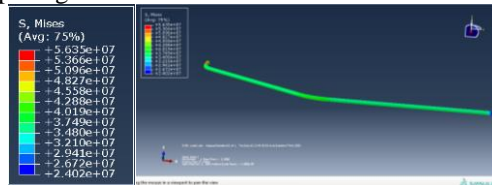
Gambar 3.5 Input Tekanan Aliran Normal



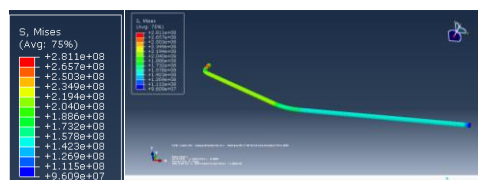
Gambar 3.6 Input Tekanan Aliran *water hammer*

#### 4. Hasil simulasi

Nilai tegangan pipa akibat tekanan internal pipa pemodelan software *abaqus* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 3.7 Tegangan Pada Pipa Pada Kondisi Aliran Normal



Gambar 3.8 Tegangan Pada Pipa Pada Kondisi Aliran Water hammer

Berdasarkan hasil simulasi tegangan pipa dengan software abaqus didapati nilai tegangan pada kondisi aliran normal adalah sebesar  $5.635 \times 10^7$  Pa, setara dengan 8172 psi, sedangkan pada kondisi aliran *water hammer* adalah sebesar  $2,811 \times 10^8$  Pa, setara dengan 40770 Psi. Perbandingan nilai tegangan hasil perhitungan manual dengan pemodelan software abaqus dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. perbandingan nilai tegangan pipa

Parameter	Perhitungan manual (psi)	Pemodelan software (psi)
Tegangan pipa pada kondisi aliran normal	7910,37	8172
Tegangan pipa pada kondisi aliran <i>water hammer</i>	36182,94	40770

Nilai tegangan pipa dari hasil perhitungan manual maupun pemodelan software diketahui bahwa nilai tegangan tersebut melebihi allowable stress material berdasarkan standar ASME B31.4 yaitu sebesar 20160 psi.

#### 4 KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa pada Tegangan Pipeline Sistem Penyediaan Air Minum Pada Kondisi *Water hammer* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat potensi kenaikan tekanan yang terjadi pada kondisi *water hammer* berdasarkan kalkulasi manual sebesar 52,393 bar Sedangkan berdasarkan hasil simulasi software *pipenet* besar kenaikan tekanan yang terjadi adalah 56,8 bar, dari kondisi tekanan normal sebesar 12 bar.
2. Kenaikan tekanan akibat *water hammer* mengakibatkan terjadinya potensi tegangan akibat tekanan internal pada pipeline berdasarkan kalkulasi manual sebesar 36182.94 psi. Sedangkan pada simulasi software Abaqus sebesar 40770 Psi. Tegangan tersebut melebihi *allowable stress* berdasarkan standar ASME B31.4

3. Dibutuhkan penambahan desain anti *water hammer* pada sistem, untuk dapat mengurangi tekanan *water hammer* yang terjadi, sehingga tegangan dapat pada pipeline dapat memenuhi allowable stress berdasarkan standard ASME B31.4

#### 5 UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc, F.RINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak George Endri K, S.T., M.Sc.Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Raden Dimas Endro Witjonarko, S.T., M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Perpipaan. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian ini.
5. Bapak Muhammad Anis M., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal penelitian ini

#### 6 PUSTAKA

- [1] Ahmad, N. W. A., Projek, P. S. L., & Ekky, N. B. (2018). Pengaruh *Water hammer* Terhadap Pipa dan Check Valve Pada Discharge Pump TPL 1-PM-002C (Studi Kasus PT. Pertamina TBBM Tuban). *Proceedings 2<sup>nd</sup> Conference on Piping Engineering and Its Application*
- [2] ASME B31.4. (2016). *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*.
- [3] Cahya Adi P. (n.d). Pengaruh *Water hammer* Pada Sistem Pendistribusian *Avtur* Terhadap Penentuan *Surge Absorber* (Studi Kasus di PPFHST3 Bandara Soekarno-Hatta Jakarta). *Proceeding 1st Conference Piping Engineering and It's Application*
- [4] Choon, T. W., Aik, L. K., Aik, L. E., & Hin, T. T. (2012). Investigation of *Water hammer* Effect Through Pipeline System. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*